

Die Grundlagen des Schallschutzes

Autor(en): **Kurtze, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **33 (1955)**

Heft 10

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874248>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicata dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Die Grundlagen des Schallschutzes

Von G. Kurtze, Göttingen

534.83

«Musik wird störend oft empfunden...» sagte schon Wilhelm Busch, obwohl er die heutige Verbreitung von Heim-, Auto-, Koffer- usw. Radios doch kaum hat ahnen können. Leider ist es aber nicht nur die Radiomusik des Nachbarn – die eigene kann man ja notfalls abstellen –, sondern es ist in erster Linie der immer mehr ansteigende Verkehrslärm, der im Verein mit dem Lärm von stationären Maschinen aller Art auf dem besten Wege ist, die Nerven der heutigen Stadtbewohner vollends zu zerrütten. So ist der Lärm in den letzten Jahren für viele Zeitgenossen verständlicherweise zum Feind Nr. 1 geworden, nicht zuletzt auch durch die fortschrittliche leichte Bauweise der Nachkriegsjahre, bei der man vielfach vor lauter Freude über die Einsparungen an Baumaterialien die Akustik vollkommen vergessen hatte, so dass der glückliche Besitzer einer solchen Wohnung nunmehr regen Anteil am Familienleben seiner Nachbarn nehmen kann.

Hier Abhilfe oder zumindest Linderung zu schaffen, ist eine durchaus lösbare Aufgabe, die aber dadurch erschwert wird, dass bis in die Kreise der Hersteller von Schallschutzmaterialien hinein eine ziemliche Begriffsverwirrung in bezug auf die für die Schalldämmung und Schalldämpfung wichtigen akustischen Grundtatsachen herrscht. So werden u. a. noch vielfach Wärmedämmung und Schalldämmung eines Stoffes oder einer Konstruktion als miteinander gleichsinnig gekoppelte Grössen angesehen. Dabei bringt eine Verbesserung der Wärmedämmung vielfach eine Verschlechterung der Schalldämmung und umgekehrt mit sich.

Zweck der nachstehenden Ausführungen ist nun nicht, detaillierte Hinweise für die Praxis zu geben. Es soll vielmehr von den akustischen Grundlagen her versucht werden, generell klarzumachen, worauf es bei der Vielfalt der zum Zwecke des Schallschutzes

getroffenen Massnahmen in erster Linie ankommt. Dazu sind zunächst einige Begriffe zu klären, die, wie ihre vielfach falsche Anwendung in Prospekten beweist, keineswegs als allgemein bekannt gelten dürfen, Begriffe nämlich wie: Frequenz, Schallstärke, Lautstärke, Dezibel (dB), Phon, Dämmung, Dämpfung usw.

Was ist Schall?

Als Schall schlechthin bezeichnen wir im allgemeinen den Luftschall, das heisst den Schall, den die Luft an unser Ohr trägt. Der bekannteste technische Luftschallerzeuger ist der Lautsprecher. Bei diesem wird bekanntlich ein Pappkonus durch ein Magnetsystem hin- und herbewegt. Dabei entstehen durch die Trägheit der Luft an der Oberfläche des Pappkonus Luftverdichtungen und -verdünnungen, je nachdem, ob sich dieser nach aussen oder nach innen bewegt. Diese Verdichtungen und Verdünnungen pflanzen sich mit Schallgeschwindigkeit (etwa 340 m/sec) nach allen Seiten in den Luftraum hinaus fort und regen ihrerseits unser Trommelfell zu Schwingungen an, die das Gehirn als Schall registriert. Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bedeuten kleinere, beziehungsweise grössere Abstände der Luftteilchen voneinander. Schematisch würde eine Momentaufnahme der Luftteilchen während des Durchganges einer Schallwelle das in Figur 1 oben als Dichtewelle – das ist die allgemeine Bezeichnung für Wellen dieser Art – bezeichnete Bild ergeben. Den Abstand zweier Dichtemaxima, der im Bild mit λ bezeichnet ist, bezeichnet man als eine Wellenlänge; die Zahl der Dichtemaxima, die in der Sekunde eine bestimmte Stelle passieren, oder, was dasselbe ist, die Zahl der Hin- und Herbewegungen des Lautsprecherkonus pro Sekunde bezeichnet man als Frequenz, die in Hertz (Hz) angegeben wird (1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde). Die Wellenlänge ergibt sich aus der Gleichung:

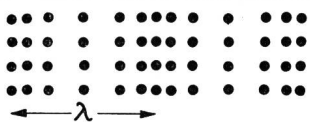
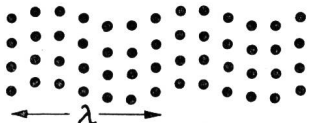
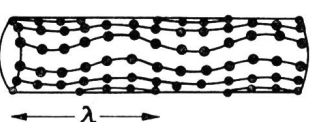
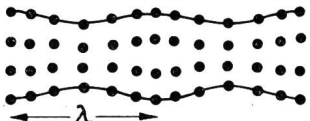
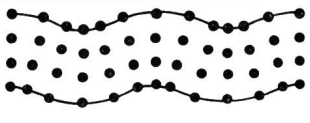
Wellenart	Schema	Vorkommen	Fortpflanzungsgeschw.
Dichtewellen (Longitudinalwellen)		Gase, Flüssigkeiten, ausgedehnte Festkörper	$c_L = \sqrt{K/\rho}$ K = Kompressionsmodul
Schubwellen (Transversalwellen)		ausgedehnte Festkörper (Dimensionen $\gg \lambda$)	$c_S = \sqrt{G/\rho}$ G = Schubmodul
Torsionswellen		Festkörper	$c_S = \sqrt{G/\rho}$
Dehnwellen		begrenzte Festkörper (Stäbe, $\phi \ll \lambda$)	$c_D = \sqrt{E/\rho}$ E = Elastizitätsmodul
Biegewellen		begrenzte Festkörper (Platten, Stäbe, $\phi \ll \lambda$)	$c_B = \sqrt{\omega^2 \frac{B}{\rho d}}$ B = Biegesteife = $\frac{EJ}{1-\mu^2}$ d = Plattendicke

Fig. 1. Wellentypen

Wellenlänge = Schallgeschwindigkeit/Frequenz,
oder mit den üblichen Symbolen: $\lambda = c/\nu$.

Eine Schallwelle ist dann als Ton hörbar, wenn ihre Frequenz zwischen 16 Hz (tiefster hörbarer Ton) und etwa 16 000 Hz (höchster hörbarer Ton, seine Frequenz nimmt mit zunehmendem Alter etwas ab) liegt. Voraussetzung für die Hörbarkeit ist aber ferner natürlich noch, dass der Schall eine gewisse Mindeststärke hat, die ausreicht, das Ohr zum Ansprechen zu bringen, und damit kommen wir auf die Begriffe der Schallstärke und Lautstärke.

Es ist einleuchtend, dass bei der Bewegung des Lautsprecherkonus eine gewisse Arbeit geleistet werden muss. Diese aufgewendete Energie pflanzt sich mit der Schallwelle fort und kann an anderer Stelle teilweise wieder gewonnen werden, zum Beispiel am menschlichen Trommelfell, das ja durch diese Energie in Schwingungen versetzt wird. Die auf eine Fläche von 1 cm² auftreffende Schallenergie, die mit einem Mikrophon objektiv gemessen werden kann, wird nun als Mass für die Schallstärke benutzt. Messungen zeigen, dass zum Beispiel ein Ton von 1000 Hz für einen normal Hörenden dann gerade hörbar wird, wenn die Schallenergie 10⁻¹⁶ Watt/cm² beträgt, und dass bei 10⁻⁴ Watt/cm² der Ton für das menschliche Ohr schmerzhaft zu werden beginnt. Erstaunlich ist dabei einmal die unvorstellbar geringe Energie, die bereits ausreicht, um im Ohr eine Schallwahrnehmung zu erzeugen, und dann der grosse Energiebereich von

12 Zehnerpotenzen, den das Ohr in eine entsprechende Lautstärkeempfindung umzusetzen in der Lage ist. Infolge dieses grossen Bereiches und wegen der annähernd logarithmischen Empfindlichkeit des Ohres muss für die Schallstärke ein logarithmisches Mass gewählt werden. Man benutzt hier das Dezibel (dB). Das Dezibel-Mass gibt das Verhältnis zweier Energien an, und zwar den zehnfachen Zehnerlogarithmus dieses Verhältnisses. Demnach bedeutet 10 dB das Verhältnis 10 : 1, 20 dB das Verhältnis 100 : 1, 30 dB = 1000 : 1 usw. Die Schallstärke wird nun bezogen auf die erwähnte Schwellenenergie von 10⁻¹⁶ Watt/cm², der man den Wert 0 dB zuordnet. Einer Schallenergie von 10⁻¹⁵ Watt/cm² entspricht damit eine Schallstärke von 10 dB, und für die erwähnte Schmerzschwelle von 10⁻⁴ Watt/cm² ergibt sich die Schallstärke 120 dB.

Leider ist nun ausser diesem objektiv messbaren Schallstärkemass auch noch ein subjektives Lautstärkemass erforderlich, da das menschliche Ohr einen Ton bestimmter Schallstärke, je nach seiner Frequenz im Bereiche von 16 bis 16 000 Hz, sehr verschieden laut empfindet. Die grösste Empfindlichkeit des Ohres liegt bei etwa 1000 Hz – aus diesem Grund wurde oben ein Ton gerade dieser Frequenz genommen –, nach tieferen und nach höheren Tönen zu nimmt die Empfindlichkeit kontinuierlich ab, und zwar nach tieferen Tönen hin stärker. So ist zum Beispiel bei 100 Hz eine Schallstärke von 40 dB erforder-

derlich, um diesen Ton gerade eben hörbar zu machen, und bei 30 Hz sogar eine solche von etwa 60 dB. Bei sehr grossen Schallstärken (120 dB) ist dagegen die Lautstärkeempfindung von der Frequenz des Tones nahezu unabhängig. Um nun ein Mass für die Lautstärke zu bekommen, die das menschliche Ohr empfindet, vergleicht man subjektiv die Lautstärke eines beliebigen Tones mit der eines Tones von 1000 Hz, das heisst, man stellt letzteren so ein, dass er genau so laut ist wie der zu messende Ton. Wenn die objektiv messbare Schallstärke des 1000 Hz-Tones beispielsweise 30 dB beträgt, dann hat der zu messende Ton die Lautstärke von 30 Phon. Dieses subjektive Verfahren zeigt, mit verschiedenen Versuchspersonen durchgeführt, eine erstaunlich gute Übereinstimmung der Ergebnisse, so dass allgemeingültige Kurven für die Ohrempfindlichkeit aufgestellt werden konnten, die die Berechnung der Lautstärke in Phon aus der gemessenen Schallstärke in dB erlauben. Um diese subjektiven Phon-Werte auch instrumentell messen zu können, wurden Lautstärkemesser entwickelt, deren Empfindlichkeit in bezug auf die Tonhöhe derjenigen des Ohres angepasst wurde. Allerdings wurden hier aus technischen Gründen vereinfachte Empfindlichkeitskurven zugrunde gelegt, so dass geringfügige Abweichungen vorkommen können. Zur Unterscheidung werden die mit dem DIN-Lautstärkemesser gemessenen Werte mit «DIN-Phon» bezeichnet.

Körperschall

Ausser dem Luftschall spielt bei Fragen des Schallschutzes auch der sogenannte Körperschall eine grosse Rolle, der Schall nämlich, der sich in festen Körpern fortpflanzt. Für den Körperschall gelten allein durch die Tatsache, dass feste Körper, im Gegensatz zu Gasen und Flüssigkeiten, in der Lage sind, Schubspannungen aufzunehmen, völlig andere Gesetze. Das zeigt sich zum Beispiel darin, dass eine Vielzahl von Wellentypen existiert, die je nach der Art der Anregung und der geometrischen Form der Körper auftreten und deren Schallgeschwindigkeiten zwischen wenigen Metern und etwa 5000 m/sec variieren können. Die wichtigsten Typen sind in Figur 1 schematisch gezeichnet, jedoch erübrigt sich in diesem Rahmen ein näheres Eingehen auf die Einzelheiten. Lediglich die Biegewelle muss wegen ihrer besonderen Bedeutung in der Bauakustik herausgegriffen werden. Sie tritt auf an Wänden, Platten oder Stäben, deren Dicke gegenüber der Wellenlänge klein ist. Zum Beispiel ist die Schalleitung längs Hauswänden, Schiffswänden und in Fahrzeugkarosserien in der Hauptsache auf Biegewellen zurückzuführen. Diese haben die Besonderheit – wir werden später noch darauf zurückkommen –, dass ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit zunehmender Frequenz zunimmt; und zwar steigt sie von Werten, die bei tiefen Frequenzen im allgemeinen wesentlich kleiner sind, bis zu Werten, die weit grösser sind als die Luftschallgeschwindigkeit von 340 m/sec.

Zusammengesetzte Klänge, Geräusche

Bisher war nur von Tönen mit einer bestimmten Frequenz die Rede. Reine Töne, wie etwa das Zeitzeichen im Rundfunk, können aber praktisch nur elektronisch erzeugt werden, während zum Beispiel die «Töne» von Musikinstrumenten aller Art ein Tonmisch darstellen, das als «Klang» bezeichnet wird. Zwar ordnen wir musikalisch einem Geigenton eine ganz bestimmte Tonhöhe (Frequenz) zu, wir sind aber zugleich in der Lage, den Geigenton von beispielsweise einem Flötenton gleicher musikalischer Tonhöhe zu unterscheiden. Das liegt daran, dass die musikalischen Klänge aus einem die Tonhöhe bestimmenden Grundton und einer Anzahl von Obertönen bestehen, deren Zahl und Stärke für das betreffende Instrument charakteristisch ist und die meist harmonisch sind, das heisst, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Frequenz des Grundtones sind. Ein schematisches Beispiel für einen derart zusammengesetzten Klang gibt Figur 2 oben. Hier ist der mit einem Mikrophon messbare Schalldruck (die jeweilige Dichte der Luft also) in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen, und zwar beträgt die Länge des aufgetragenen Zeitintervalls 1 Millisekunde. Man sieht, dass der Kurvenverlauf nicht sinusförmig ist – ein Zeichen dafür, dass es sich nicht um einen reinen Ton handelt – und dass sich der Kurvenverlauf nach einer halben Millisekunde genau wiederholt. Man wird demzufolge dem Klang subjektiv eine Frequenz von 2000 Hz zuordnen. Ausser diesem Grundton von 2000 Hz (oder 2 kHz = Kilohertz), sind in dem Klang der 1. und 2. Oberton (4 beziehungsweise 6 kHz) enthalten, die durch die Sinuskurven b bis d in der richtigen Grösse wiedergegeben sind. Die Amplitude der beiden Obertöne ist hier halb so gross wie die des Grundtones, das heisst, sie unterscheiden sich um 6 dB. Eine solche Analyse (Zerlegung in reine Töne) kann auf die verschiedenste Weise maschinell durchgeführt werden. Rückwärts kann man sich von ihrer Richtigkeit sehr leicht überzeugen, indem man die Kurven b bis d addiert. Es ergibt sich dann genau der Verlauf von a. Für die Darstellung der einzelnen Komponenten eines Klanges wählt man nun nicht diese umständliche Art der Darstellung, sondern man zeichnet ein Spektrum, wie es in Figur 2 oben rechts dargestellt ist, in das die einzelnen Teiltöne mit ihrer Frequenz und Schallstärke eingetragen werden. Beträgt die Schallstärke des Grundtones von 2 kHz (hier willkürlich) 30 dB, so ergibt sich für die beiden Obertöne von 4 und 6 kHz eine Schallstärke von 24 dB, wie sie durch die Höhe der Linien angezeigt wird.

Als praktisches Beispiel ist in Figur 2 (Mitte) das Oszillogramm (zeitlicher Schalldruckverlauf) und das Spektrum eines Akkordeon-«Tones» wiedergegeben. Das Akkordeon zeichnet sich durch die grosse Zahl von etwa 30 hörbaren Obertönen aus, was im Oszillogramm aus den periodisch auftretenden scharfen Spitzen zu erkennen ist.

Die Erörterung der zusammengesetzten Klänge ist

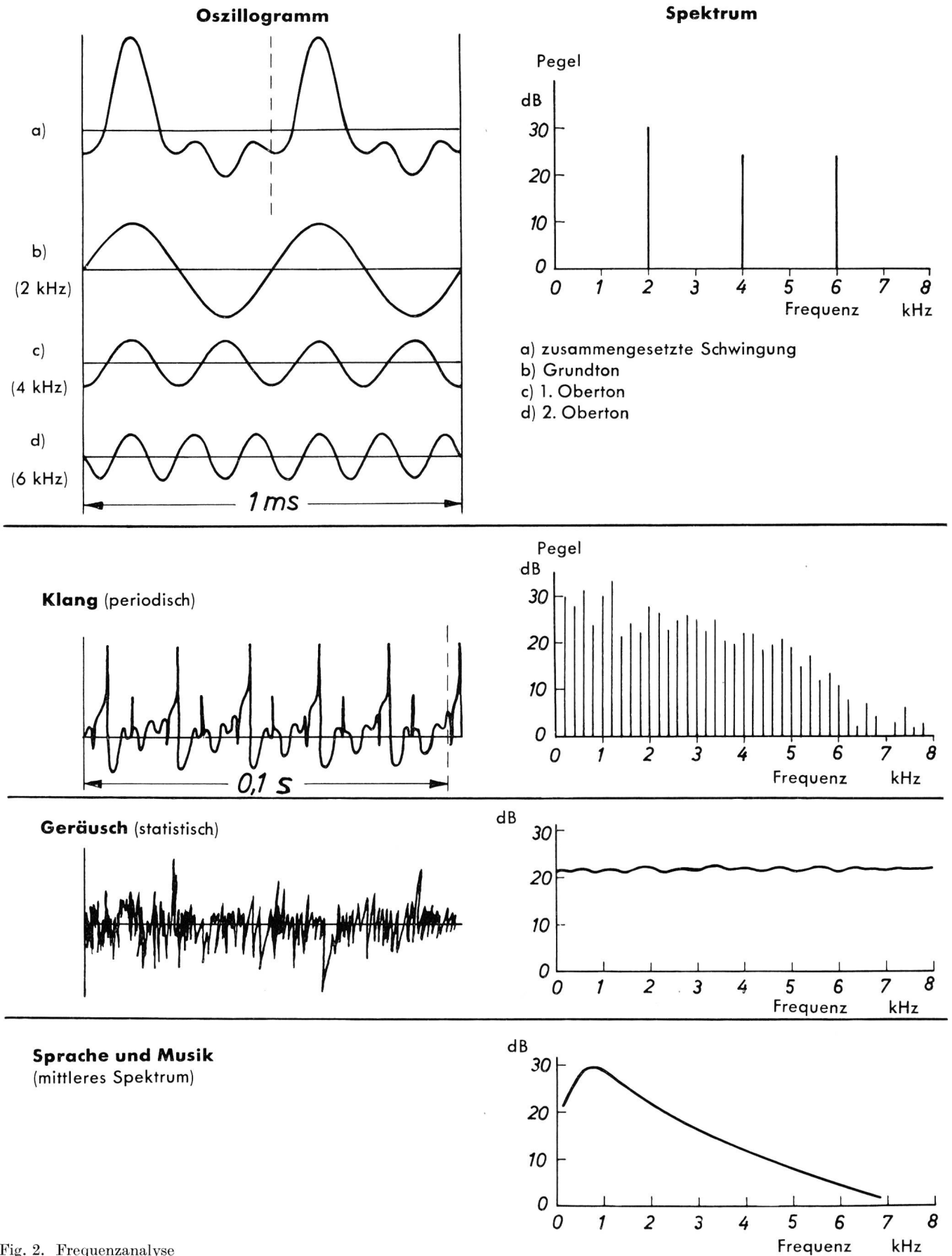


Fig. 2. Frequenzanalyse

für Fragen des Schallschutzes deshalb wichtig, weil man versucht sein könnte, zum Beispiel das Auspuffgeräusch eines Verbrennungsmotors dadurch zu beseitigen, dass man einen auf die Frequenz des physiologisch wahrgenommenen Grundtones (Drehzahl mal Zahl der Arbeitstakte pro Umdrehung) abgestimmten Schalldämpfer anbringen würde. Man würde damit den Grundton, nicht aber die zahlreichen Obertöne beseitigen, wodurch die Lautstärke und interessanterweise auch der Tonhöhen Eindruck kaum verändert würden. Ein Dämpfer muss also stets den gesamten Frequenzbereich des Klangspektrums überdecken.

Ausser von den Klängen muss nun noch einiges über die Geräusche gesagt werden. Als Geräusch bezeichnet man einen Schall, der keinen bestimmten Tonhöhen Eindruck hervorruft, wie zum Beispiel die Zisch- und Knacklaute in der menschlichen Sprache, das Rauschen eines Wasserfalles, das Abblasen von hochgespanntem Dampf usw. Im Gegensatz zu den Klängen zeigen die Oszillogramme der Geräusche einen unperiodischen Verlauf, ihre Kurvenform wiederholt sich nicht. Analysiert man einen solchen Vorgang, so ergibt sich ein sogenanntes «kontinuierliches Spektrum», das heisst, anstelle der einzelnen Frequenzen bezeichnenden Linien, der «Linienpektren» der Klänge, tritt hier ein kontinuierliches Band auf, das anzeigt, dass zumindest in einem gewissen Bereich alle Frequenzen einen Beitrag zu dem Geräusch liefern. Dabei können einzelne Bereiche stärker hervortreten und dadurch einen für das betreffende Geräusch spezifischen Gehöreindruck hervorrufen.

In Figur 2 (unten) ist schliesslich noch das mittlere Spektrum von Sprache und Musik – beide liefern über lange Zeit gemittelt etwa das gleiche Spektrum – wiedergegeben. Dieses Spektrum ist für die Bauakustik von Bedeutung, da ja Wohnungstrennwände eben dieses Spektrum nicht durchlassen sollen.

Schalldämpfung – Schalldämmung

Der von einer Schallquelle ausgehende Schall breitet sich – sofern keine Hindernisse vorhanden sind – nach allen Richtungen gleichmässig aus. Je grösser der Abstand von der Schallquelle ist, um so grösser ist die Fläche, über die sich die kontinuierlich ausgestrahlte Schallenergie verteilt. Da die Schallstärke ein auf die Flächeneinheit bezogenes Mass ist, nimmt sie also mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle kontinuierlich ab. Man bezeichnet das als Ausbreitungsdämpfung. Diese Ausbreitungsdämpfung fällt weg in geschlossenen Räumen oder in Kanälen, wo sich der Schall nicht ausbreiten kann, sondern von den Wänden immer wieder an den Ausgangspunkt zurückgeworfen oder in Kanälen durch die Wände in eine bestimmte Richtung geführt wird. In geschlossenen Räumen würde das dazu führen, dass beispielsweise ein Knall stundenlang zu hören sein würde, wenn nicht bei der Reflexion und auch bei der Fortpflanzung des Schalles in der freien Luft gewisse Verluste aufträten – der Schall wird gedämpft. Die Wände reflektieren je nach ihrer Beschaffenheit nur einen

gewissen Bruchteil des Schalles. Der Prozentsatz der Schallenergie, der nicht reflektiert wird, also absorbiert oder durchgelassen wird, gibt den Absorptionsgrad der Wand an, der alle Werte zwischen 0 und 100 Prozent haben kann. Stoffe mit hohem Absorptionsgrad, die zur schallschluckenden Auskleidung von Wänden dienen, werden als Schluckstoffe bezeichnet.

Die Beschaffenheit der Wände und die Möblierung sowie auch die Zahl der anwesenden – durch ihre Bekleidung ebenfalls Schall absorbierenden – Personen geben einem Raum das akustische Gepräge. Die vielfachen Schallreflexionen führen dazu, dass in einem geschlossenen Raume eine Schallquelle – von ihrer unmittelbaren Umgebung abgesehen – überall gleich laut klingt und dass sie nach plötzlichem Abschalten noch kurze Zeit im Raume nachklingt. Die Dauer des Nachklingens bezeichnet man als die Nachhallzeit, und zwar nimmt man die Zeit, innerhalb derer die Schallstärke um 60 dB – also im Verhältnis 1 000 000:1 – abnimmt. Diese Zeit beträgt, um einige ungefähre Zahlen zu nennen, in möblierten Wohnräumen etwa 0,5 Sekunden, in Theatern und Konzertsälen meist etwa 1,5 Sekunden und in manchen Kirchen und Fabrikhallen bis zu 10 Sekunden. Da stets ausser dem unmittelbar von der Schallquelle zum Ohr übertragenen Schall auch der Nachhall hörbar ist und somit zur wahrgenommenen Lautstärke beiträgt, ist einleuchtend, dass durch Herabsetzen der Nachhallzeit mit Hilfe von Schluckstoffen die Lautstärke innerhalb eines Raumes herabgesetzt werden kann, und zwar im günstigsten Falle bis zu dem Wert, der auf den direkten Schall zurückzuführen ist, also durch die Stärke der Schallquelle minus Ausbreitungsdämpfung gegeben ist. Von dieser Möglichkeit wird ja heute in Fabrikhallen, Schalterräumen, Schreib- und Buchungsmaschinensälen usw. immer mehr Gebrauch gemacht. Das gleiche gilt für die Schalldämpfung längs Lüftungs- usw. Kanälen durch die Auskleidung mit Schluckstoffen.

Während man unter *Schalldämpfung* stets die Verringerung der Schallstärke durch Ausbreitung, Schluckung usw. innerhalb ein und desselben Raumes oder Kanales versteht, spricht man von *Schalldämmung*, wenn die akustische Isolation eines Raumes gegen den Nachbarraum gemeint ist. Die Schalldämmung wird charakterisiert durch die Schalldämmzahl, die das Verhältnis des Schallpegels (man spricht von einem Schallpegel, wenn es sich um eine in einem gewissen örtlichen Bereich konstante Schallstärke handelt) vor der dämmenden Vorrichtung (Wand) zum Schallpegel hinter derselben angibt – selbstverständlich unter Berücksichtigung der Nachhallzeit des zweiten Raumes. Genauer gesagt, wird also das Verhältnis der Energie des auf die Wand auftreffenden Schalles zu der des durchgelassenen Schalles bestimmt, wobei es gleichgültig ist, ob der restliche Anteil in der Wand absorbiert oder von der Wand reflektiert wird.

Die Schalldämmung einer Wand ist niemals im ganzen Frequenzbereich konstant, sie steigt vielmehr in der Regel mit zunehmender Frequenz an. Wenn daher für eine Wand eine einzige Zahl als Schalldämmzahl angegeben wird, so handelt es sich um einen Mittelwert, der, wenn keine weiteren Angaben gemacht sind, über den Frequenzbereich von 100 bis 3200 Hz genommen ist. Da der Verlauf der Schalldämmung in Abhängigkeit von der Frequenz bei verschiedenen Wandkonstruktionen keine allzu grossen Unterschiede zeigt, ist die Angabe einer mittleren Schalldämmzahl in vielen Fällen schon eine ausreichende Charakterisierung der Wand. Sind genauere Angaben erforderlich, so wird die Schalldämmung in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen und in Form einer Kurve aufgetragen (siehe zum Beispiel Figur 4). Man misst zu diesem Zweck die Schalldämmung in einzelnen Oktavbereichen, und zwar in den Bereichen 100 bis 200 Hz, 200 bis 400 Hz, 400 bis 800 Hz usw.

Schalldämmung einer Einfachwand

Massegesetz

Mit den bisher besprochenen allgemeinen akustischen Grundbegriffen können wir uns nun der Wirkung von Schallschutzmassnahmen zuwenden, und zwar betrachten wir zunächst, als einfachsten Fall, die schalldämmende Wirkung einer einfachen Wand. Von dieser Wand interessiert uns zunächst nur ihr Gewicht pro Flächeneinheit und die Tatsache, dass sie luftdicht ist, denn selbstverständlich verringert sich die dämmende Wirkung einer Wand erheblich, wenn dem Schall die Möglichkeit gegeben wird, durch Poren, Ritzen und Fugen den Nachbarraum zu erreichen. Wenn also keine Undichtigkeiten vorhanden sind, müssen die vor der Wand auftretenden Schalldruckschwankungen die Wand in Schwingungen versetzen, die ihrerseits die Schwingungen auf der anderen Seite an die Luft weitergibt, also Schall abstrahlt. Anders ausgedrückt, muss der Schall zunächst von Luft in einen festen Stoff und dann wieder vom festen Stoff in Luft übergehen. Dieser Übergang kann natürlich nicht vollständig erfolgen, es wird vielmehr an beiden Übergängen der grösste Teil der Schallenergie reflektiert. Es ist nun leicht einzusehen, dass die Wand durch die Luftdruckschwankungen um so weniger zu Schwingungen angeregt wird, je schwerer sie ist. Daraus ergibt sich die allgemeingültige Tatsache, dass von zwei Einfachwänden immer jene die grössere Schalldämmung hat, die das grössere Gewicht pro Flächeneinheit aufweist. Im Gegensatz zur Wärmedämmung sind daher zum Beispiel akustisch Vollziegel immer günstiger als Hohlziegel, und es ist andererseits hinsichtlich der Schalldämmung nutzlos, eine Wand mit sogenannten «Dämmplatten» zu bekleiden – diese Platten haben ganz andere Aufgaben –, da damit das Wandgewicht praktisch nicht verändert wird. Die Steifigkeit der Wände spielt wegen der ausserordentlich kleinen Wandschwingungen nur eine untergeordnete Rolle

und kann vorläufig ganz ausser acht gelassen werden. Die mittleren Schalldämmzahlen, die sich nach dem Massegesetz theoretisch aus dem jeweiligen Wandgewicht ergeben, sind in Figur 3 durch die gestrichelte Gerade gekennzeichnet. Eine Wand mit einem Flächengewicht von 100 kg/m^2 sollte also demnach eine mittlere Schalldämmzahl von etwa 50 dB aufweisen. Die Praxis ergibt jedoch nur den Wert der Kurve B in Figur 3, der für das erwähnte Gewicht 40 dB beträgt. Die Kurven C und C' deuten die möglichen Abweichungen an. Dieser Unterschied zwischen Theorie und Praxis ist durch den sogenannten Koinzidenzeffekt bedingt, auf den wir später eingehen werden.

Wie schon vorgreifend erwähnt wurde, hängt die Schalldämmung einer Wand, ausser von ihrem Gewicht, auch noch von der Frequenz des auftretenden Schalles ab. Auch hierfür ist die Masse der Wand, das heisst ihre Trägheit massgebend, denn es leuchtet ein, dass eine schwere Wand – jede Wand ist schwer im Verhältnis zu der sie umgebenden Luft – langsamen Luftschwingungen williger folgt als schnellen. Man wird daher erwarten, wie es tatsächlich auch der Fall ist, dass die Schalldämmung einer Wand um so grösser wird, je schneller die Luftschwingungen erfolgen, je höher also die Frequenz des auftretenden Schalles ist. Die aus dem Massegesetz zu erwartende Frequenzabhängigkeit der Schalldämmung ist für eine Wand von 100 kg/m^2 Flächengewicht – wiederum vorerst ohne Berücksichtigung des Koinzidenzeffektes – durch die gestrichelte Gerade in Figur 4 wiedergegeben. Zwi-

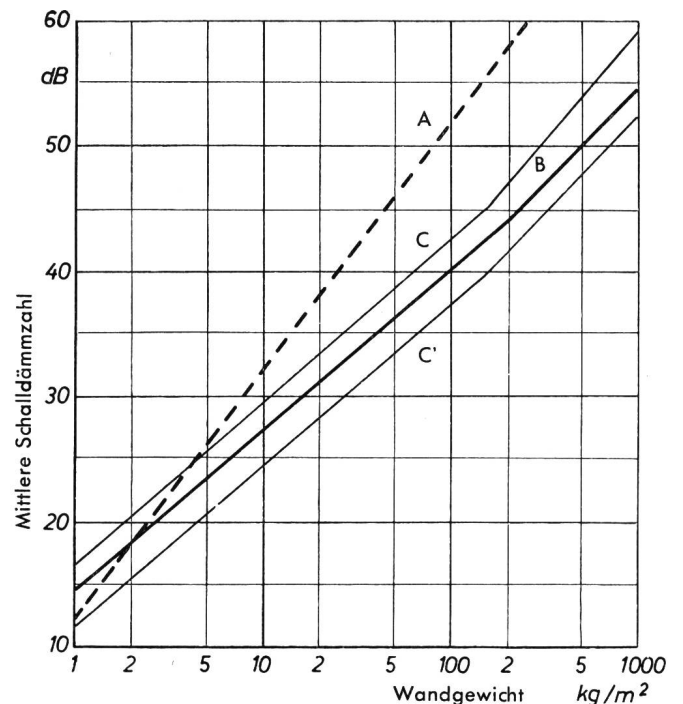


Fig. 3. Mittlere Schalldämmzahl von Wänden in Abhängigkeit vom Wandgewicht
 A = Massegesetz
 B = gemessene Schalldämmzahl
 C, C' = Streubereich

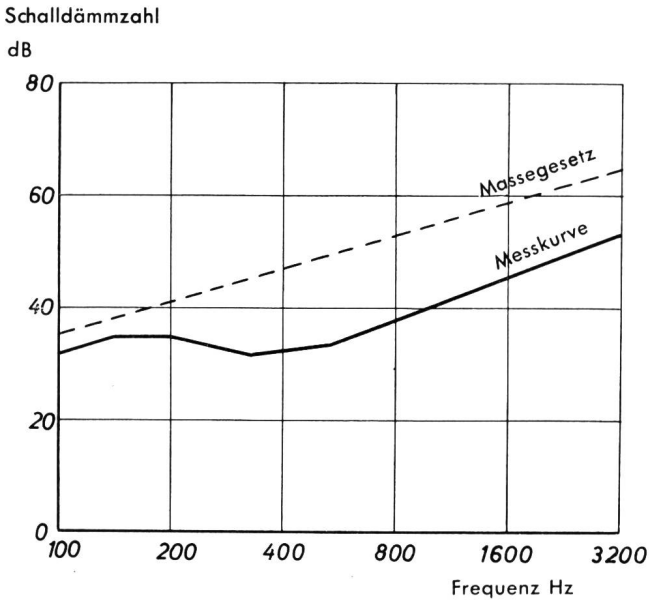


Fig. 4. Koinzidenzeffekt an einer Einfachwand von 100 kg/m² Flächengewicht (Bimsbeton, beiderseits verputzt)

schen 100 und 3200 Hz steigt die Dämmung von etwa 35 auf 65 dB und ergibt so eine mittlere Schalldämmzahl, die, wie bereits erwähnt, etwa 50 dB beträgt.

Der Spuranpassungs- oder Koinzidenzeffekt

Das bisher behandelte Massegesetz berücksichtigt nur das Gewicht der dämmenden Wand, nicht aber die Tatsache, dass sich in der Wand selbst Schallwellen ausbreiten können. Wenn aber eine Wand an einer Stelle durch eine Wechselkraft, wie den wechselnden Schalldruck, angeregt wird, so wird sie nicht nur an dieser Stelle ausweichen, sondern es werden sich ausserdem, da ja die einzelnen Wandelemente starr miteinander verbunden sind, Biegewellen längs der Wand ausbreiten. Nun haben Biegewellen, wie eingangs erwähnt, die Eigenschaft, sich um so schneller auszubreiten, je höher ihre Frequenz ist. Bei tiefen Frequenzen ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Biegewellen kleiner als die Schallgeschwindigkeit in Luft. Solange das der Fall ist, ist die Existenz der Biegewellen bedeutungslos für die Schalldämmung. Bei einer bestimmten Frequenz jedoch werden beide Geschwindigkeiten und damit auch die Wellenlängen gleich sein. Wenn dann eine Schallwelle parallel zur Wand läuft, stimmen an jeder Stelle die durch die Schallwelle in der Luft und die durch die parallel laufende Biegewelle verursachten Auslenkungen der Wand überein, das heisst, die Wand wird besonders stark ausgelenkt werden und auf der andern Seite eine besonders starke, ebenfalls parallel zur Wand laufende Schallwelle abstrahlen. Da im Raume stets u. a. auch parallel zur Wand laufende Schallwellen vorkommen, wird die Schalldämmung der Wand verringert sein. Das gleiche gilt aber auch, wenn die Biegewellengeschwindigkeit in der Wand grösser ist als die Schallgeschwindigkeit in Luft, nur dann nicht mehr für eine parallel zur Wand laufende, sondern für eine unter einem bestimmten Winkel schräg ein-

fallende Luftschallwelle. Dieser Fall wird in Figur 5 veranschaulicht. Hier fällt eine Luftschallwelle schräg auf die Wand auf. Die gezeichneten Linien bedeuten die Flächen maximaler Luftdichte, höchsten Druckes also, deren Abstand eine Luftwellenlänge λ_L beträgt. Die Welle pflanzt sich mit Luftschallgeschwindigkeit c_L in Richtung des mit c_L bezeichneten Pfeiles fort. Die Auslenkung der Wand, die natürlich an den Stellen höchsten Druckes jeweils am stärksten ausweicht, ist zur Verdeutlichung stark übertrieben gezeichnet. Wenn nun die Biegewellengeschwindigkeit c_W gerade um so viel grösser als die Schallgeschwindigkeit in Luft ist, dass die Biegewellenlänge mit der Spurwellenlänge λ_W auf der Wand übereinstimmt, tritt «Spuranpassung» ein, das heisst, die Wand wird unter dem doppelten Einfluss von Biegewelle und Luftschallwelle besonders stark ausgelenkt, was zur Abstrahlung einer besonders starken Schallwelle auf der anderen Seite führt, deren Richtung natürlich die gleiche ist wie die der einfallenden Welle. Bei einer weiteren Vergrösserung der Biegewellengeschwindigkeit c_W und damit der Biegewellenlänge λ_W gilt dasselbe für einen mehr zur Senkrechten hin verschobenen Einfallswinkel. Solange die Biegewellengeschwindigkeit in der Wand grösser ist als die Luftschallgeschwindigkeit, existiert somit immer ein Winkel, unter dem der Koinzidenzeffekt eintritt, das heisst, die Schalldämmung der Wand ist gegenüber dem Massegesetz vermindert. Da die Biegewellengeschwindigkeit mit steigender Frequenz monoton ansteigt, tritt also stets von einer bestimmten Grenzfrequenz an aufwärts eine Verminderung der Schalldämmung ein, wobei die Grenzfrequenz diejenige Frequenz ist, bei der Luftschall- und Biegewellengeschwindigkeit übereinstimmen. Diese Tatsache geht deutlich aus der Messkurve in Figur 4

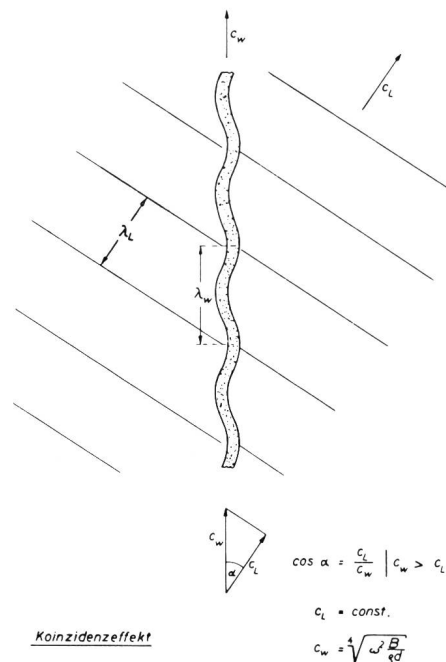


Fig. 5. Koinzidenzeffekt

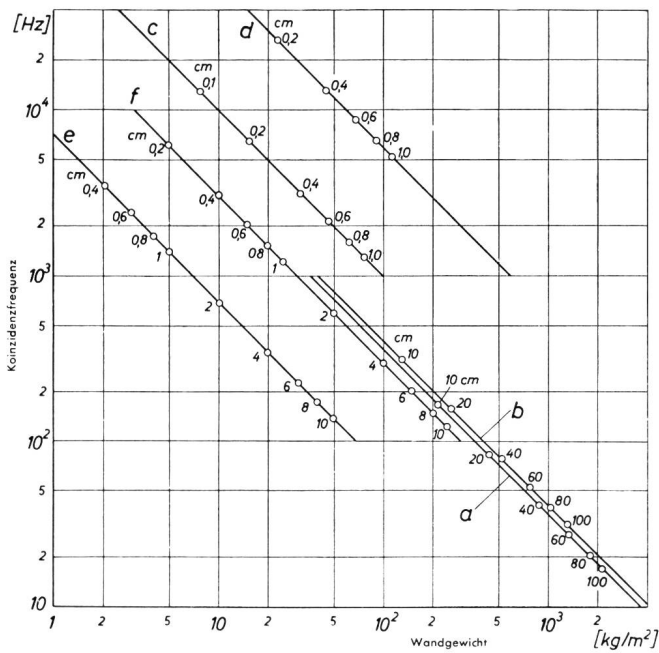


Fig. 6. Koinzidenzfrequenz in Abhängigkeit vom Wandgewicht für verschiedene Materialien:
 a = Beton d = Blei
 b = Ziegelstein e = Sperrholz
 c = Eisen f = Glas
 Die Zahlen an den Geraden geben die Wandstärke in Zentimeter an

hervor, die bei 100 Hz einigermaßen mit dem Massegesetz übereinstimmt, von 200 Hz ab aber wesentlich niedrigere Werte zeigt.

Welche Folgerungen sind nun aus der Existenz dieses Effektes zu ziehen? Vermeiden kann man ihn zumindest bei einer Einfachwand natürlich nicht, man hat es aber durch Auswahl geeigneter Materialien und Wandstärken in der Hand, die Grenzfrequenz nach höheren Frequenzen hin zu verschieben, denn da die Schalldämmung grundsätzlich mit zunehmender Frequenz ansteigt, ist bei hohen Frequenzen eine Verminderung von geringerer Bedeutung als bei tiefen Frequenzen, wie im Falle der Figur 4. Die Biegewellengeschwindigkeit ist um so kleiner, je geringer die Biegesteifigkeit der verwendeten Materialien und je grösser ihr spezifisches Gewicht ist. Bei im Mittel kleinerer Biegewellengeschwindigkeit liegt aber die Grenzfrequenz entsprechend höher, ist also in der gewünschten Richtung verschoben. Wo bei den wichtigsten Baumaterialien die Grenzfrequenz zu erwarten ist, zeigt Fig. 6.¹ Das Blei wurde in dieses Diagramm nur als ein Beispiel für ein wegen seines hohen spezifischen Gewichtes und seiner geringen Biegesteifigkeit besonders günstiges Material aufgenommen. Bei einem Flächengewicht von 100 kg/m² liegt hier die Grenzfrequenz höher als 5000 Hz, so dass der Koinzidenzeffekt praktisch völlig verschwindet. Aus preislichen Gründen bleibt natürlich die Verwendung von Blei auf Spezialfälle, wie zum Beispiel Türen von Rundfunkstudios, beschränkt.

¹ Entnommen aus W. Furrer, Schweizerische Bauzeitung 72 (1954), 458.

Ausser durch die Auswahl entsprechender Materialien kann man in gewissen Fällen durch entsprechende Formgebung für eine geringe Biegesteifigkeit sorgen, wie zum Beispiel durch das Einschneiden von Rillen. Alle diese Massnahmen können jedoch praktisch nur bei leichten, nicht tragenden Wänden oder Verschalungen Anwendung finden, während zum Beispiel bei Beton- oder Ziegelwänden die Tatsache hingenommen werden muss, dass die Koinzidenzfrequenzen in einem ungünstigen Bereich, nämlich in der Umgebung von 100 Hz, liegen. Hier ist nur durch Vorsatzschalen Abhilfe zu schaffen, und damit kommen wir zu den Doppel- und Mehrfachwänden.

Mehrfachwände

Wenn man die Stärke und damit das Gewicht einer Einfachwand, deren mittlere Schalldämmzahl beispielsweise 40 dB betragen möge, verdoppelt, so erhöht sich die Schalldämmung um maximal 6 dB, also auf 46 dB. Verglichen mit dem dazu erforderlichen Aufwand ist das ein sehr geringer Erfolg. Anders verhält sich die Sache bei Doppelwänden, das heisst bei zwei miteinander nicht verbundenen, hintereinander angeordneten Wänden. In diesem Falle kann, wenn die Dämmzahl beider Wände 40 dB beträgt, bei richtiger Ausführung eine Schalldämmzahl von 80 dB nahezu erreicht werden, denn hierbei wird der Schall zweimal gezwungen, von Luft in feste Körper und umgekehrt überzugehen. Was mit Doppelwänden erreicht werden kann, zeigt Figur 7, in der die Schalldämmkurve einer Doppelwand von 110 kg/m² mit der einer 1/2-Stein-Ziegelwand verglichen wird. Obwohl die Ziegelwand mehr als doppelt so schwer ist, ist ihre Schalldämmung um etwa 10 dB im Mittel niedriger als die der Doppelwand.

Worauf kommt es nun bei der Errichtung einer wirksamen Doppelwand an? – Wichtig ist zunächst, dass beide Wände möglichst vollkommen voneinander getrennt sind. Am Rande wird sich zwar eine Verbindung meist nicht vermeiden lassen, jedoch ist diese Verbindung, sofern sie durch eine querstehende schwere Wand gebildet wird, von relativ geringem Einfluss. In der Mitte genügt jedoch ein zwischen beiden verklemmter Stein oder Mörtelbrocken, um eine Schallbrücke zu bilden. Sobald eine solche Verbindung besteht, kann die eine Wand die andere direkt über diese «Brücke» anregen, der Schall braucht nicht den «Umweg» über die zwischen den Wänden befindliche Luft zu machen, und die Wirksamkeit der Doppelwand ist stark verringert. Sind ver Einzelte Brücken jedoch aus technischen Gründen unvermeidlich, so ist es zweckmässig, bei schweren Wänden relativ weiche und leichte, bei leichten Wänden harte und schwere Materialien für die Brücken zu verwenden.

Bei Doppelwänden darf ferner das Produkt aus Gewicht und Abstand der Wände einen gewissen Wert nicht unterschreiten. Der Grund dafür ist folgender: Eine Doppelwand hat, wie eine Trommel, eine be-

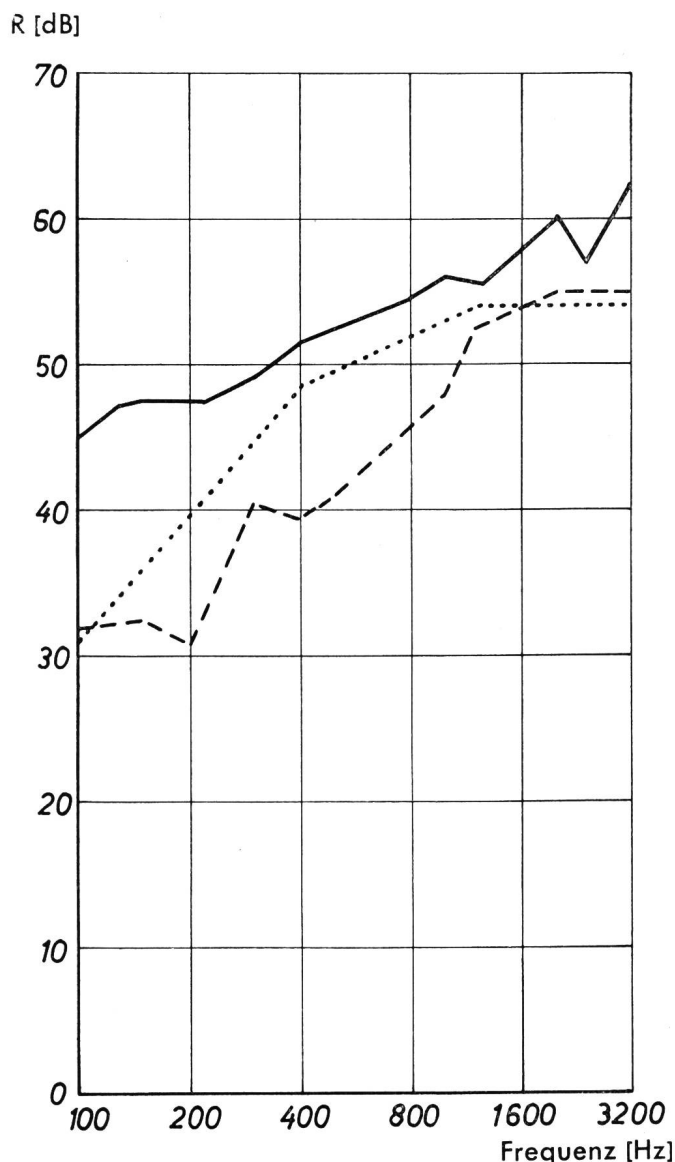


Fig. 7. Schalldämmung von Doppelwänden

- Zwei Holzwolle-Leichtbauplatten, aussen verputzt, auf getrennten Stielen, 8 cm Abstand; Flächengewicht 110 kg/m²
- - - - - ½-Stein-Ziegelwand, Flächengewicht 228 kg/m²
- · · · · Sollkurve für Wohnungstrennwände

stimmte Resonanzfrequenz, gegeben durch die Masse der Wände und die Federung des zwischen ihnen eingeschlossenen Luftkissens. Diese Resonanzfrequenz liegt um so tiefer, je schwerer die Wände sind und je grösser ihr Abstand voneinander ist. Unterhalb dieser Resonanzfrequenz wirkt die Doppelwand nur wie eine Einfachwand gleichen Gewichtes; in der Umgebung der Resonanzfrequenz kann ihre Schalldämmung sogar noch wesentlich geringer sein. Es muss also unbedingt dafür gesorgt werden, dass diese Resonanzfrequenz unterhalb des interessierenden Frequenzbereiches, das heisst unterhalb 100 Hz liegt, was bei leichten Wänden mit geringem Abstand keineswegs immer der Fall ist.

Die Wirksamkeit von Doppelwänden kann weiterhin beeinträchtigt werden durch Resonanzen innerhalb des Lufthohlraumes. Solche Resonanzen, die

jeder schon in kleinen Räumen (Badezimmern) beobachtet hat, erleichtern die Schallübertragung zwischen den beiden Wänden und verschlechtern damit die Schalldämmung. Diese Resonanzen können beseitigt werden durch das Einbringen poröser Schluckstoffe (Glaswolle, Schlackenwolle, Steinwolle usw.) in den Hohlraum, wobei aber darauf zu achten ist, dass durch diese eingebrachten Stoffe keine Brücken gebildet werden. Werden die Wände zum Beispiel aus porösen Leichtbauplatten (Holzwolleplatten u. ä.) hergestellt, die auf der Hohlraumseite nicht verputzt sind, so erübrigt sich das Einbringen weiterer poröser Stoffe. Dieses Verfahren hat überdies den Vorteil, dass der wirksame Abstand der Wände dann von Putzschicht zu Putzschicht rechnet, da die porösen Platten nur eine sehr geringe Luftverdrängung haben.

Zur Verbesserung der Schalldämmung einer gegebenen schweren Wand eignet sich am besten eine vorgesetzte zweite Schale, die wesentlich leichter sein kann als die Wand selbst. Für diese zweite Schale gilt unverändert alles bei der Doppelwand Gesagte. Sie muss selbstverständlich luftdicht sein, in hinreichend grossem Abstand schallbrückenfrei montiert werden, und der Zwischenraum muss, wenn die Innenseite nicht von sich aus porös ist, mit Schluckstoffen gedämpft werden. Sie sollte aber ferner besonders dort für zusätzliche Schalldämmung sorgen, wo die der schweren Wand durch den Koinzidenzeffekt schlecht ist, nämlich bei tiefen Frequenzen. Die Koinzidenzfrequenz der Schale sollte also ziemlich hoch liegen, mit anderen Worten, sie muss biegeweich sein.

Wände mit mehr als zwei Schalen kommen selten vor, und da für sie im Prinzip das gleiche gilt wie für die Doppelwand, erübrigt sich ein weiteres Eingehen darauf.

Zu bedenken ist bei allen Fragen der Schalldämmung, dass keine Wand stärker ist als ihre schwächste Stelle, das heisst, wenn eine Türe, ein Fenster oder eine sonstige Öffnung in der Wand ist, sind alle Massnahmen an der Wand sinnlos. Bei grossen Schalldämmzahlen (im Bauwesen oberhalb 50 dB) macht sich auch die Schallübertragung auf Nebenwegen bemerkbar. Der Schall kann den Nachbarraum nicht nur durch die trennende Wand hindurch, sondern auch auf dem Umwege über die Seitenwände, die zu Biegeschwingungen angeregt werden, erreichen. Wenn diese Grenze erreicht ist, ist es ebenfalls sinnlos, weitere Massnahmen zur Verbesserung der Schalldämmung an der Trennwand vorzunehmen.

Im Bauwesen sind in Deutschland durch DIN 52211 besondere Vorschriften gegeben, denen die Schalldämmung von Wohnungstrennwänden und -decken genügen muss. Diese Vorschriften sind der besseren Präzisierung wegen nicht in Form einer geforderten mittleren Schalldämmzahl, sondern in Form von Sollkurven gegeben, die nicht unterschritten werden dürfen. Diese Sollkurven sind in Figur 8 wiedergegeben. Zum Vergleich sind englische Sollkurven für zwei verschiedene Forderungsstufen mit aufgeführt.

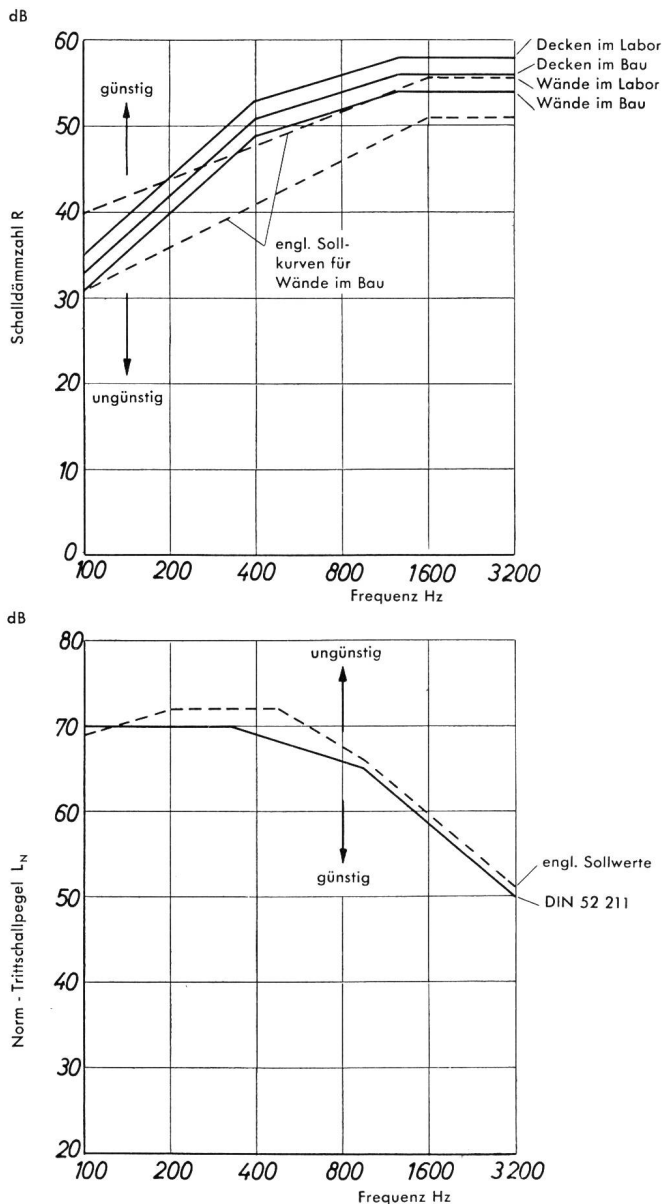


Fig. 8. oben = Sollkurven für Schalldämmzahlen
unten = Sollkurve für den Norm-Trittschallpegel

Trittschall

Grundsätzlich zu unterscheiden von allen Fragen der Luftschallisolierung sind die Fragen der Dämmung von Trittschall. Hier wird der Fussboden nicht auf dem Umwege über die Luft, sondern direkt durch den auftretenden Fuss angeregt, er entsteht also unmittelbar durch Körperschallerregung, und der Übergang an der Grenzfläche: fester Körper–Luft erfolgt nur einmal, nämlich an der Decke des darunterliegenden Raumes. Aus diesem Grunde sind Schritte im unteren Stockwerk viel lauter zu hören als ein oben ebenso laut klingendes Radio. Hier müssen also besondere Massnahmen getroffen werden, die natürlich nicht nur für den als Überschrift gewählten Trittschall, sondern für alle Arten der Körperschallerregung des Fussbodens (laufende Maschinen, Hämmern, Klopfen usw.) Gültigkeit haben.

Die einfachste Art der Trittschalldämmung ist das Belegen des Fussbodens mit Teppichen, denn dadurch wird die Entstehung von Trittschall überhaupt verhindert oder mindestens stark reduziert. Besteht jedoch die Möglichkeit, den festen Fussbodenbelag direkt zu betreten, so muss das dabei entstehende Geräusch als Ausgangspunkt für die Massnahmen zur Dämmung genommen werden. Die Schalldämmung einer einschaligen Massivdecke reicht dabei meist nicht aus, die der heute vielfach verwendeten Hohlkörperdecken wegen ihres geringeren Gewichtes natürlich noch weniger. Es muss also eine zweite Schale hinzukommen. Diese zweite Schale kann einmal von unten unter die Decke gehängt werden. Sie sollte wiederum biegeweich sein und so aufgehängt werden, dass keine starren Verbindungen zwischen Rohdecke und Schale bestehen, das heisst, es gelten die gleichen Anforderungen wie bei der Doppelwand. Die andere Möglichkeit ist die, einen schwimmenden Estrich zu verwenden, also die zweite Schale auf dem Fussboden aufzubringen. Das ist ohne eine tragende Zwischenschicht natürlich nicht möglich. Man legt den Estrich daher auf Matten oder Platten aus Faserstoffen, wie sie in den verschiedensten Ausführungen für diese Zwecke im Handel erhältlich sind. Je starrer der aufgetragene Estrich ist, um so weicher können die Faserplatten sein und um so besser wirkt diese Massnahme. Wie alles andere, was über die Doppelwand gesagt wurde, gilt hier natürlich auch, dass der schwimmende Estrich erst oberhalb seiner Resonanzfrequenz wirksam wird. Die Resonanzfrequenz liegt um so tiefer, je schwerer der Estrich und je weicher seine Unterlage ist. Ebenso müssen natürlich Schallbrücken peinlich vermieden werden. Die Estrichplatte darf weder nach unten noch seitlich in direkte Berührung mit der Rohdecke oder den Wänden kommen. Liegt der Estrich nur stellenweise auf der Rohdecke auf, wie zum Beispiel bei einem auf Lagerhölzern verlegten Holzfussboden, so müssen entsprechend den auftretenden höheren Auflagedrücken härtere Dämmstoffe verwendet werden, die aber bei richtiger Abstimmung die gleiche Wirkung haben.

Als Hinweis auf die bestehenden Möglichkeiten mag das bisher Gesagte genügen. Näheres über akustisch ausreichende Deckenkonstruktionen kann aus DIN 4109 entnommen werden (das Blatt wird zurzeit neu überarbeitet).

Zur Messung des Trittschalles verwendet man ein genormtes Hammerwerk, das auf den zu messenden Fussboden aufgesetzt wird. Der leichteren Messbarkeit wegen erzeugt dieses Hammerwerk ein Vielfaches der zu erwartenden Trittschallstärke, das heisst, die sich dabei ergebenden zulässigen Werte werden keinesfalls dem Bewohner zugemutet. In dem darunterliegenden Raume wird dann die von der Decke abgestrahlte (Luft-) Schallstärke in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen. Die Werte, die sich dabei nach DIN 52211 höchstens ergeben dürfen, sind in der Kurve in Figur 8 unten wiedergegeben. Es muss aus-

drücklich darauf aufmerksam gemacht werden, dass es sich hierbei um eine Schallstärke handelt und nicht um eine Dämmung, mit anderen Worten, die Decke ist um so besser, je tiefer die Messwerte *unter* der angegebenen Sollkurve liegen.

In diesem Zusammenhange sei auch ein Wort im Hinblick auf die vielfach sinnlosen Anpreisungen von Estrichmaterialien in Prospekten erlaubt. Man kann die durch eine bestimmte Konstruktion des schwimmenden Estrichs (Estrich + weiche Unterlage) erzielte Verbesserung angeben. Man tut das am besten in Form einer Kurve, die die Differenz der Trittschallpegel (Schallstärke) vor und nach Aufbringen des Estrichs in Abhängigkeit von der Frequenz in dB wiedergibt. Es ist aber dabei keineswegs gleichgültig, wie die Rohdecke beschaffen ist, das heisst, die Verbesserung ist auf zwei verschiedenen Rohdecken keineswegs unbedingt die gleiche. Völlig sinnlos sind aber Angaben wie: «Der Fussbodenbelag X ergibt einen Trittschallpegel von ... dB», oder «Die Faserstoffmatte Y hat eine Trittschalldämmung von ... dB». In jedem Falle muss die genaue Deckenkonstruktion angegeben werden, in der das betreffende Material gemessen wurde und der gemessene Trittschallpegel (als Kurve), beziehungsweise die erzielte Verbesserung.

Ähnliche Gesichtspunkte wie bei der Dämmung von Trittschall gelten bei der Fundamentisolierung von Maschinen. Da dabei jedoch in fast allen Fällen die Hinzuziehung eines Fachmannes erforderlich ist, erübrigt sich in diesem Zusammenhange ein näheres Eingehen darauf.

Raumakustik

Die Raumakustik beschäftigt sich, wie schon der Name sagt, ausschliesslich mit den akustischen Verhältnissen innerhalb ein und desselben Raumes, wobei allerdings die Fragen der Schallschluckung, die uns für die Lärmabwehr ausschliesslich interessieren, nur einen kleinen Teil dieses Arbeitsgebietes darstellen. Wie eingangs gesagt, besteht die Möglichkeit, den Schallpegel innerhalb eines Raumes durch Verringerung der Nachhallzeit bis an die Grenze, die durch den direkten Schall gegeben ist, zu reduzieren. Man muss zu diesem Zweck dafür sorgen, dass der auf die Wände auftreffende Schall möglichst vollständig absorbiert (oder durchgelassen) und nicht reflektiert wird. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten, die sich in ihrer Anwendung ergänzen.

Poröse Schluckstoffe

Zum Zwecke der Schallschluckung werden poröse Stoffe wohl am häufigsten angewendet. Ihre Porosität erlaubt ein Eindringen des Schalles, der dann in ihrem Innern absorbiert, das heisst in Wärme verwandelt wird, und zwar geschieht das dadurch, dass die mit dem Schall verbundenen Bewegungen der Luftteilchen durch den Strömungswiderstand der Schluckstoffe gehemmt werden. Es handelt sich also um eine Schallabsorption durch Reibung der Luftteilchen an dem stark verzweigten Skelett der porösen

Stoffe. Die zu erwartende Absorption innerhalb des Stoffes ist demnach um so grösser, je grösser der Strömungswiderstand ist. Andererseits dringt aber bei grossem Strömungswiderstand nur noch sehr wenig Schall in den Schluckstoff ein, und da natürlich nur der eindringende Schall absorbiert werden kann, gibt es ein Optimum der Wirksamkeit bei einem Strömungswiderstand, der etwa dem der handelsüblichen Mineralwolleplatten entspricht.

Poröse Schluckstoffschichten erreichen ihre optimale Wirksamkeit ausserdem erst dann, wenn die Schichtdicke annähernd eine Viertelwellenlänge und mehr des zu absorbierenden Schalles beträgt. Man kann also nicht erwarten, dass eine 2 cm starke poröse Schluckstoffschicht bei 150 Hz, wo die Viertelwellenlänge 50 cm beträgt, noch einen nennenswerten Absorptionsgrad aufweist. Das Verhalten poröser Schluckstoffe ist charakterisiert durch die Tatsache, dass bei gegebener Schichtdicke der Absorptionsgrad mit zunehmender Frequenz (abnehmender Wellenlänge) kontinuierlich ansteigt, bis bei einer Wellenlänge, die der vierfachen Schichtdicke entspricht, der Maximalwert erreicht ist, der dann bei höheren Frequenzen bis auf geringe Schwankungen erhalten bleibt. Wir haben es also mit Absorbieren zu tun, die breitbandig wirksam sind und deren Wirksamkeit bei einer unteren Grenzfrequenz, die durch die Schichtdicke gegeben ist, aufhört.

Unter porösen Stoffen sind hier stets solche Stoffe zu verstehen, die durchgehende Poren haben und daher luftdurchlässig sind. Schaum- oder Zellkunststoffe, die geschlossene Poren haben, sind als poröse Absorber unbrauchbar. Derartige Stoffe zeigen zwar eine – allerdings meist geringe – Schallschluckung, doch diese kommt dadurch zustande, dass sie einen Plattenabsorber (siehe nächsten Absatz) darstellen und zeigen demzufolge auch die für letztere typische Absorptionsgradkurve.

Es ist nun nicht unbedingt notwendig, bei hohen Anforderungen mit sehr dicken Schluckstoffschichten zu arbeiten, lediglich eine entsprechende Tiefe der Anordnung ist erforderlich. Ersetzt man zum Beispiel eine 10 cm dicke Schluckstoffschicht durch eine solche von 2 cm Stärke, die in 8 cm Abstand von der Wand montiert ist, so ist zwar die Absorption der letzteren etwas geringer, aber nicht annähernd in dem Masse verkleinert, wie es dem Aufwand an Schluckstoff entspricht. Selbst mit nur 1 mm dicken Folien von geeignetem Strömungswiderstand kann bei Montage in entsprechendem Abstand von der Wand noch eine beachtliche Wirkung erzielt werden. Die Wirksamkeit einer gegebenen Schluckstoffschicht kann also stets dadurch verbessert werden, dass man sie in einem gewissen Abstand von der Wand montiert. Figur 9 zeigt zwei Schluckgrad- (Absorptionsgrad-) Kurven für ein und dieselbe 2 cm starke Glasfaserplatte, einmal unmittelbar auf der Wand und einmal in 4 cm Abstand von der Wand montiert. Das Ergebnis ist ein sehr grosser Unterschied bei tiefen Frequenzen,

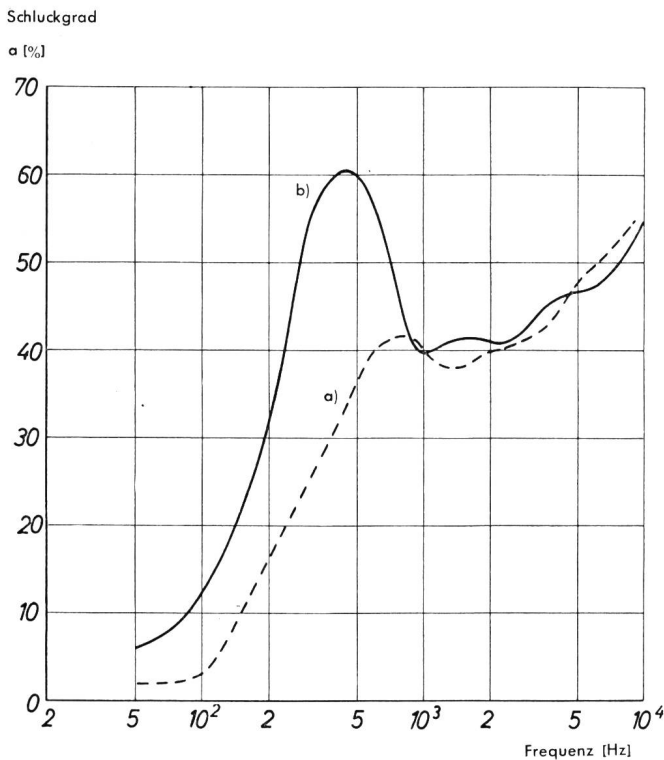


Fig. 9. Schluckgrad einer 2 cm dicken Glasfaserplatte (Hallraum-Messung)
 a = unmittelbar vor der harten Wand
 b = in 4 cm Wandabstand montiert

das heisst eine der Vergrösserung der Gesamttiefe der Anordnung entsprechende Verschiebung der unteren Wirksamkeitsgrenze. Hinzuzufügen ist noch, dass bei Montage von Schluckstoffplatten mit Wandabstand der Hohlraum hinter den Platten unterteilt sein muss (zum Beispiel alle 50 cm), um eine Schallausbreitung in diesem Hohlraum zu vermeiden. Im allgemeinen wird diese Unterteilung jedoch durch die Montagehölzer bereits gegeben sein.

Die Anwendung poröser Schluckstoffe erfolgt nun in der verschiedensten Form. Faserstoffe, sei es lose oder in Platten, müssen meist aus praktischen und architektonischen Gründen mit perforierten Platten abgedeckt werden. Diese Abdeckung beeinträchtigt ihre Wirksamkeit nicht, solange die Lochfläche mindestens 15 Prozent beträgt und die Deckplatten nicht zu dick sind, anderenfalls entstehen Lochresonatoren. Eine weitere Möglichkeit bietet das Aufspritzen poröser Stoffe, wie zum Beispiel Asbest, oder das Aufbringen poröser Putzschichten. Wenn voranstehend gesagt worden ist, dass Mineralwolleplatten und solche Stoffe, die ihnen hinsichtlich des Strömungswiderstandes äquivalent sind, am besten geeignet sind, so gilt das natürlich nur hinsichtlich der rein akustischen Forderungen. Für die Anwendung treten architektonische, mechanische und preisliche Forderungen hinzu. So kommt man zu den heute sehr oft verwendeten Weichfaserplatten, die einen sehr hohen Strömungswiderstand haben, was natürlich ihre Wirksamkeit als poröse Absorber vermindert, da der Schall nicht mehr

so gut in die Platten eindringen kann. Die Oberfläche dieser Platten ist meist aus architektonischen Gründen überklebt, jedoch ist dieser Oberflächenverschluss, der die Platten unwirksam machen würde, durch Löcher oder Rillen, die etwa bis zur halben Plattentiefe gehen, wieder rückgängig gemacht. Poröse Absorption kann von Platten dieser Art erst bei hohen Frequenzen erwartet werden (etwa oberhalb 1000 Hz). Tatsächlich akustisch wirksam werden sie erst, wenn sie mit Wandabstand montiert werden. Da diese Platten infolge ihrer geringen Porosität jedoch kaum Schall durchlassen, hat das nichts mit dem voranstehend erwähnten Effekt zu tun. Es entsteht vielmehr ein Plattenabsorber, wie er im nächsten Kapitel behandelt wird.

Mitschwingende Absorber

Die zweite grosse Gruppe der Schallabsorber bilden die mitschwingenden Absorber. Hierbei handelt es sich um Resonanzgebilde, die in einem gewissen Frequenzbereich in der Nähe ihrer Resonanzfrequenz Schall absorbieren, und zwar ist der Bereich meist um so schmaler, je grösser der maximale Absorptionsgrad ist, der bei einer Frequenz ohne Schwierigkeiten auf 100 Prozent gebracht werden kann. Im Gegensatz zu den porösen Absorbieren, die nur eine untere Grenzfrequenz aufweisen, hat die Wirksamkeit der mitschwingenden Absorber eine untere und eine obere Frequenzgrenze. Letztere haben jedoch den Vorteil, bei geringer Bautiefe auch sehr tiefe Frequenzen absorbieren zu können, weshalb sie die ideale Ergänzung zu den porösen Absorbieren darstellen, allein dagegen nur in Sonderfällen angewendet werden. Bei diesen Absorbieren werden zwei wesentliche Typen unterschieden, nämlich der bereits erwähnte Plattenabsorber und der Helmholtz-Resonator.

Plattenabsorber

Entsprechend der Skizze in Figur 10a (oben) besteht ein Plattenabsorber aus einer (luftdichten) Platte, die in gewissem Abstand von der Wand montiert ist, also einen luftgefüllten Hohlraum abgrenzt. Die Masse der Platte bildet zusammen mit der Federung des Luftpolsters ein schwingungsfähiges System, das durch den Schall angeregt werden kann. Seine Resonanzfrequenz liegt um so tiefer, je schwerer die Platte und je grösser die Luftraumtiefe ist. Der Hohlraum muss kassettiert sein (etwa $50 \times 50 \text{ cm}^2$) und wird zweckmässigerweise am Rande durch poröse Stoffe etwas gedämpft. Ein solcher Resonator entzieht dem Schallfeld Energie (absorbiert also) einmal durch die innere Reibung der schwingenden Platte und dann dadurch, dass er dem Schall das Eindringen in die dahinter liegende Wand erleichtert, den Schall also ableitet. Das hat zur Folge, dass die Schalldämmung der betreffenden Wand in der Nähe der Resonanzfrequenz des Absorbers unter Umständen stark verringert wird. Eine für einen mitschwingenden Absorber typische Absorptionsgradkurve ist in Figur 10b wiedergegeben. Sie eignet sich, wie man sieht, vorzüglich

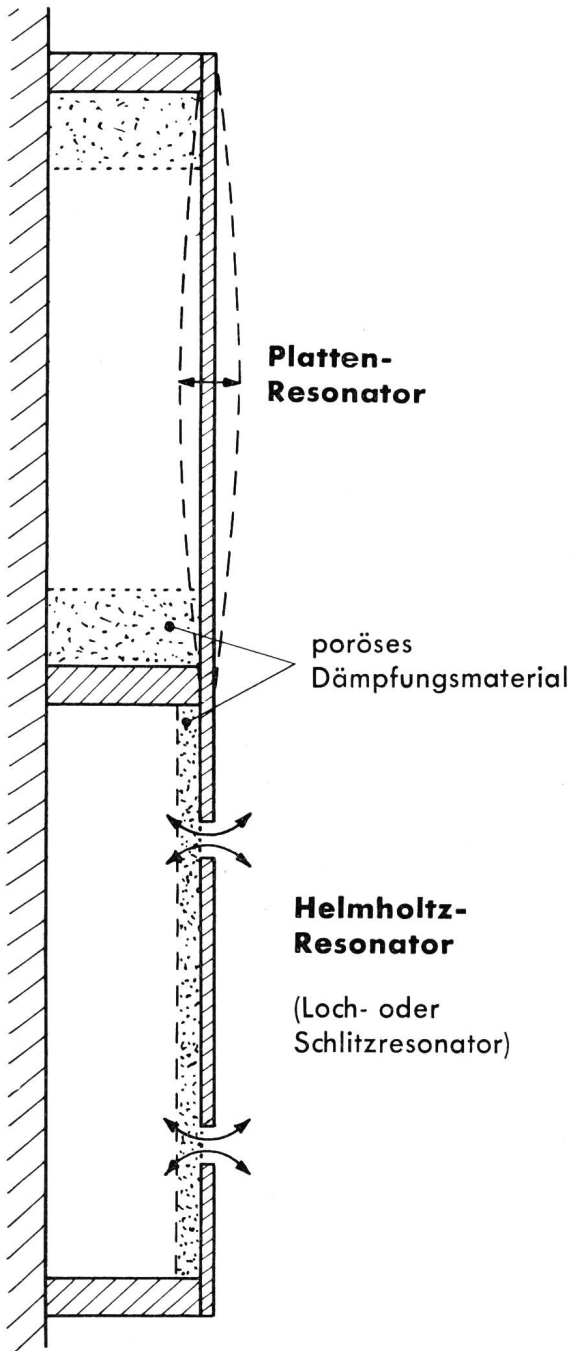


Fig. 10a Mitschwingende Absorber

zur Ergänzung der Absorptionsgradkurve poröser Stoffe bei tiefen Frequenzen. Montiert man also Weichfaserplatten, die ja praktisch luftundurchlässig sind, mit Wandabstand, so wird die nur bei hohen Frequenzen wirksame poröse Absorption durch eine Kurve dieser Art – weniger hoch, dafür aber etwas breiter – ergänzt, und es ergibt sich eine recht gute Wirkung.

Eine häufig verwendete Abart des Plattenresonators ist der Folienresonator, bestehend aus einer über ein Kissen aus Faserstoffen gespannten Kunststofffolie. Diese Art der Schallabsorber, die ihrer dekorativen Wirkung wegen häufig in Gaststätten zu sehen ist, eignet sich besonders für Räume, in denen aus

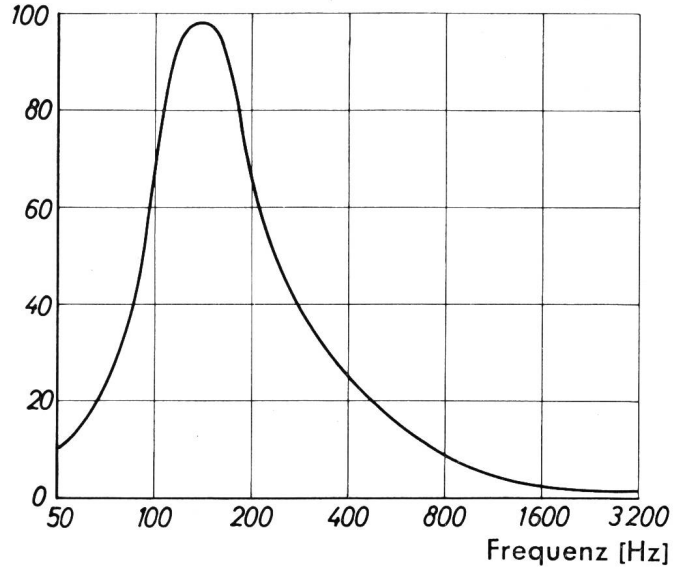
Schluckgrad α [%]

Fig. 10b. Typische Schluckgradkurve eines Resonators

hygienischen Gründen die übrigen Absorbertypen nicht angewendet werden können.

Helmholtz-Resonatoren

Das Urbild eines Helmholtz-Resonators ist eine Flasche, die, wie jeder weiss, der schon einmal über eine Flaschenöffnung geblasen hat, ein schwingungsfähiges Gebilde darstellt. Die Luft im Hals der Flasche wirkt als schwingende Masse, die in ihrem Bauch als Federung. Die Resonanzfrequenz (Tonhöhe) liegt um so tiefer, je länger und enger der Hals und je grösser das dahinter liegende Luftvolumen ist (beziehungsweise je weniger Flüssigkeit in der Flasche ist). Nun sind freilich die in der Raumakustik üblichen Helmholtz-Resonatoren ziemlich «verkümmerte Flaschen», aber das ändert nichts am Prinzip (Fig. 10a). Wie bei den Plattenresonatoren, ist eine Unterteilung des Lufthohlraumes erforderlich, aber nicht etwa für jede einzelne Öffnung. Die Öffnungen können nach architektonischen Gesichtspunkten rund, eckig oder schlitzförmig sein. Massgebend ist nur die prozentuale Öffnungsfläche, die «Halslänge» (Deckplattendicke) und das Hohlraumvolumen. Die Berechnung muss allerdings durch einen Fachmann durchgeführt werden. Zur Dämpfung solcher Absorber nimmt man poröse Stoffe, die da angebracht werden müssen, wo die Luftbewegung am grössten ist, nämlich unmittelbar vor oder hinter den Öffnungen. Zunehmende Dämpfung ergibt breiter werdende Absorptionsgradkurven, deren Maximalwert allerdings nach Erreichen des Optimums von 100 Prozent zunehmend kleiner wird.

Schalldämpfung in Kanälen

Zum Schluss sei noch auf die Anwendung von Schluckstoffen zur Schalldämpfung in Kanälen, wie Ventilationsschächten, Luftheizung u. ä., eingegangen. Eine Möglichkeit, die Schallübertragung durch Rohrleitungen zu verhindern, ist die sogenannte

Blinddämpfung, die in erster Linie bei Abgasleitungen Auspuffrohren usw. angewendet wird. Hierbei handelt es sich nicht um eine wirkliche Dämpfung, vielmehr wird der Schall mittels geeignet dimensionierter Querschnittserweiterungen und -verengungen oder auch Stichleitungen reflektiert und somit zum Ausgangspunkt zurückgeworfen. Diese Methode führt bei mangelnder Sorgfalt leicht zur Herabsetzung des Wirkungsgrades der den Schall erzeugenden Maschinen. Die zweite Möglichkeit ist die Anwendung poröser Schluckstoffe oder, wenn es sich um schmale Frequenzbereiche handelt, die Anwendung gedämpfter Resonatoren, mit denen die Kanäle oder Rohre innen ausgekleidet werden. Dabei kommen, je nach den gestellten Anforderungen, alle porösen Stoffe in Frage. In besonderen Fällen wird beispielsweise auch Metallwolle verwendet, deren Wirksamkeit wegen ihres kleinen Strömungswiderstandes jedoch im allgemeinen relativ gering ist. Die bei der Auskleidung massgebenden Gesichtspunkte sind etwa die gleichen wie bei der Auskleidung von Räumen, hinzu kommt jedoch, dass die Dämpfung im Kanal um so grösser ist, je schmaler die freien Querschnitte sind. Breite Kanäle müssen also in einer Richtung durch Schluckstoffschichten unterteilt werden, wobei es günstiger ist, dünne Schluckstoffschichten und schmale Kanäle zu verwenden, als dicke Schichten und breite Kanäle. Die Breite der einzelnen Kanäle sollte von der Grössenordnung der kürzesten noch zu dämpfenden Wellenlängen sein. Wenn das nicht möglich ist (10 cm bei 3000 Hz), sollten die Kanäle geknickt geführt werden. Auch hier ist auf mögliche Umwege des Schalles zu

achten; zum Beispiel ist es sinnlos, innerhalb eines Raumes einen Kanal mit einer Dämpfung von 50 dB zu errichten, wenn dessen Wand nur eine Schalldämmung von 30 dB aufweist.

Damit dürften nun alle im Rahmen des Schallschutzes wichtigen Grundfragen wenigstens Erwähnung gefunden haben. Es ist klar, dass die prinzipiellen Dinge, um die es sich fast ausschliesslich handelte, ganz allgemein Gültigkeit haben. So gilt natürlich das, was zum Beispiel über Doppelwände gesagt wurde, für eine Wohnungstrennwand ebenso wie für eine Doppeltür, ein Doppelfenster oder einen doppelwandigen Schutzkasten für eine lärmerzeugende Maschine. Auf Probleme der Körperschalldämmung wurde – vom Trittschall abgesehen – absichtlich nicht näher eingegangen, da dieses Gebiet zu kompliziert ist und daher nicht so kurz umrissen werden kann. Sinn dieser Veröffentlichung ist, wie schon eingangs gesagt wurde, nicht, eine erschöpfende Darstellung zu geben, die etwa einen unvorbelasteten Leser in die Lage setzen würde, Schallschutzmassnahmen selber zu treffen. Es soll lediglich ein Überblick über die Möglichkeiten gegeben und gezeigt werden, welches die Prinzipien der üblichen Massnahmen sind, damit nicht zum Beispiel bei der Ausführung schalldämmender Konstruktionen vermeintliche Nebensächlichkeiten unterlassen werden, die in Wirklichkeit von grösster Wichtigkeit sind. Ein einziger falsch eingeschlagener Nagel kann hinsichtlich der Schalldämmung sehr viel verderben.

Adresse des Verfassers: Dr. Günther Kurtze, Diplom-Physiker, Göttingen, Keplerstrasse 32.

Das Abgleichen von Nieder- und Hochfrequenzkopplungen an Telephonkabeln

Von Franz Nüsseler, Bern

621.315.213:621.395.82:621.317.3

Zusammenfassung. Die nebensprechfreie Übertragung von Nieder- und Hochfrequenzenergie stellt an die Qualität der Telephonkabel sehr hohe Anforderungen. Um diesen Anforderungen zu genügen, müssen während der Montage besondere Abgleichungen vorgenommen werden. Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit werden die Verhältnisse für Niederfrequenz und besonders in Pupinkabeln untersucht. Der Zusammenhang zwischen den kapazitiven Kopplungen und dem Nebensprechen wird gezeigt sowie die erforderlichen Massnahmen zur Reduktion der Kopplungen werden erläutert. Die gleichzeitig vorgenommene Längshomogenisierung der Leitungen wird ebenfalls beschrieben. Im zweiten Teil behandelt der Verfasser die besonderen Verhältnisse bei der Übertragung von Trägerfrequenzströmen. Die Ursache des dabei auftretenden Nebensprechens wird erläutert und die Möglichkeiten zur Korrektur werden angegeben.

Résumé. La transmission sans diaphonie de l'énergie à basse et à haute fréquence impose à la qualité des câbles téléphoniques de très fortes exigences. Pour satisfaire à ces exigences, on doit faire pendant le montage des équilibrages spéciaux. Dans la première partie de cet article, l'auteur examine cette question pour les câbles à basse fréquence et spécialement les câbles pupinisés. Il explique le rapport existant entre les couplages par capacités et la diaphonie ainsi que les mesures à prendre pour réduire les couplages. Il décrit également l'homogénéité longitudinale des lignes établie en même temps. Dans la seconde partie, il parle plus spécialement de la transmission des courants porteurs, explique les causes de la diaphonie et indique les possibilités d'y remédier. – Une traduction française de cet article paraîtra prochainement.

A. Niederfrequenzabgleich von Telephonkabeln

1. Geschichtliches

Die Erfindung des Telephons stellte sogleich die Frage, wie die Apparate unter sich bzw. mit der Zentralstation verbunden werden müssen, um die Einrichtung dem Verkehr praktisch dienstbar zu machen. Es war naheliegend, dass man dabei auf die mit

dem Telegraphen gemachten Erfahrungen griff und sich diese für die Telephonie zunutze zu machen suchte. Es zeigte sich indessen bald, dass Telegraph und Telephon nicht die gleichen Anforderungen an ihre Bauelemente stellten. Der wesentliche Unterschied lag in der verschiedenen Betriebsweise, denn während der Telegraph mit Gleichstromimpulsen arbeitet, werden