

## Kombination verschiedener Schalldämpfer

# Schalldämpfung in RLT-Geräten



## KOMPAKT INFORMIEREN

Die marktverfügbaren Schalldämpfersysteme erreichen im Frequenzband unterschiedliche Einfügungsdämpfungen.

Insbesondere tieffrequente Anteile sind mit passiven Schalldämpfern nur sehr schwierig zu dämpfen.

Aktive Schalldämpfersysteme können hingegen nur bis zu einer vom Kanalquerschnitt abhängigen Frequenz eine Dämpfung erzielen.

Optimale Ergebnisse lassen sich durch die Kombination von passiven und aktiven Schalldämpfersystemen erzielen.



## HÄTTEN SIE DAS GEWUSST?

Das Wort Lärm stammt vom italienischen all'arme, „zu den Waffen!“, und ist mit „Alarm“ verwandt. Bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts hinein war Lärm vor allem ein Begriff aus dem militärischen Bereich, wofür auch heute ungebräuchliche Zusammensetzungen wie „Lärmplatz“ (ein Ort, an dem Menschen unter Waffen traten), „Lärmbläser“ und „Lärmschläger“ (Trompeter bzw. Tambour, der den Aufruf zum Sammeln gab) zeugen. Knapp hundert Jahre später definierte der deutsche Sprachforscher und Lexikograph Johann Christoph Adelung den Begriff Lärm als „ein jeder lauter, beschwerlicher Schall“. Heute wird Lärm beispielsweise in Gesetzestexten als „unerwünschter Schall“ definiert und enthält somit neben einer biophysikalischen und medizinischen auch eine subjektive Komponente. Quelle: Wikipedia



**Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup** ist Honorarprofessor an der Hochschule Trier, Umweltcampus Birkenfeld für Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung; Geschäftsführender Gesellschafter der Howatherm Klimatechnik GmbH,

55767 Brücken, [www.howatherm.de](http://www.howatherm.de); Mitglied in verschiedenen Normungsgremien, beispielsweise EN 13 779, EN 13 053, EN 16 798 und EN 1886 sowie Richtlinienausschüssen, beispielsweise VDI 6022 und VDI 3803.

Die effektive Dämpfung von Schallemissionen in Raumluftechnischen Geräten (RLT-Geräten) ist eine anspruchsvolle Aufgabe, da jeder Einzelpegel im Frequenzspektrum den Summenpegel maßgeblich beeinflusst. Einen optimalen Schalldämpfer für alle Frequenzen oder gar einen auf den frequenzabhängigen Dämpfungsbedarf eines RLT-Geräts abgestimmten Schalldämpfer gibt es bisher nicht. Einen Ausweg bietet die Kombination verschiedener Schalldämpfersysteme.



Bild: Schiller-Krenz

1 Kanalspaltschalldämpfer (Kaup, Christoph: Deutsches Patent DE 101 21 940).



Die Vermeidung beziehungsweise Dämpfung von Schallemissionen innerhalb von Raumluftechnischen Geräten (RLT-Geräten) ist aufgrund vielfacher Abhängigkeiten, bis zur Energieeffizienz und den Lebenszykluskosten, eine wichtige Aufgabe mit steigender Bedeutung. Die Herausforderung liegt vor allem in der Breitbandigkeit des Frequenzspektrums eines RLT-Geräts. Da der Summenpegel sich logarithmisch aus den Einzelpegeln zusammensetzt, bestimmt der höchste Wert innerhalb des Spektrums den Summenpegel maßgeblich.

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \sum_{i=63\text{ Hz}}^{8\text{ kHz}} 10^{L_{pi}/10}$$

$L_p$  Summenschalldruckpegel

$L_{pi}$  Terzschalldruckpegel von 63 Hz bis 8 KHz

Dies bedeutet, dass sämtliche Terzschalldruckpegel unter dem maximal zulässigen Pegel bleiben müssen, um den geforderten oder gewünschten Summenpegel nicht zu überschreiten.



Bild: Schiller-Krenz

Da die dominierende Geräuschquelle einer RLT-Anlage der Ventilator ist, muss mit einem üblichen Emissions-Schallleistungspegel des Ventilators von 90 bis 110 dB gerechnet werden, der im Wesentlichen durch den geförderten Volumenstrom bestimmt wird.

$$L_{wv} = L_{wsm} + 10 \cdot \log_{10}(\dot{V}) + 20 \cdot \log_{10}(\Delta p_t)^{1)}$$

$L_{wv}$  Schallleistungspegel des Ventilators in dB  
 $L_{wsm}$  spezifischer Schallleistungspegel, beispielsweise 34 dB  $\pm$  1 dB (rückwärtsgekrümmte Schaufeln im Wirkungsgradoptimum)

$\dot{V}$  Volumenstrom in m<sup>3</sup>/s

$\Delta p_t$  Totaldruckerhöhung des Ventilators in Pa

Aus diesen Gründen muss die Schalldämpfung bis zu den Luftanschlüssen – Außenluftansaugung und Fortluftausblas, sowie Zuluft- und

1) VDI 2081 Blatt 1 Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen. Berlin: Beuth Verlag, Juli 2001

## 2 Einfügungs- dämpfung eines KSD

Länge 900 mm,  
bei sehr großem freiem  
Querschnitt von 40 %.

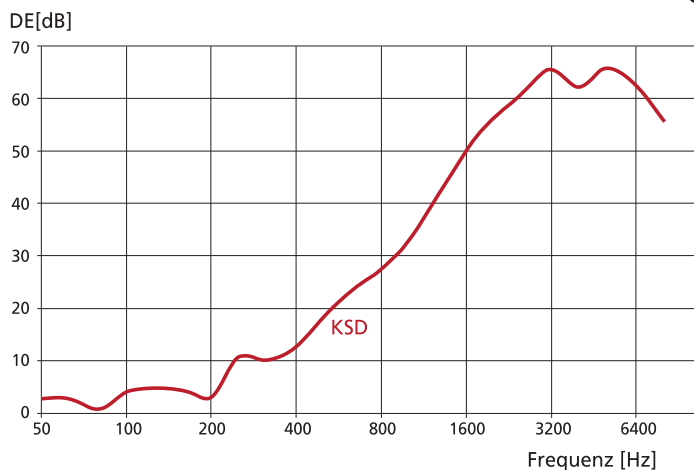


Bild: Kaup

Raumlufanschlusstutzen – so ausgelegt werden, dass sämtliche zu erwartenden Pegel unterhalb der Vorgabe der zu tolerierenden Pegel aufgrund der Verhältnisse im gesamten Kanalsystem liegen.

## Passive Schalldämpfer

Die Emissionen zu den Luftkanälen haben eine große Bedeutung. Schalltechnisch optimal ist der Einsatz der schalldämpfenden Maßnahmen direkt im RLT-Gerät, da die Schallquelle Ventilator so unmittelbar gedämpft werden kann. Somit können Störeinflüsse wie Schallnebenwege oder Körperschallübertragung wirkungsvoll minimiert werden.

Hier bieten sich heute üblicherweise passive Schalldämpfer in Kulissenform an, die durch Absorption Schall dämpfen. Wenn Schallwellen offenporig absorbierendes Material durchdringen, wird Schallenergie durch Reibung in Wärme umgewandelt. Die Dicke der Kulissen hat eine große Auswirkung auf die schallabsorbierenden Eigenschaften des Schalldämpfers.

Hohe Frequenzen (über 500 Hz) lassen sich mit klassischen Schalldämpfern gut beeinflussen. Frequenzen unterhalb von 500 Hz und vor allem tieffrequente Anteile unter 200 Hz sind damit jedoch sehr schwierig zu dämpfen.

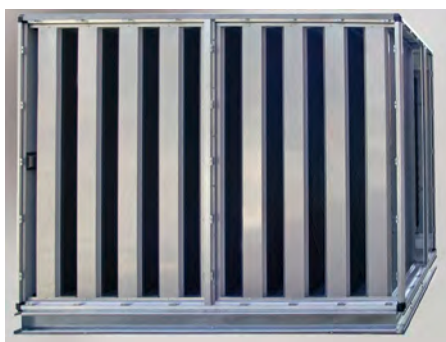


Bild: Schiller-Krenz

## 3 Membranschalldämpfer.

Zu Verbesserung der Schalldämpfung bei hohen Frequenzen können spezielle Kanalspaltschalldämpfer<sup>2)</sup> (KSD) ① eingesetzt werden, die vor allem im Frequenzbereich über 500 Hz deutlich verbesserte Dämpfungswerte erreichen und daher besonders kurz ausgelegt werden können. ② stellt die Einfügungsdämpfung eines Kanalspaltschalldämpfers mit einer Baulänge von 900 mm dar. Der freie Querschnitt wurde bewusst mit 40 % sehr groß gewählt, damit die Dämpfung bei niedrigen Frequenzen niedrig ist, um die Wirkung von zusätzlichen

2) Kaup, C.: Erweiterte Möglichkeiten der Schalldämpfung in raumluftechnischen Geräten. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, HLH 12-2001

## 4 Einfügungs- dämpfung eines MSD und KSD + MSD.

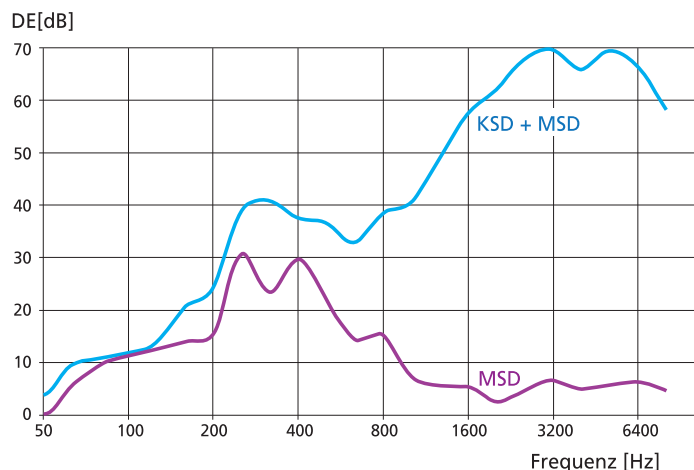
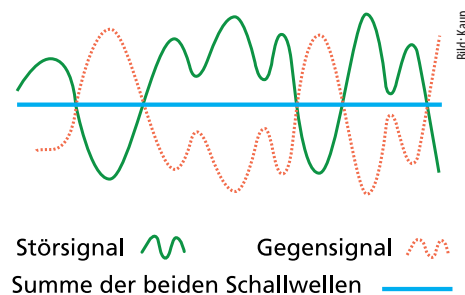


Bild: Kaup

## 5 Aktive Schalldämpfung (Gegenschall)



Schalldämpfern für tiefe Frequenzen besser darstellen zu können.

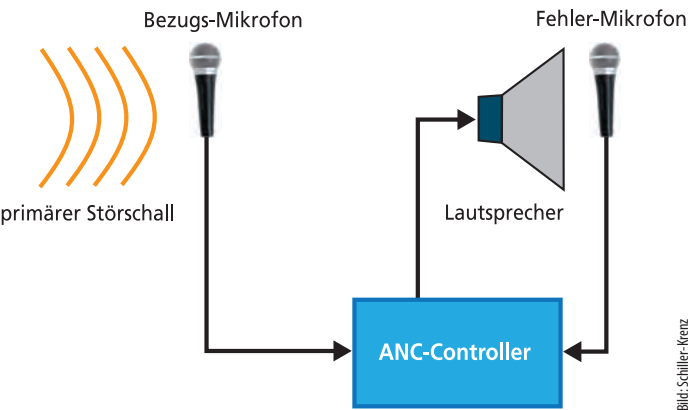
Über 500 Hz liegt die Einfügungsdämpfung dieses KSD bei 20 dB und darüber. Durch den großen freien Querschnitt und die kurze Einbaulänge sind die Druckverluste dieser Bauart besonders niedrig. In der Praxis lassen sich mit Kanalspaltschalldämpfern (900 mm) und geringerem freien Querschnitt von üblichen 16 % bei 250 Hz Dämpfungswerte von bis zu 20 dB erzielen.

Zur Dämpfung der mittleren Frequenzen (200 bis 500 Hz) eignen sich vor allem Membranschalldämpfer (MSD). ③ stellt den Membranschalldämpfer beispielhaft dar. Das absorbierende Material ist hierbei durch eine dünne Metallmembrane (beispielsweise Aluminiumfolie) abgedeckt. Durch die Dicke der Folie kann der Schalldämpfer in seiner Dämpfungseigenschaft (Frequenz) abgestimmt werden.

Membranschalldämpfer dämpfen durch Resonanzeffekte, bei welchen die Oberfläche (Folie) zum Schwingen angeregt wird und dabei Schallenergie abbaut. Im Resonanzschalldämpfer werden die Schallwellen mehrfach reflektiert. Dadurch entstehen Resonanzen (Mitschwingungen). Bestimmte Frequenzen (Schwingungsbereiche) werden dabei gezielt gedämpft.

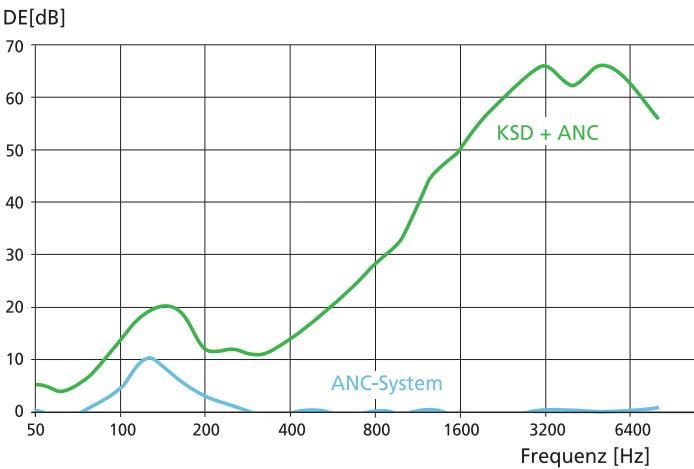
Die Dämpfung des Membranschalldämpfers und die Dämpfung der Kombination aus Kanalspaltschalldämpfer mit einem Membranschalldämpfer mit einer Länge von ebenfalls 900 mm und einem Kulissenabstand von 80 mm sowie einer Kulissenbreite von 240 mm stellt ④ dar. Die Einfügungsdämpfung bei 250 Hz liegt bei 31 dB. Bei 500 Hz werden noch 22 dB gedämpft.

Mit der Kombination (KSD und MSD) werden bereits ab 160 Hz effektive Dämpfungswerte von über 20 dB erreicht. Bei 250 Hz liegt die Einfügungsdämpfung bereits bei 38 dB. Als nachteilig kann aber unter Umständen die geringe Einfügungsdämpfung unter 125 Hz bewertet werden. Bei 125 Hz beträgt sie in dem gewählten Beispiel nur 13 dB und bei 63 Hz lediglich 9 dB.



6 Active noise control (ANC).

7 Einfügungs-  
dämpfung eines  
ANC-Systems und  
KSD + ANC.



Strömungsweg vollständig offen bleibt. Die Dämpfungseigenschaft eines ANC-Systems für sich alleine ist jedoch kaum geeignet, den Einsatz in RLT-Anlagen zu rechtfertigen. 7 stellt die Einfügungsdämpfung eines ANC-Systems alleine und in Kombination mit einem KSD dar.

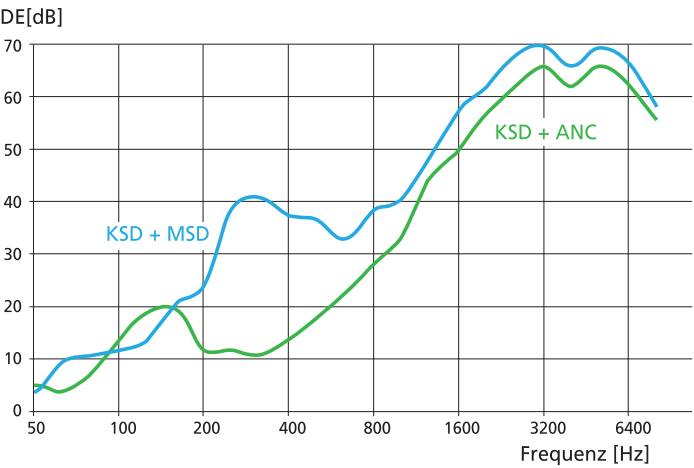
Mit dem ANC-System wird nur eine nennenswerte Dämpfung von 10 dB bei 125 Hz erreicht. Allerdings verbessert sich bei 125 Hz die Einfügungsdämpfung von 4 dB des KSD auf 19 dB in der Kombination mit dem ANC-System. Man erkennt aber auch, dass die Einfügungsdämpfung der Kombination zwischen 200 und 500 Hz wieder deutlich unter 20 dB abfällt. Darüber kommt die gute Dämpfungseigenschaft des KSD erneut zur Geltung.

Die Dämpfungscharakteristik des ANC-Systems beschränkt sich wie erwartet auf ein enges Frequenzspektrum von 80 bis 200 Hz. Innerhalb dieses Bereichs wird im Mittel eine Dämpfung von etwa 5 dB erreicht. Ein Vorteil ergibt sich auch aus der Tatsache, dass sowieso vorhandene Leerteile eines RLT-Geräts zur Montage des ANC-Systems genutzt werden können.

Wenn man nun die beiden Kombinationen KSD mit MSD gegenüber KSD und ANC vergleicht ergibt sich 8. Man erkennt, dass die Kombination KSD mit MSD eine deutlich verbesserte Dämpfungscharakteristik zwischen 160 und 800 Hz bereitstellt und dass die Kombination KSD mit einem ANC-System zwischen 160 bis 80 Hz eine verbesserte Dämpfung liefert. Erst durch die Kombination aus allen drei Subsystemen ergibt sich eine sehr gute Dämpfung über den gesamten Frequenzbereich, die in 9 dargestellt ist. Man erkennt deutlich die Wirkung des ANC-Systems. Insbesondere zwischen 80 und 200 Hz wird die Einfügungsdämpfung um 8 bis 18 dB verbessert.

In Kombination mit passiven Schalldämpfern scheint das ANC-System effektiver zu wirken. Die Frequenzeinschrän-

8 Einfügungs-  
dämpfung  
KSD + ANC und  
KSD + MSD.

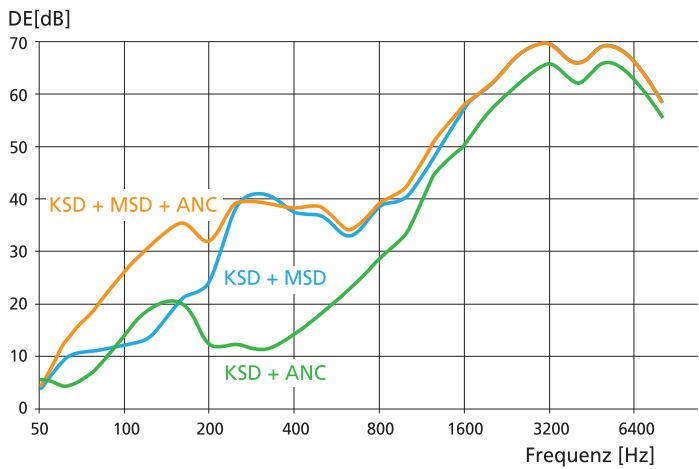


Aktive Schalldämpfer

Beim sogenannten „aktiven“ Schallschutz wird dem zu reduzierenden Lärm durch ein elektroakustisches System eine Schallwelle derart überlagert, dass es in der Ausbreitungsrichtung im Idealfall zu einer auslöschenden Interferenz kommt (Methode des Antischalls oder Gegenschalls) 5. Ein „active noise control“-System (ANC) besteht aus einem oder mehreren Mikrofonen, einem Signalumformer und einem oder mehreren Schallgebern (beispielsweise Lautsprecher). Die Signalumformer für

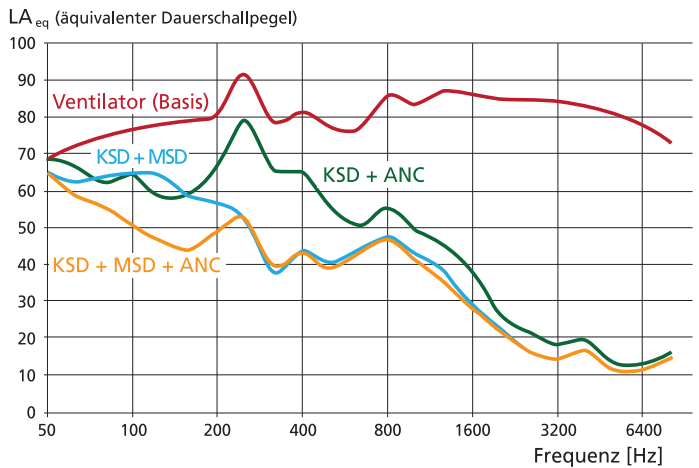
das Ausgangssignal der Schallaufnehmer sind je nach Aufgabenstellung Kombinationen von Verstärkern, Frequenzfiltern und sonstigen an sich bekannten elektronischen Komponenten. Der Schallgeber wird durch die elektrische Ausgangsgröße des Signalumformers derart in Schwingung versetzt, dass seine schwingende Oberfläche (Lautsprechermembrane) eine akustische Impedanz annimmt. Das ANC-System bietet weiterhin den Vorteil, dass keine zusätzlichen Druckverluste im Luftstrom erzeugt werden, da der

9 Einfügdämpfung verschiedener Kombinationen



| Einfügdämpfung DE verschiedener Schalldämpfer-Kombinationen |          |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                             | f in Hz  | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  | 200  | 250  |
| KSD + MSD                                                   | DE in dB | 9,5  | 10,8 | 11,8 | 13,7 | 20,7 | 24,1 | 38,7 |
| KSD + MSD + ANC                                             | DE in dB | 12,9 | 19,1 | 25,9 | 31,3 | 35,2 | 31,9 | 39,0 |
| Differenz                                                   | DE in dB | 3,4  | 8,3  | 14,1 | 17,6 | 14,5 | 7,8  | 0,3  |

10 Schallemission Ventilator, ohne Optimierung  
ohne Dämpfung und gedämpft, Schalldruckpegel A-bewertet.



| Unterschied der Schallemission verschiedener Kombinationen, ohne Optimierung |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                                                              | f in Hz                   | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | Summe |
| Ventilator                                                                   | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 77,2 | 82,8 | 92,1 | 83,7 | 90,3 | 89,9 | 87,5 | 80,1 | 96,8  |
| KSD + ANC                                                                    | DE in dB                  | 5,7  | 16,4 | 12,6 | 18,3 | 33,7 | 51,4 | 65,1 | 59,5 |       |
|                                                                              | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 71,5 | 66,4 | 79,5 | 65,4 | 56,6 | 38,5 | 22,4 | 20,6 | 80,5  |
| KSD + MSD                                                                    | DE in dB                  | 8,5  | 14,7 | 33,8 | 35,9 | 41,3 | 60,1 | 68,0 | 61,2 |       |
|                                                                              | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 68,7 | 68,1 | 58,2 | 47,8 | 49,1 | 29,8 | 19,5 | 18,8 | 71,7  |
| KSD + MSD + ANC                                                              | DE in dB                  | 10,9 | 30,0 | 37,9 | 36,9 | 42,4 | 60,6 | 68,0 | 61,2 |       |
|                                                                              | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 66,3 | 52,8 | 54,2 | 46,8 | 48,1 | 29,3 | 19,5 | 18,9 | 66,9  |

kung des aktiven Systems resultiert aus der Grenzfrequenz, die sich wiederum aus der Geometrie der Kanalabmessungen ergibt. Denn die Grenzfrequenz der Einfügdämpfung hängt mit der Wellenlänge des Schalls direkt zusammen. Die Grenzwellenlänge für die erste ausbreitungsfähige Mode (Grundmode eines rechteckigen Hohlleiters) ergibt sich dabei aus der Gleichung für die sogenannte Freiraumwellenlänge:

$\lambda_g = 2 \cdot a$

Für die Grenzfrequenz f<sub>c</sub> folgt:

$f_c = \frac{c}{2 \cdot a}$

Bei einer Kanalhöhe von a = 700 mm und damit verbunden einer Wellenlänge von λ<sub>g</sub> = 1,4 m ergibt sich mit der Schallgeschwindigkeit von c = 343 m/s für Luft eine Grenzfrequenz von f<sub>c</sub> = 245 Hz. Daraus wird ersichtlich, dass oberhalb der Grenzfrequenz eine zusätzliche Dämpfung des aktiven Systems physikalisch nicht mehr möglich ist.

Dämpfung des Ventilatorschalls

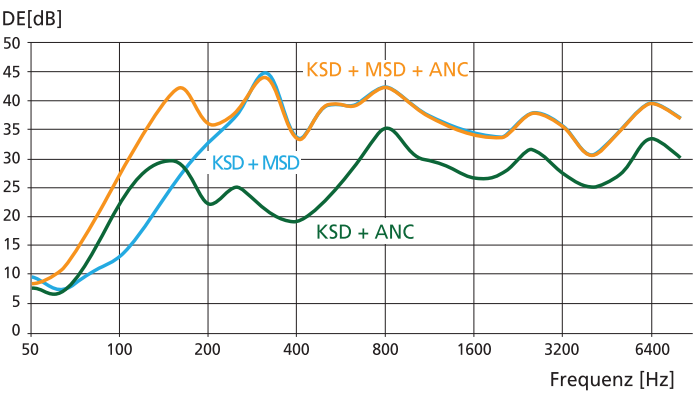
Der typische Schalldruckpegel eines messtechnisch erfassten Ventilators über das Frequenzband (Oktavband) ist in 10 dargestellt. Berücksichtigt man nun die Einfügdämpfung der verschiedenen Schalldämpfer erhält man folgende Ergebnisse:

Gegenüber der rein passiven Dämpfung (KSD und MSD) erreicht das kombinierte System mit aktiver Dämpfung (KSD + MSD + ANC) einen um 5 dB niedrigeren Summenpegel des Schalldrucks. Der Summenpegel sinkt von rund 72 dB(A) auf rund 67 dB(A). Es wird deutlich, dass bei rein passiver Schalldämpfung die Oktavpegel bei 125 und 63 Hz relevant werden und noch bei ca. 68 dB(A) liegen. Durch die aktive Komponente reduzieren sich diese Pegel auf 53 dB(A) bei 125 Hz und 66 dB(A) bei 63 Hz. Die Reduktion des für den Drehklang relevanten Oktavbandes bei 250 Hz sinkt in der Kombination um 4 dB von 58 auf 54 dB(A). Durch die Abstimmung der Grenzfrequenz könnte das aktive System auch weiter für tiefe Frequenzen abgestimmt werden, sodass die Dämpfung bei 63 Hz weiter verbessert würde.

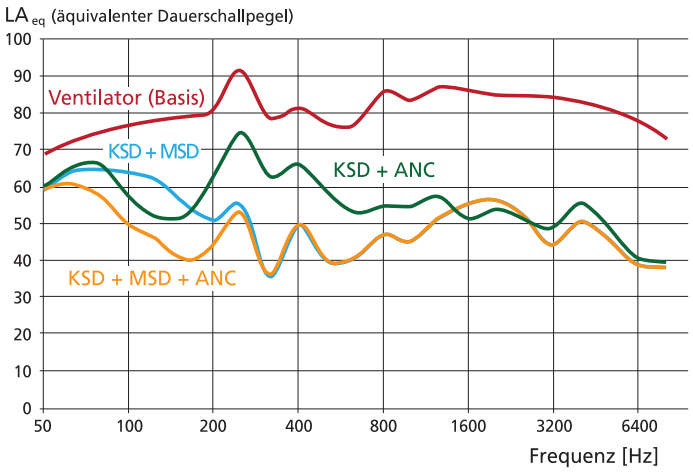
Die Anordnung und Auslegung der Schalldämpfer spielt ebenfalls eine Rolle bei der Charakteristik der Dämpfung. So kann der erste Schalldämpfer durchaus mit einem engen Spalt oder geringer freier Querschnittsfläche dimensioniert werden, da das auftretende Strömungsrauschen des ersten Schall-



11 Einfügungs-  
dämpfung verschiedene  
Kombinationen,  
mit Optimierung.



12 Schallemission  
Ventilator,  
mit Optimierung  
ohne Dämpfung und  
gedämpft, Schalldruck-  
pegel A-bewertet.



| Unterschied der Schallemission verschiedener Kombinationen, mit Optimierung |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                                                             | f in Hz                   | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | Summe |
| Ventilator                                                                  | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 77,2 | 82,8 | 92,1 | 83,7 | 90,3 | 89,9 | 87,5 | 80,1 | 96,8  |
| KSD + ANC                                                                   | DE in dB                  | 9,6  | 26,2 | 24,6 | 20,9 | 30,8 | 28,0 | 26,7 | 32,0 |       |
|                                                                             | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 69,2 | 59,4 | 75,2 | 67,0 | 60,6 | 57,2 | 57,1 | 45,0 | 76,9  |
| KSD + MSD                                                                   | DE in dB                  | 9,3  | 16,5 | 35,6 | 33,1 | 36,9 | 29,9 | 34,9 | 37,4 |       |
|                                                                             | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 68,0 | 65,0 | 54,9 | 48,3 | 52,1 | 54,9 | 54,2 | 41,1 | 70,2  |
| KSD + MSD + ANC                                                             | DE in dB                  | 12,7 | 32,7 | 38,1 | 35,2 | 38,0 | 34,8 | 33,3 | 38,8 |       |
|                                                                             | L <sub>peq</sub> in dB(A) | 64,5 | 50,2 | 53,9 | 48,5 | 52,3 | 55,0 | 54,2 | 41,3 | 66,0  |

dämpfers mit verändertem Frequenzgang im zweiten Schalldämpfer oder im ANC-System gedämpft werden kann. Das auftretende Strömungsrauschen hat meist sein Maximum bei 63 oder 125 Hz.

Weiter kann durch die exakte Auslegung des Schalldämpfers die Dämpfungs-Charakteristik optimiert werden. Durch die Auswahl und optimale Dimensionierung insbesondere des Kanalspaltschalldämpfers kann der Frequenzverlauf der Dämpfung auch hin zu niedrigen Frequenzen wie folgt beeinflusst werden. Berücksichtigt man die optimierte Einfügungsdämpfung der verschiedenen Schalldämpfer, ergeben sich die Werte gemäß 11.

Die rein passive Kombination (KSD + MSD) erreicht dann eine um 1,5 dB verbesserte Dämpfung. Das kombinierte System mit aktiver Dämpfung (KSD + MSD + ANC) verbessert sich um 1 dB. Der Summenpegel sinkt auf nun 66 dB(A).

Zusammenfassung

Durch die Kombination aus verschiedenen Schalldämpferbauarten kann in der Summe die Dämpfung bei sonst gleicher Baulänge des Schalldämpfers deutlich verbessert werden. Dies ist insbesondere bei erhöhten Anforderungen an die Akustik notwendig.

Nur in der Kombination aus aktiven und passiven Schalldämpfungsmaßnahmen lässt sich dabei über das gesamte Frequenzspektrum eine sehr gute Dämpfung des Schalls realisieren. Gerade bei tiefen Frequenzen reichen passive Maßnahmen meist nicht mehr aus, um eine signifikante Reduktion des Emissionspegels zu erreichen. Hier bieten sich aktive Schalldämpfungssysteme an, die in der Kombination mit passiven Schalldämpfern ihre Wirkung entfalten. Der Summenpegel kann damit um etwa 5 dB oder 70 % reduziert werden, ohne dass der Druckabfall dadurch erhöht würde. Durch eine Optimierung der Schalldämpfungsmaßnahme kann eine weitere Reduzierung um etwa 1 dB realisiert werden.