

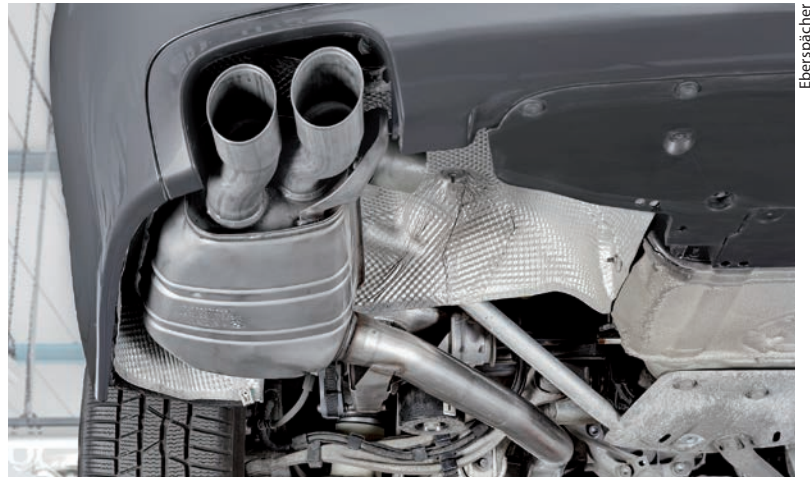
■ Gegen die Dröhnung

Schalldämpfer machen Autos mithilfe zweier physikalischer Prinzipien leiser: Absorption oder Resonanz.

1) Vergleichswerte auf <http://bit.ly/2boaOSt>

In Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verbrennt der Kraftstoff bei sehr hohen Temperaturen und Drücken. Dadurch tritt das Abgas explosionsartig aus, und die Geräusche an Ansaug- und Abgasanlage sind sehr laut. Diese so genannten Mündungsgeräusche wären ohne einen Schalldämpfer die lauteste Einzellschallquelle eines Fahrzeugs. Bereits um 1900 patentiert, reduziert der Schalldämpfer die Schallintensität am Auspuffrohr – je nach Modell, Motorisierung und Frequenz – um 20 bis 50 Dezibel, also um einen Faktor 100 bis 100 000. Das ist notwendig, damit Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor unterhalb des gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerts von etwa 75 dB bleiben, der einem sehr lauten Schreien entspricht.¹⁾

Ein Schalldämpfer beruht auf Absorption oder Resonanz der Schallwellen. Das Abgas dient dabei als Ausbreitungsmedium. Bei den Absorbern strömt es durch einen Kanal, dessen Wände mit einem offen porösen Material wie Stein- oder Metallwolle ausgekleidet sind. So wandelt sich ein Teil der Schallenergie durch Reibung in Wärme um. Treten die Schallwellen in den Kanal ein, ist ihre Laufrichtung – und damit der Vektor der Schallintensität – parallel zum Kanal gerichtet. Die Schallinten-



Eberspächer

Der Lärm eines Verbrennungsmotors gelangt mit dem Abgas in die Umwelt.

sität ist proportional zu Schalldruck und -schnelle. Aufgrund der Hohlräume im Absorbermaterial baut sich jedoch im Abgas auf dem Weg durch den Kanal ein lateraler Druckunterschied auf. Dadurch bekommt die Schallintensität eine laterale Komponente und sinkt ab. Absorptionsschalldämpfer dämpfen tiefe Frequenzen deutlich schlechter als hohe, weil die Größe des Schalldämpfers die Dicke des Absorbermaterials begrenzt. Der Kanal eines Absorptionsschalldämpfers sollte möglichst lang und sein absorbierender Umfang sehr groß sein, um die maximale Wirkung zu erzielen. Ist der Rohrdurchmesser zu klein, entsteht ein hoher Gegendruck Richtung

Motor, was den Kraftstoffverbrauch erhöht.

Bei allen modernen Pkws beruhen Schalldämpfer auf Resonanz, weil ein reiner Absorptionsschalldämpfer zu viel Raum beanspruchen würde. Bei Resonatoren im Abgasstrang machen es sich die Hersteller zunutze, dass ein Verbrennungsmotor nur bei charakteristischen Frequenzen – den so genannten Ordnungen des Motors – besonders stark Schall abstrahlt. Diese Ordnungen hängen von der Zahl der Umdrehungen pro Minute und der Zahl der Zylinder des Motors ab. Meist reicht es aus, nur die ersten zwei Ordnungen zu dämpfen. Da sich die Drehzahl des Motors während der Fahrt verändert, erreichen die Ordnungen Frequenzen zwischen einigen zehn und einigen hundert Hertz. Nur im Leerlauf bleiben die Frequenzen fast unverändert, da die Drehzahl nahezu konstant ist. Durch die Ordnungen bilden sich im Abgasstrang stehende Wellen aus, die in der Nähe des Auspuffrohrs aufgrund der charakteristischen Längen des Gesamtsystems einen Schalldruckbauch haben. Dadurch wirkt der Resonator an dieser Stelle am besten.

Etabliert haben sich Schalldämpfer mit mehreren Kammern (Abb. 1). Die Schallwellen treten dabei in die erste Kammer durch ein perforiertes Rohr ein. Dadurch gelangen

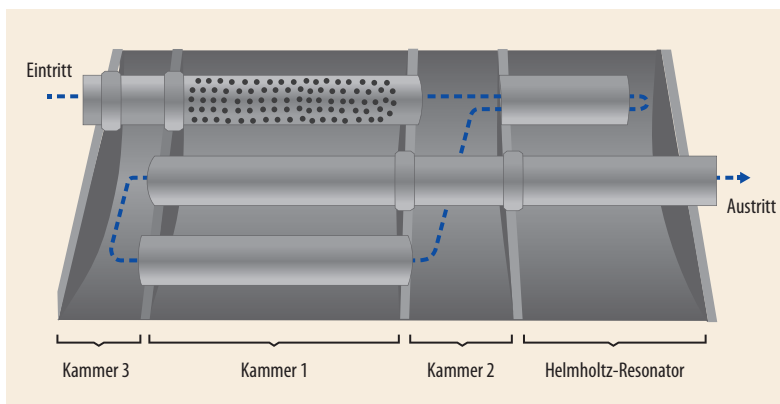


Abb. 1 Beim Resonanzprinzip gelangen die Schallwellen durch ein perforiertes Rohr in die erste Kammer, werden dort mehrfach reflektiert und interferieren teilweise destruktiv. Der Vorgang wiederholt sich in weiteren Kammern, bevor

sich die verbleibenden Schallwellen Richtung Auspuffrohr ausbreiten. Tiefe Frequenzen des Leerlaufs dämpft ein Helmholtz-Resonator. Der gestrichelte Pfeil zeigt den Weg des Abgases durch den Schalldämpfer.

die Schallwellen leichter in die Kammer. Ihre Wände reflektieren den Schall mehrfach, sodass es für einige Frequenzen zu destruktiver Interferenz kommt. Dasselbe geschieht in den weiteren Kammern. Da sie alle baulich verschieden sind, entziehen sie Schallwellen unterschiedlicher Frequenzen wirkungsvoll Energie.

Schallwellen mit den tiefsten Frequenzen treten im Leerlauf auf und stören besonders. Daher verfügt der Schalldämpfer zusätzlich über einen Helmholtz-Resonator. Er besteht aus einem Masse-Feder-System, bei dem ein kleines Luftvolumen in einer engen Rohröffnung als Masse und das angekoppelte große Luftvolumen der Kammer als Feder dient. Die Eigenfrequenz des Resonators entspricht der Frequenz des Leerlaufs. Treffen Schallwellen dieser Frequenz auf den Luftpfropfen im Rohr, regen sie die Eigenschwingung des Systems stark an und werden dadurch weitgehend gedämpft. Nach dem Passieren aller Kammern gelangen die Abgase durch das Auspuffrohr ins Freie, und das verbliebene Schallfeld breitet sich in der Luft aus.²⁾

Alternative Bauformen

In manchen Fahrzeugen sind die Kammern zusätzlich mit Stein- oder Metallwolle ausgekleidet, um Absorptions- und Resonanzprinzip zu kombinieren. Dadurch ver-

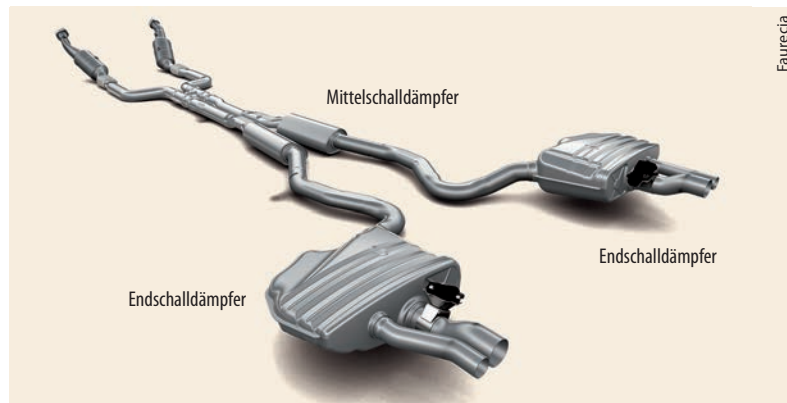


Abb. 2 Beide Abgasstränge eines höherpreisigen Fahrzeugmodells sind mit einem Endschalldämpfer versehen. Um

die Lautstärke weiter zu reduzieren, wird zusätzlich ein kleinerer Mittelschalldämpfer vorgeschaltet.

schlechtert sich zwar die Dämpfung des Resonators bei einer bestimmten Frequenz etwas, sie wirkt sich aber auf ein breiteres Frequenzspektrum aus.

Einige Schalldämpfer enthalten eine Abgasklappe, um den Helmholtz-Resonator von einem zweiten Auspuffrohr abzutrennen. Denn dieser bleibt bei den Frequenzen, die während der Fahrt auftreten, weitgehend ungenutzt. Während der Fahrt agiert der Helmholtz-Resonator, der in diesem Fall mit einem schallabsorbierenden Material ausgekleidet ist, bei geöffneter Klappe wie eine der gewöhnlichen Kammern. In Europa wird die Klappe automatisch gesteuert – ein manuelles Zuschalten ist verboten.

Neben dem Schalldämpfer in der Nähe des Auspuffrohrs, dem Endschalldämpfer, kann in den Ab-

gasstrang zudem ein Mittelschalldämpfer integriert sein (Abb. 2). Er befindet sich im Rohrabschnitt zwischen Katalysator und Endschalldämpfer und ist vor allem bei höherpreisigen Fahrzeugen anzutreffen. Ziel ist es, zusätzliche Frequenzen herauszufiltern. Mittlerweile gibt es auch Ideen zur aktiven Schallunterdrückung. Dabei erzeugt ein Steuergerät den möglichst genau passenden phasenversetzten Gegenschall, sodass es zur destruktiven Interferenz kommt. Doch selbst mit solchen Systemen bleiben Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor stets lauter als die nahezu geräuschlos fahrenden Elektromobile.

*

Ich danke Stefan Sentpali von der Hochschule München für hilfreiche Erläuterungen.

Michael Vogel

2) Ein Video zum Abgassystem eines Autos zeigt, wie ein Schalldämpfer funktioniert: <http://bit.ly/2bWXTwV>

ISBN: 978-3-527-33007-2.
November 2012
906S. mit 1200 Abb., davon 800 in Farbe
Gebunden € 79,-

DER CALLISTER JETZT AUCH AUF DEUTSCH KANN'S

W. D. CALLISTER
D. G. RETHWISCH

Übersetzungsherausgeber:
M. Scheffler

**Materialwissenschaften
und Werkstofftechnik
Eine Einführung**

Der „Callister“ bietet für Hauptfachstudenten an Universitäten und Fachhochschulen den gesamten Stoff der Materialwissenschaften für den Bachelor und das beginnende Masterstudium.

Das Buch ist auch perfekt als Lehrbuch in Wahlpflichtvorlesungen für Nebenfachstudenten geeignet.

Wiley-VCH • Tel. +49 (0) 62 01-606-400 • E-Mail: service@wiley-vch.de
Irrtum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: Dezember 2013

WILEY-VCH