Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 119/120 (1942)
Heft: 22

Artikel: Die Lärmbekämpfung im Motorenbau
Autor: Hablützel, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-52373

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

6. Auf der andern Seite wird das allmähliche Ansteigen der Mieten für Viele eine schwere, kaum erträgliche Belastung bedeuten. Wenn es auch erwünscht ist, dass in Kriegszeiten nicht nur in Lebensmitteln, in Brennmaterialien und Kleidung gespart wird, sondern auch in Wohnraum und Hausbau — die Mietsteigerung wird dazu zwingen — so wird es doch richtig sein, dass in schwierigen Fällen, in erster Linie an kinderreiche Familien, *Mietzuschüsse* gewährt werden. Auch dafür wird die Mietausgleichkasse heranzuziehen sein.

7. Wenn in der hier vorgeschlagenen Weise vorgegangen wird, so sind die Gemeinden sehr wohl imstande, den Wohnungsbau in ihrem Bereich zu ermöglichen auch *ohne kantonale und eidgenössische Zuschüsse*. Und das ist gewiss gut so. Nach Ablauf der Baurechtverträge geniesst dafür die Gemeinde, sie allein, das schuldenfreie Eigentum und freie Verfügungsrecht der von ihr hingegebenen Baurechtgebiete.

*

Wie stellt sich nun dies Schema der Subventionen dar, angewendet auf die verschiedenen Fälle?

Es sind grundsätzlich drei Gruppen von Wohnbauten denkbar (Abb. 2): A. Altbauten, das heisst Bauten, die vor der allgemeinen Preissteigerung fertiggestellt worden sind. B. Neubauten, die noch während des Ansteigens der Baupreise fertiggestellt worden sind. C. Neubauten, die in einem Zeitpunkt fertig gestellt werden, da wohl die Baukosten ihre «endgültige» Höhe erreicht haben, die Mietpreise indessen den Baukosten noch nicht entsprechen.

Die beiden ersten Gruppen nehmen am Mietausgleich teil — je später die Fertigstellung, um so kleiner die Abgabe an die Gemeindekasse. An den Subventionen geniessen nur die Neubauten einen Anteil; dieser Anteil wird immer geringer, bis er im Zeitpunkt, da der Mietindex den aufgewendeten Baukosten entspricht, verschwindet. Sobald Mietindex und Bauindex sich entsprechen, werden die Hypothekarverträge der Bauten aller drei Kategorien aufgewertet: für die Altbauten muss die ganze Preiserhöhung korrigiert werden, für die Neubauten blos die Preiserhöhung, die vom Zeitpunkt der Fertigstellung an noch erfolgt ist.

*

Der Vorschlag hat den Sinn und die Bedeutung einer Korrektur: die allgemeine Preissteigerung, wie sie sich im Wohnungswesen auswirkt, soll korrigiert werden. Und dabei soll — was den Fall so besonders schwierig macht — noch während dieser allgemeinen Preissteigerung gebaut werden können. Es soll aber auch die so bequeme, aber so verhängnisvolle Lösung «Allgemeiner Preisabbau» vermieden werden; jene Lösung, die sich fast zwangläufig einstellt, wenn die Mietpreise künstlich niedrig gehalten werden und die Neubauten, damit solche überhaupt entstehen, grosse Zuschüsse geniessen.

Eine Korrektur ist keine erfreuliche Sache. Sie vermag auch im vorliegenden Falle nicht alle Flecken zu tilgen und alle Risse zu flicken. Aber sie muss geleistet werden. Sie ist die Vorbedingung dafür, dass nach dem Krieg die Arbeit mit frischen Kräften wieder aufgenommen werden kann, unbefangen, ohne Angst vor Verlusten; unfehlbar und tadellos reguliert durch den freien Markt, das Spiel von Wohnungsangebot und Wohnungsnachfrage, in voller Freiheit.

Die Lärmbekämpfung im Motorenbau

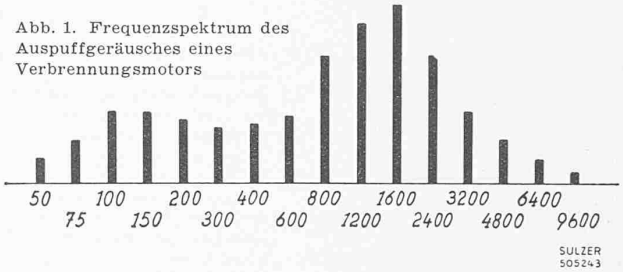
Von Dipl. Ing. Prof. E. HABLÜTZEL, Winterthur

Lärm beeinträchtigt bekanntlich das Wohlbefinden und schädigt bisweilen sogar die Gesundheit des Menschen. Lärmbekämpfung dient darum dem Komfort im gleichen Masse wie Klimatisierung der Raumluft. Am einfachsten erfolgt sie durch Verbot oder Unterdrückung von lärmerzeugenden Vorgängen (Hupen der Automobile, Ersatz der Strassenbahn durch den Trolleybus, oder der akustischen Signale durch optische im Bahnbetrieb, in Spitälern usw. Lärmerzeuger von den Wohnquartieren örtlich distanziert).

Wenn der lärmverursachende Vorgang nicht unterdrückt oder durch einen andern ersetzt werden kann, wenn die Verwendung einer Maschine ihre Aufstellung in den Wohnbezirken bedingt, so gilt es, die Lärmerzeugung womöglich zu verhindern, den entstandenen Lärm zu dämpfen oder seiner Ausbreitung entgegenzutreten. Der Vielgestaltigkeit dieser Aufgabe entspricht eine grosse Manigfaltigkeit der angewendeten Mittel, wie sich dies z. B. am Dieselmotor zeigen lässt, wo die Aufgabe der Lärmbekämpfung sehr weitgehend gelöst ist.

Betriebe, die beim Ausbleiben der elektrischen Stromversorgung schwerwiegende Störungen erfahren würden, haben eigene dieselelektrische Kraftwerke mit z. T. beträchtlichen Leistungen als Notstromgruppen angelegt, die dem Dieselmotor mitten in dicht bevölkerten Stadtteilen eine namhafte Verbreitung gebracht haben. Die Massnahmen zur Lärmbekämpfung bilden da einen wesentlichen Teil der Anlageplanung. Im Schiffbau wird der Dieselmotor mehr und mehr als Antriebmaschine von Passagierschiffen verwendet, wobei die Motorenleistung im Verhältnis zur Schiffsgrösse gewaltig ansteigt. Da gleichzeitig das Gewicht pro Leistungseinheit des Motors stark herabgesetzt werden muss, geht ein grosser Teil der lärmdämpfenden Wirkung starrer und schwerer Konstruktionen verloren. Deshalb ist auch hier die Lärmbekämpfung zum aktuellen Problem geworden.

Abb. 1. Frequenzspektrum des Auspuffgeräusches eines Verbrennungsmotors



Die Lästigkeit eines Lärms ist nicht allein von seiner Stärke, sagen wir von seinen Druckamplituden, sondern auch von seinem Charakter abhängig. Jedes Geräusch ist eine Zusammensetzung von einzelnen Tönen verschiedener Frequenz und Lautstärke. Eine wirksame Lärmbekämpfung setzt eine genaue Kenntnis vom Aufbau des Geräusches voraus. Mit Hilfe des Frequenzspektrometers ist es möglich, jedes Geräusch zu analysieren; im Frequenzspektrum (Abb. 1) erscheinen die darin enthaltenen Töne nach Frequenzen geordnet als vertikale Striche, deren Länge ein Mass ist für die Stärke oder Druckamplitude der betreffenden Töne. Vom menschlichen Ohr werden Frequenzen von rd. 20 bis über 10000 H. als Töne wahrgenommen, doch werden sie bei gleicher Lautstärke nicht gleich lästig empfunden [1]). Hohe Frequenzen fallen mit kleinerer Lautstärke lästig als die tiefen. Bei ganz tiefen Frequenzen bedarf es schon einer grossen Lautstärke, bis sie als störend bezeichnet werden müssen, und dann ist es weniger der Ton als vielmehr die Druckschwankung, die die Störungen im Ohr hervorruft. Beim Bau von Schalldämpfeinrichtungen wird man hierauf Rücksicht nehmen müssen.

Will man im Dieselmotorenbau den Lärm erfolgreich bekämpfen, so muss man den verschiedenen Ursachen der Geräuschbildung einzeln nachgehen und untersuchen, ob das Zustandekommen des Geräusches überhaupt verhindert oder doch gehemmt werden kann, oder ob man sich darauf beschränken muss, seiner Ausbreitung entgegen zu wirken.

Das Klopfen beim Dieselmotor ist eine Folge des Zündverzuges, d. h. der Zeit, die zwischen Einspritzbeginn und Entzündung verstreicht. Je grösser diese ausfällt, umso grösser ist im Moment der Zündung die zur Verbrennung bereite Brennstoffmenge, die dann sozusagen momentan verbrennt und einen plötzlichen Druckanstieg ergibt. Darum sind zur Verminderung des Zündgeräusches alle Mittel dienlich, die den Zündverzug verkleinern. Die Wahl besonders zündwilliger Brennstoffe oder die Beigabe zündfördernder Zusätze verbietet sich aber oft aus wirtschaftlichen Ueberlegungen. Auch das Mittel der höheren Kompression ist nicht wahllos anzuwenden, weil ein hoher Kompressionsenddruck einen unzulässig hohen Zünddruck zur Folge haben kann. Zündfördernd wirkt auch eine Verfeinerung der Brennstoffstrahlen; damit wird aber deren Durchschlagskraft vermindert und die Belastungsgrenze herabgesetzt. Bei besonders zündträgen Brennstoffen, wie z. B. Teeröl hilft eine örtliche Temperaturerhöhung durch Einbau von Glühplatten am Kolben. Schliesslich kann man durch eine langsamere Einspritzung die während des Zündverzuges eingespritzte Brennstoffmenge verringern.

Nicht unbeträchtlich ist der Lärm der Steuerungsorgane, hauptsächlich bedingt durch das erforderliche Spiel, das ein sicheres Schliessen der Ventile gewährleistet, dafür aber bei der Betätigung des Mechanismus die einzelnen Glieder gegeneinander schlagen lässt. Man wird darum dieses Spiel auf das unumgängliche Minimum herabsetzen und durch Anlaufbogen an den Nocken dafür sorgen, dass es nicht plötzlich, sondern allmählich aufgehoben wird. Da alle Stösse Vibrationen und diese wiederum Geräusche zur Folge haben können, sind die Dreh- und Stützpunkte der Steuerorgane an möglichst grossen Massen mit tiefer Eigenfrequenz, also z. B. niemals an Verschalungen anzubringen. Wo Zahnräder für den Antrieb der Steuerung verwendet werden, wird man mit Vorteil zu Schrägverzahnung greifen.

[1]) Vgl. F. M. Osswald: Dezibel, Phon-Dauerton und Stärkstimpulse. SBZ, Bd. 111 (1938), Nr. 9, S. 99*.

Ein kleines Spiel bei allen bewegten Teilen verlangt eine genaue Bearbeitung und Montage. Die bei hoch belasteten Motoren vorhandene reichliche Umlaufschmierung dämpft die Maschinenstösse des Triebwerkes sehr stark, dank den Oelkissen in den Spielräumen zwischen Zapfen und Lager. Staubdichte Verschalungen wirken der Ausbreitung des Maschinengeräusches entgegen, können aber anderseits durch die Erschütterungen der Maschine oder durch Druckwechsel in Schwingung geraten und selber zu Lärmerzeugern werden. Es empfiehlt sich deshalb, Blechverschalungen zu versteifen, oder gegossene Verschalungen zu verwenden.

In den weitaus meisten Fällen ist der Auspuff die grösste Lärmquelle des Dieselmotors. Im Auspuffrohr treten Geschwindigkeits- und Druckschwankungen auf. Jede ihrer Harmonischen kann Ursache von Resonanzschwingungen der elastischen Gassäule im Auspuffrohr sein. Die Lärmerzeugung durch den Auspuff ist also unvermeidlich, wenn auch durch strömungsgerechte Form der Leitungen unter Vermeidung von krassen Querschnittsänderungen und vorspringenden Kanten die Wirbelablösungen unterdrückt und die sog. Schneidentöne ausgeschaltet werden können. Eine starre Konstruktion des Auspuffrohres verhindert, dass es selber in Schwingung versetzt und zur Lärmquelle wird. Auch hier ist Guss vorteilhafter als Blech. Besonders schwingungsträge sind doppelwandige Gussrohre mit Kühlwassermantel. Immerhin werden auch Auspuffrohre aus Blech durch ihre Wärmeisolierung aus Asbest, Glaswolle u. a. weitgehend am Schwingen verhindert. Die Bogenstücke des Auspuffrohres sollen bei geschweissten Ausführungen besonders verstärkt werden, denn wegen des Aufprallens der Druckwellen werden sie am stärksten zum Schwingen angeregt.

Das Frequenzspektrum des Auspuffgeräusches zeigt breite Frequenzbänder, d. h. die darin enthaltenen Töne verschiedenster Wellenlänge gruppieren sich zu besonders hervortretenden Tonbereichen, die sich selber wieder über die ganze Skala der wahrnehmbaren Töne verteilen. Es ist darum nicht möglich, zur Dämpfung des Auspuffgeräusches ein Universalmittel anzugeben, denn die Wirksamkeit der Methoden ist für verschiedene Frequenzen nicht dieselbe. Entsprechend den besonders hervortretenden Frequenzbereichen wird man die Dämpferform wählen und dabei auch darauf Rücksicht nehmen, dass die Töne grosser Wellenlänge sich kugelförmig ausbreiten, während sich die höheren Töne besonders in der Richtung der Gasströmung fortpflanzen. Die eingebauten Dämpfereinrichtungen haben aber eine Aenderung in der Form der schwingenden Gassäule, also des Frequenzspektrums, zur Folge. Man läuft also auch Gefahr, das Gegenteil vom Angestrebten zu erreichen, indem bei der abgeänderten Form gewisse, vorher nur schwache Tonbereiche wesentlich verstärkt werden können. Die Gestaltung eines wirksamen Auspufftopfes im voraus zu bestimmen ist darum nicht einfach.

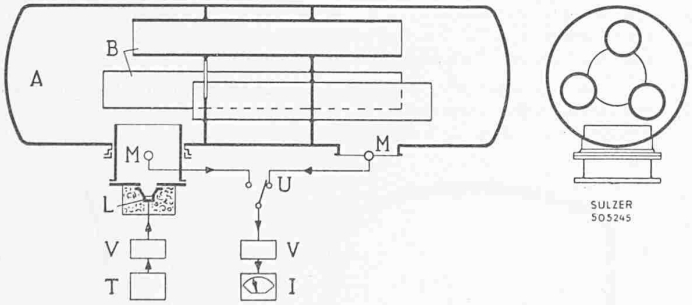


Abb. 2. Versuchsanordnung für Kaltprüfung eines Auspufftopfes mit eingebauten Interferenzröhren
A Auspufftopf, B ungleich lange Rohre, T Tongenerator, V Verstärker, L Lautsprecher, M Mikrophon, U Umschalter, I Messinstrument

Die experimentelle Untersuchung eines Auspufftopfes besteht in der Bestimmung des Schalldruckes vor und nach demselben, wobei der Einfluss verschiedener Einbauten in den Topf festgestellt werden kann. Als Lärmquelle bedient man sich gemäss Abb. 2 eines Lautsprechers, zur Schallmessung zweier Mikrophone, die so zusammengeschaltet werden, dass man am Anzeigegerät das Verhältnis der Schalldrücke ablesen kann. Man muss sich aber hüten, die Ergebnisse solcher Versuche kritiklos auf den Motorenbetrieb zu übertragen, denn was im Experiment als gut erscheint, kann z. B. wegen zu grossem Strömungswiderstand in der Dieselanlage geradezu unmöglich sein.

Drosselung, d. h. vorübergehende Umsetzung von Druck- in Geschwindigkeitsenergie, die dann nachher durch Wirbelung und innere Reibung in Wärme übergeht, dämpft den Auspufflärm, weil eben die Lautstärke von den Amplituden der Druckwellen abhängt. Eine Stauung im Auspuffrohr bedeutet aber einen Leistungsverlust; sie kann bei Zweitaktmotoren auch eine empfindliche Störung der Spülung zur Folge haben und ist darum nur mit Vorsicht anzuwenden. Im Sinne eines Druckwellenabbaues mit Umsetzung in gesteigerte kinetische Energie wirken auf die Auspuffrohre aufgesetzte Düsen, wie man sie im Schiffbau häufig verwendet. Der Gasstrahl bleibt dann länger geschlossen, und die in Richtung der Strömung fortgepflanzten Töne hoher Frequenz werden weiter vom Schiff weggetragen. Eine Kaminabdeckung aus gelochtem, gegen Schwingungen versteiftem Blech rings um die Düse vermag einen beträchtlichen Teil der sich kugelförmig ausbreitenden Töne tiefer Frequenz zu verschlucken. Die Düse soll über den Kaminrand vorstehen, weil sonst das Kamin selber leicht in Schwingung versetzt wird. In ähnlicher Weise wie eine Drosselung, allerdings unter Ausnützung der Druckenergie zur Arbeitsleistung, wirkt der Einbau einer Abgasturbine ins Auspuffrohr. In ihrem Leitapparat wird die Geschwindigkeit auf Kosten des Druckes erhöht, und im Laufrad findet dann durch Umlenkung die Energieabgabe statt, wobei der Gasstrom ausserdem noch weitgehend aufgeteilt wird. Das Auspuffgeräusch nach einer Abgasturbine ist darum minimal.

Es ist auch möglich, den Schall durch Interferenz zu dämpfen, indem man verschiedene Schallwellen gleicher Frequenz mit Phasenverschiebung, womöglich um halbe Wellenlänge, aufeinander einwirken lässt. Bei abweichenden Frequenzen können dabei allerdings Schwebungen entstehen, die noch weit unangenehmer sind. Das Mittel der Interferenz ist auf hohe Töne beschränkt, weil die Apparaturen Ausdehnungen in der Grössenordnung der halben Wellenlänge erhalten. Es ist in Einzelfällen gelungen, auf diese Art einen besonders herausstechenden, hohen Ton aus dem Auspuffgeräusch zu eliminieren. Die Gasströmung wurde dabei halbiert und der Weg der einen Hälfte um eine halbe Wellenlänge dieses Tones grösser gemacht als der der andern. Mehr dem Zufall überlassen und nur bei sehr hohen Tönen wirksam ist die Kompensation bei dem Schalldämpfer nach Abb. 3. Die Aufteilung in viele Einzelströmungen hat zudem eine wesentliche Erhöhung der Reibung und damit eine Verminderung der Schallenergie, freilich auch einen entsprechenden Widerstand zur Folge. Da im Auspuffgeräusch Wellen verschiedenster Länge und Phasenverschiebung enthalten sind, wird in der Regel auch ein Schalldämpfer nach Abb. 4 durch Kompensation eine Schalldruckverminderung bewirken. Im allgemeinen werden Druckungleichheiten zu beiden Seiten der gelochten Leitbleche vorhanden sein.

Kleidet man ein Auspuffrohr inwendig mit einem weichen und porösen Material aus, so werden die Druckwellen an den Wandungen nicht reflektiert, sondern verschluckt; so erhält man eine sehr wirksame Schalldämpfung. Sind aber die Poren einmal durch Verbrennungsrückstände verpappt, so hört die absorbierende Wirkung auf, weshalb diese Konstruktion für die Dämpfung von Auspuffgeräuschen nicht zu empfehlen ist. Aehnlich verhält es sich mit den Schalldämpfern in Form von Filtern, bei denen die Gase eine poröse Filtermasse durchströmen und dabei wegen der grossen Reibung viel von der Schallenergie verlieren. Der grosse Widerstand, schon bei sauberem Filter ein Nachteil, kann sich mit zunehmender Verschmutzung katastrophal auswirken.

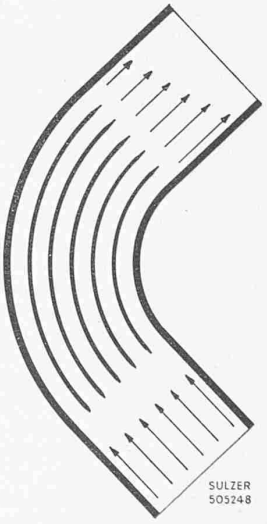


Abb. 3. Kompensations-Schalldämpfer mit mehrfacher Unterteilung

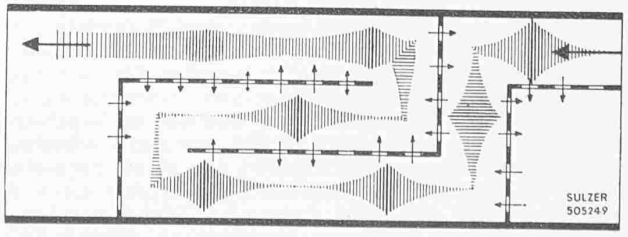


Abb. 4. Kompensations-Schalldämpfer mit Mehrfach-Umlenkung durch gelochte Bleche

ZUR LÄRMBEKÄMPFUNG IM MOTORENBAU

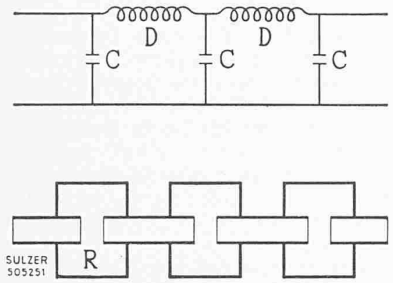


Abb. 6. Elektr. und akust. «Drosselkette» nach A. Kauffmann und U. Schmidt
D Drossel, C Kapazität, R Resonanzkammer

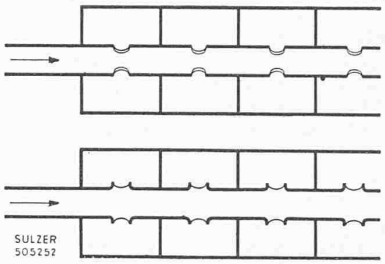


Abb. 7. Auspufftopf als Tiefpassfilter

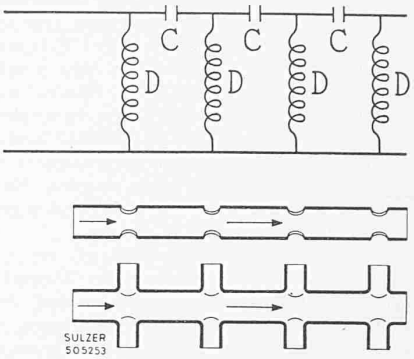


Abb. 8. Kondensatorkette nach A. Kauffmann und U. Schmidt. — C Kondensator, D Drossel

Der weitaus gebräuchlichste der Auspuffschalldämpfer ist die Querschnittsänderung in Form von Auspufftöpfen, und zwar ist die Dämpfung umso besser, je grösser das Querschnittsverhältnis ist. Sollen tiefe Töne unterdrückt werden, so ist die Länge des Topfes gross zu wählen. Der Topf eines grossen, langsam laufenden Motors ist daher wegen der grossen Schallenergie und der niedrigen Frequenzen sehr voluminös zu gestalten. Die volle Wirksamkeit der Querschnittsänderung wird aber nur dann erreicht, wenn der Topf zwischen relativ lange Rohrstücke geschaltet ist. Dies bringt die Gefahr mit sich, dass die Gassäule im Endrohr, zur Resonanz angeregt, die Wirkung des Topfes illusorisch macht. Dann wird am einfachsten die Rohrlänge verändert, oder am Ende eine Düse aufgesetzt. Am wirksamsten ist aber der Einbau eines zweiten Topfes.

Da theoretisch die Dämpfungsintensität nur vom Querschnittsverhältnis und der Anzahl der Querschnittsänderungen, nicht aber von der Topflänge abhängt, ist es naheliegend, den Topf durch Zwischenböden zu unterteilen. Dann sind aber zwischen den einzelnen Kammern keine langen Rohrstücke eingebaut und die Verstärkung der Dämpferwirkung ist darum der Kammerzahl nicht proportional. Mit jeder Verkürzung des Auspufftopfes wird das am wirksamsten angegriffene Frequenzband nach oben verschoben. Es ist darum kein Zufall, dass die Entwicklung vom einteiligen zum mehrfach unterteilten Topf führte, wurden doch auch die Drehzahlen der Motoren sukzessive gesteigert. Ursprünglich baute man die Auspufftöpfe als grosse, einzellige Gussbehälter, die wegen ihrer Steifigkeit die Gefahr des Mitschwingens ausschlossen. Bei grossen Anlagen erwiesen sie sich bald als zu schwer und zu sperrig für den Transport, weshalb man sie durch Betonkammern ersetzte, die an Ort und Stelle gebaut wurden. Mit Rücksicht auf die Wärmespannungen mussten diese dünnwandig und darum stark armiert ausgeführt werden; dies führte zu teuern Konstruktionen. Um die Eiseneinlagen und damit den Preis herabsetzen zu können, suchte man sie vor starken Druckwellen zu schützen durch Druckwellenbrecher am Eintritt (Abb. 5) und durch Ausrüstung mit federbelasteten Sicherheitsdeckeln. Mit dem Uebergang zur eingegrabenen Betonkammer wurden auch allfällig auftretende Risse unschädlich gemacht und gleichzeitig eine gewisse Kühlung erreicht. Weil aber Dieselanlagen in den abgelegensten Gegenden errichtet werden, wo für eine einwandfreie Ausführung dieser armierten Betonkammern keine Gewähr besteht, gibt man den mit dem Motor gelieferten Töpfen doch wieder den Vorzug. Die neuen Gusstöpfe suchte man ohne Einbusse an Dämpferwirkung kleiner zu halten, indem man sie mit besonderen Einbauten, spez. mit Interferenzrohren ausrüstete (Abb. 2). Trotzdem nahmen sie für die grossen Anlagen derartige Abmessungen und Gewichte an, dass man aus Transportgründen sich gezwungen sah, zu Blechkonstruktionen überzugehen.

Da in Schiffen und Lokomotiven Dieselmotoren mit immer grösseren Leistungen eingebaut werden, machte es mehr und mehr Schwierigkeiten, bei dem beschränkten Platz einen genügend wirksamen Topf unterzubringen, bis man, durch die Elektrotechnik angeregt, auf die sog. Siebketten verfiel. Eine elektrische Drosselkette besteht aus einer Reihe von Schwingungskreisen mit Drosseln und Kapazitäten. Diese sind bei der akustischen Siebkette durch Resonanzkammern und jene durch Rohrstücke ersetzt (Abb. 6). Sie haben die Eigenart, dass sie alle Frequenzen dämpfen, die oberhalb ihrer doppelten Eigenfrequenz liegen. Die darunterliegenden, also tiefen Frequenzen, können ungehemmt «passieren», weshalb man diese Einrichtungen «Tiefpassfilter» nennt. Als Auspufftöpfe werden sie meist aus zwei konzentrischen Rohren mit Zwischenböden im äussern Rohr gebaut (Abb. 7). Je grösser die Resonanzkammer ist, umso weiter nach unten erstreckt sich der Bereich der gedämpften Frequenzen und man kann sich im Grenzfall den äusseren Mantel überhaupt wegdenken und gelangt dann so zur zweiten Art des akustischen Filters, nämlich zur Kondensatorkette (Abb. 8) Bei der elektrischen Kondensatorkette sind die Kondensatoren in die Uebertragungsleitung und die Drosseln in die Seitenzweige eingebaut, während sie, akustisch gesprochen, aus einer Hintereinanderschaltung von Helmholtz'schen Resonatoren besteht. Kondensatorketten dämpfen alle Frequenzen, die unter ihrer halben Eigenfrequenz liegen. Die darüberliegenden, also hohen Frequenzen «passieren» ungehindert, weshalb man diese Konstruktion auch «Hochpassfilter» nennt. Ein «Hochpass» in dieser Form ist wegen der Verbindungen mit der Atmosphäre für die Schalldämpfung beim Auspuff nicht zu gebrauchen, wohl aber, an Stelle der gleich zu erwähnenden Venturidüsen, zur Dämpfung des Ansauggeräusches von Kolbenkompressoren und von Dieselmotoren. Um tiefe Frequenzen von Auspuffgeräuschen zu dämpfen, wendet man neben der erwähnten Querschnittsänderung die Drosselung an, die umso stärker sein muss, je tiefer die zu dämpfende Frequenz liegt. Abb. 9 zeigt einen auf Drosselung beruhenden Schalldämpfer für die tiefen Frequenzen. Die seitlichen Stutzen erweitern den Dämpfungsbereich nach unten (Ausführung b), und zwar um so mehr, je länger sie sind. Schaltet man Resonanzkammern in diese Stutzen ein, so erreicht man denselben Effekt mit viel kürzeren Abzweigungen (Ausführung c). Diese akustischen Siebe zeichnen sich durch kleinsten Platzbedarf und, wenigstens beim reinen Hoch- und Tiefpass, durch minimalen Widerstand aus. Wegen der Zusammensetzung des Auspuffgeräusches aus Tönen verschiedenster Frequenzen muss ein Auspuffschalldämpfer einen Tiefpass und einen Ersatz für den reinen Hochpass in sich vereinigen.

Als Schalldämpfer für das Ansauggeräusch von Kolbenkompressoren oder Dieselmotoren werden meist Venturidüsen angewandt (Abb. 10), die ineinander oder nebeneinander geschaltet

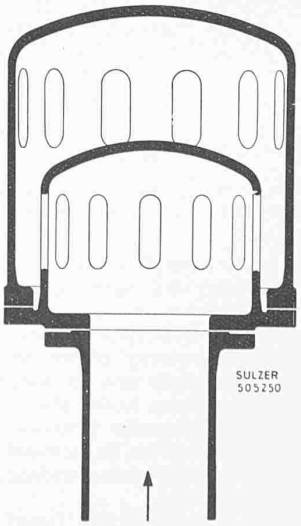


Abb. 5. Auspufftopf mit Druckwellenbrecher

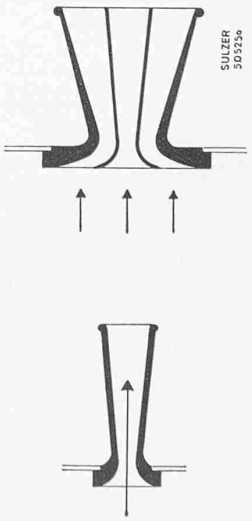


Abb. 10. Einfache und unterteilte Venturidüse

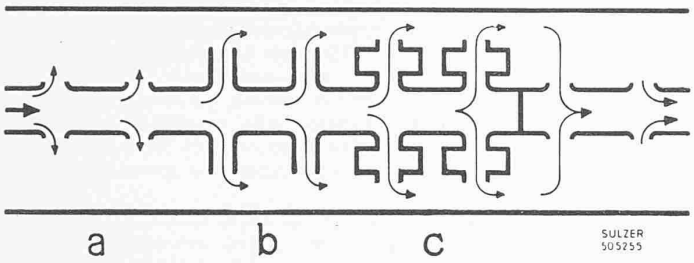


Abb. 9. Auspuffschalldämpfer für tiefe Frequenz, auf Drosselung beruhend
a mit einfachen Löchern, b mit seitlichen Löchern, c mit Resonanzkammern in seitlichen Stutzen

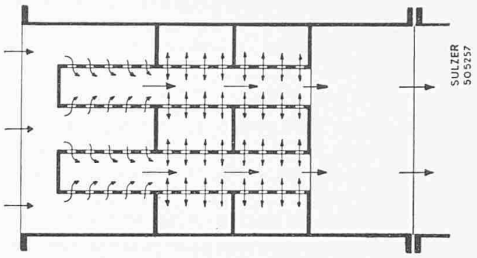


Abb. 11. «Tiefpass» für Spülluft-Gebläse

sein können. Geht man mit der Energieumsetzung der angesaugten Luft bis zum kritischen Druckverhältnis, sodass also im engsten Querschnitt die Schallgeschwindigkeit erreicht wird, so können keinerlei Schallwellen von innen nach aussen mehr durchdringen. Mit Rücksicht auf die Verluste bleibt man aber in der Regel weit unter der Schallgeschwindigkeit. Auch dann noch wirkt die Düse auf Schallwellen niedriger und mittlerer Frequenzen stark dämpfend. Den Ansaugrohren vorgeschaltete Luftfilter, seien sie mit Raschigringen oder noch wirksamer mit Cocosfasern gefüllt, ergeben zwar eine gute Schalldämpfung, werden aber wegen des hohen Widerstandes bei Spülluftpumpen oder Aufladegebläsen kaum verwendet. Hier handelt es sich vor allem darum, hohe Töne zu dämpfen. Mit Erfolg wurde darum bei Spülluftgebläsen der «Tiefpass» angewandt (Abb. 11), während bei Aufladegebläsen die Absorptionsdämpfer vorherrschen (Abb. 12). Hier dient hauptsächlich Filz zur schallabsorbierenden Auskleidung der Wandungen im Saugstutzen. Dieser ist so zu gestalten, dass die Schallwellen, vom Laufrad ausgehend, auf keinem Wege ins Freie gelangen können, ohne vorher auf Filz aufzuprallen.

Da die Geräusche des Motors nicht nur durch die Luft, sondern als Körperschall sich auch durch das Fundament und alle starren Verbindungen der Umgebung mitteilen, gehört zu einer wirksamen Lärmbekämpfung auch die Isolierung gegen Körperschall. Die Uebertragung der Vibrationen auf die Umgebung geschieht in erster Linie durch Unterbrechungen aller Rohrleitungen durch Schläuche oder Stopfbüchsen. Kunststoffe können zu haltbaren Schläuchen für Brennstoffe und Schmieröle verarbeitet werden. In den Auspuffleitungen sind wegen der hohen Temperaturen Stopfbüchsen angezeigt. Zur Abisolierung gegen den Boden wird der Maschinenrahmen oder der Fundamentbeton auf Korkplatten abgestützt und um das Fundament ein Luftspalt offen gelassen. Naturkork ist aber ziemlich hart und elastisch und bildet mit der darauf ruhenden Masse ein schwingungsfähiges System, das zu Resonanzschwingungen angeregt werden kann. Der in dieser Beziehung günstigere, weil weichere Presskork läuft Gefahr, bei Vibrationen der auf ihm ruhenden Last zermalmt zu werden. Daher ging man mehr und mehr zu Gummiunterlagen über. Naturgummi ist aber in seiner Elastizität sehr verschieden und darum unberechenbar. Dagegen ist man bei Verwendung von Buna imstande, die Elastizität innerhalb gewisser Grenzen bei der Herstellung zu fixieren. Neuerdings stützt man die Grundplatte von Kleinmotoren auf Stahlfedern auf, während man in die Fundamente von Grossmotoren einen Tragrost einbetoniert und diesen an Stahlfedern aufhängt (Abb. 13). Diese Konstruktion ist allerdings gegen Erschütterungsübertragung und nicht als Körperschallisolierung entwickelt worden. Sie hat den Vorteil, dass sich die Eigenschwingung im voraus berechnen und durch Eingriffe an den Federn noch an der fertig erstellten Anlage verändern lässt.

Auch die Gestaltung des Maschinenraumes ist nicht ohne Einfluss auf Maschinenlärm. Glatte Wände und Wandplattenverkleidungen geben einen starken Widerhall, weshalb ein rauher Verputz vorzuziehen ist. Im Schiffbau ist man sogar dazu übergegangen, die Wände der Maschinenräume mit porösen Faserplatten auszukleiden, die ohne Beeinträchtigung ihrer Schallschluckfähigkeit, mit Drahtgeflechten oder gelochten Blechen geschützt und gehalten werden.

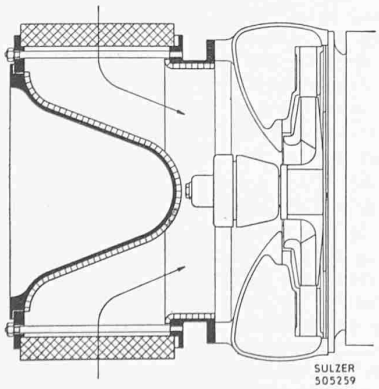


Abb. 12. Absorptions-Schalldämpfer im Saugstutzen eines Aufladegebläses

MITTEILUNGEN

Der Fallschirmabsprung. Der nach dem Krieg zu erwartende Wiederaufschwung des internationalen Flugverkehrs wird sich auf die teuer erkauften Erkenntnisse der heutigen Luftkriegstechnik stützen. Wie zum Ozeandampfer Rettungsringe, werden zu jedem Flugzeug Fallschirme gehören, und jeder Passagier wird eine Anweisung erhalten, wie er sich gegebenenfalls seines Rettungsschirmes zu bedienen hat. Diese Anweisung wird auf Ueberlegungen fussen, wie sie E. Mühlemann in «Flugwehr und -Technik» 1941, Nr. 11 entwickelt. Die dabei massgebende Zahl ist heute etwa 250 km/h = 70 m/s. Hat der abgesprungene Passagier in dem Augenblick, wo sich sein Fallschirm öffnet, eine höhere Geschwindigkeit, so läuft der aufgehende Schirm Gefahr, unter dem Anprall des bremsenden Luftstroms zu zerreissen. Da die Geschwindigkeit des Passagiers beim Absprung jener des Flugzeugs gleich ist, so muss er mithin, sofern diese 250 km/h übersteigt, in der Luft einige Zeit warten, ehe er den Fallschirm öffnet, nämlich solange, bis sich unter dem Einfluss des Luftwiderstandes seine Geschwindigkeit auf höchstens 70 m/s verzögert hat, übrigens mit Verzögerungen, die bei hoher Anfangsgeschwindigkeit, z. B. 600 km/h, ein Mehrfaches der Erdbeschleunigung betragen und dann vorübergehende Sehstörungen verursachen können. (Die «Grenzgeschwindigkeit» des in der Luft herabstürzenden Menschen, d. h. seine Geschwindigkeit bei gleichförmigem Fall, wird auf 200 ÷ 220 km/h geschätzt.) Während der nötigen «Wartezeit» t_1 durchfällt also der Passagier eine Höhe h_1; jetzt betätigt er die Reissleine. Das Enthüllen des Schirms aus der aufgerissenen Verpackung erfordert eine gewisse Frist t_2 entsprechend einer weiteren Fallstrecke h_2; dann öffnet er sich mit einem Knall. Während einer Dauer t_3 bremst er seine Last ab. Zu praktisch genügender Annäherung an die stationäre Fallschirmgeschwindigkeit von 5 m/s ist eine Bremsstrecke h_3 erforderlich. Als zulässige Endgeschwindigkeit, mit der der durch Kniebeuge und Ueberrollen gemilderte Aufprall auf die Erde erfolgen darf, gilt 6 m/s (Sprung von einer 1,85 m hohen Mauer). Zu jeder Absprung- = Fluggeschwindigkeit $\mathfrak{v}_0$ gehören demnach zwei für das Gelingen der Rettung wesentliche Grössen: 1. die Wartezeit t_1, 2. die minimale Absprunghöhe $H = h_1 + h_2 + h_3$. Diese beiden Funktionen des Geschwindigkeitsvektors $\mathfrak{v}_0$, d. h. seines Betrages v_0 und seines Neigungswinkels α gegen die Horizontale, sind es, die Mühlemann l. c. berechnet und in einem Diagramm durch zwei Kurvenscharen $H = f_\alpha\,(v_0)$ und $t_1 = g_\alpha\,(v_0)$ darstellt. Diesem Diagramm ist z. B. für $v_0 = 460$ km/h und $\alpha = 30°$ (schräger Abwärtsflug) eine notwendige Absprunghöhe H von 355 m und eine Wartefrist t_1 von 5 s zu entnehmen. 400 m Absprunghöhe gewähren also in diesem Fall eine Marge von 45 m gleichförmigen Sinkens mit 5 m/s Geschwindigkeit in den letzten Sekunden vor der Landung. Geschieht der Absprung bei der angegebenen Geschwindigkeit $\mathfrak{v}_0$ aus einer niedrigeren Höhe als 355 m, so hat der Abgesprungene die Wahl zwischen zwei Gefahren: Zerreissen des Rettungsschirms infolge zu raschem Oeffnen, oder aber allzuspätes Ab-

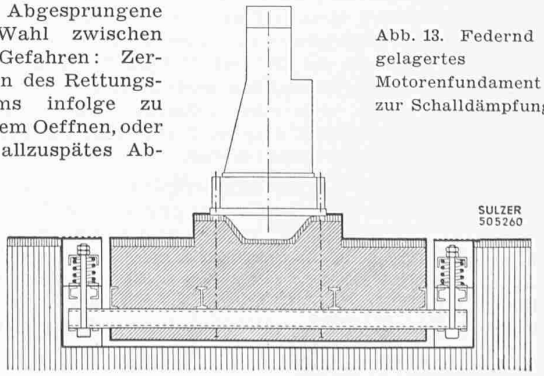


Abb. 13. Federnd gelagertes Motorenfundament zur Schalldämpfung