

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 72 (1954)
Heft: 32

Artikel: Die Schalldämmung von Trennwänden
Autor: Furrer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61229>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 20.11.2024

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

3. Anwendungsbeispiel

Für eine isotrope Platte ($I_x = I_y$) mit $l_x = 5,0$ m, $l_y = 4,5$ m, also $l_y/l_x = 0,9$ und den Auflagerverhältnissen gemäss Bild 4 haben die Lastverteilungszahlen folgende Grösse:

$$x = 0,62 \text{ und } y = 0,38$$

Üblicherweise werden mit diesen Zahlen die Schnittkräfte bestimmt (wobei eventuell noch eine Abminderung zur Berücksichtigung des günstigen Einflusses der Drillingsmomente vorgenommen wird) und die Platte dimensioniert. Untersucht man nun eben diese, als Folge der in beiden Richtungen verschieden starken Armierung, orthotrope Platte, so erhält man für ein Verhältnis der Trägheitsmomente (im gerissenen Zustand, welcher der Eisenbetondimensionierung zu Grunde liegt, in erster Näherung gleich dem Armierungsverhältnis, wenn man von der Differenz der Hebelarme der inneren Kräfte absieht)

$$\frac{I_x}{I_y} \cong \frac{0,62}{0,38} = 1,6$$

die Lastverteilungszahlen zu

$$x = 0,72 \text{ und } y = 0,28$$

Die Beanspruchung der Platte in x -Richtung ist also in Wirklichkeit

$$\frac{0,72 - 0,62}{0,62} = 16\%$$

grösser als bei der bisher üblichen Berechnung angenommen worden ist.

4. Schlussfolgerung

Es zeigt sich ganz allgemein, dass kreuzweis armierte Platten mit in beiden Richtungen verschieden starken Armierungen in Richtung der stärkeren Armierung stets mehr und in Richtung der schwächeren Armierung stets weniger beansprucht werden, als man es nach der bisher üblichen Berechnung, die von isotropen Platten ausging, erwarten konnte.

Die Schalldämmung von Trennwänden

DK 699.844

Von Ing. W. Furrer, Prof. an der ETH, und Dr. phil. Th. Gerber, Bern

In der letzten Zeit sind verschiedene wissenschaftliche Arbeiten erschienen, die neue Erkenntnisse und Anschauungen über den Mechanismus der Schallübertragung von Bauelementen vermitteln; hier soll nun versucht werden, diese Ergebnisse für den praktischen Gebrauch übersichtlich zusammenzustellen, wobei die Darlegungen noch durch eigene Messungen ergänzt sind.

R. Berger hat schon 1911 empirisch festgestellt, dass die Luftschalldämmung einer dichten Trennwand hauptsächlich von ihrer Masse abhängt, die elastischen Eigenschaften des Materials aber eine weniger wichtige Rolle spielen. Wenn man annimmt, dass jedes Wandelement, das durch eine einfallende Schallwelle angeregt wird, frei und unabhängig von seinen Nachbarelementen dieser Anregung folgen kann, so ist einzig seine Massenträgheit für die Schalldämmung massgebend. Unter dieser Voraussetzung haben A. Schoch (1937) und L. Cremer (1942) die Schalldämmung in Abhängigkeit der Wandmasse für statistisch verteilte Einfallswinkel berechnet (Bild 1, Kurve a).

Praktische Messungen zeigen nun aber immer wieder, dass die so berechnete Schalldämmung, auch «Massengesetz» genannt, nicht erreicht wird, besonders nicht bei biegesteifen Wänden. Diese systematischen Diskrepanzen rühren in erster Linie von der Nichtberücksichtigung der elastischen Wandeneigenschaften her. Die einzelnen Wandelemente sind ja keineswegs unabhängig voneinander, wie dies bei der Ableitung des Massengesetzes vorausgesetzt wird, sondern sie sind durch elastische Kräfte miteinander gekoppelt, und jede Auslenkung eines Elementes führt zur Ausbreitung von BiegeWellen. Einfallende Schallwellen regen daher eine Wand zu Biegeschwingungen an, wobei diese in ähnlicher Weise schwingt, wie ein vom Wind bewegter Vorhang. Die Wellenlänge der Biegeschwingungen ist abhängig von Masse und Elastizität des Wandmaterials sowie der Frequenz. Es kann nun vorkommen, dass die BiegeWellenlänge gerade gleich gross wird wie die abgestrahlte Wellenlänge in Luft bei der betreffenden Frequenz; wenn dies der Fall ist, strahlt die Wand sehr viel Schallenergie ab, was sich als starke Verminderung der

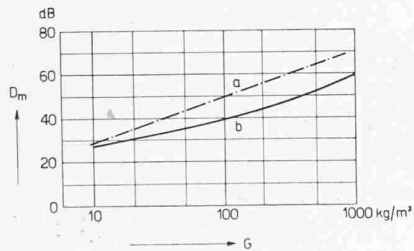


Bild 1. Mittlere Luftschalldämmung D_m in Abhängigkeit vom Wandgewicht G

a Theoretische Kurve (nur die Masse der Wand ist berücksichtigt, die elastischen Eigenschaften sind vernachlässigt, sog. «Massengesetz») b Mittel aus vielen Messergebnissen

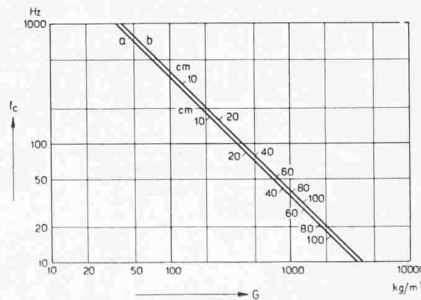


Bild 2. a Beton (P 300, armiert) b Backstein (sog. Isolierstein)

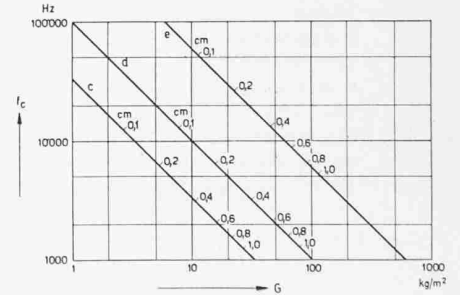


Bild 3. c Anticorodal d Eisen e Blei

Bilder 2 bis 6. Koinzidenzfrequenz f_c in Abhängigkeit von Wandgewicht G in kg/m^2 und Wandstärke in cm

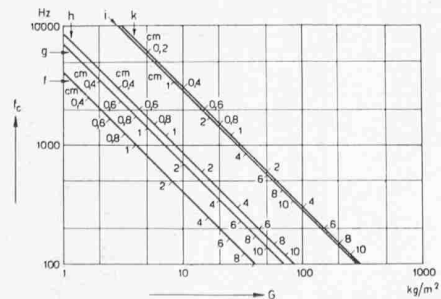


Bild 4. f Tanneholz g Sperrholz h Buchenholz i Gipsdielen (Schilfbretter) k Glas

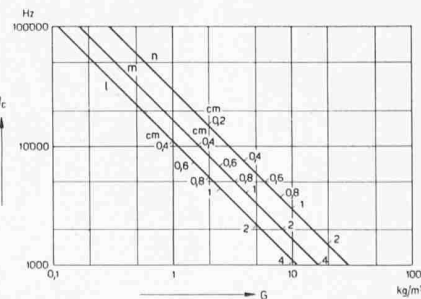


Bild 5. l Pavatex, weich m Pavatex, Isoduro n Pavatex, hart

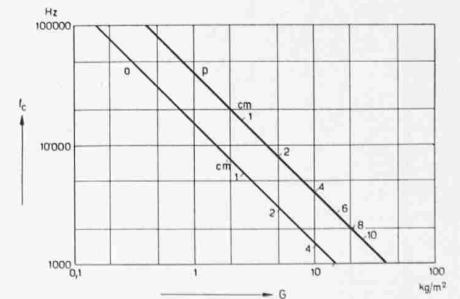


Bild 6. o Pavatex Akustik, längs gerillt p Pavatex Akustik, quer gerillt

Schalldämmung auswirkt. Dieser Effekt kann jeweils nur bei einer einzigen Frequenz, der sogenannten «Koinzidenzfrequenz» auftreten (L. Cremer, 1941).

Ausser der Masse einer Wand hat also auch diese Koinzidenzfrequenz einen massgebenden Einfluss auf die Schalldämmung; sie muss entweder sehr tief (unter 50 Hz) oder sehr hoch (über 4000 Hz) liegen, um in dem dazwischenliegenden, wichtigen Frequenzgebiet nicht eine unzulässige Verminderung der Schalldämmung zu verursachen. Für die Berechnung der Koinzidenzfrequenz eines Baustoffes leitet L. Cremer (1950) die folgende Beziehung ab:

Hierin bedeuten:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{B}}$$

- f_c Koinzidenzfrequenz
- c Schallgeschwindigkeit in Luft
- M spezifische Wandmasse
- B Biegesteifigkeit

Ferner zeigt er (1953), dass die Koinzidenzfrequenz leicht aus der unter dem Einfluss des Eigengewichtes auftretenden Durchbiegung eines beidseitig frei aufliegenden, aus dem zu untersuchenden Material bestehenden Trägers bestimmt werden kann. Für rechteckige Querschnitte und kleine Durchbiegungen ist der Elastizitätsmodul E bekanntlich bestimmt durch:

$$E = \frac{5}{32} \frac{\gamma l^4}{\eta h^2}$$

- γ spezifisches Gewicht
- l Länge des Trägers
- η Durchbiegung (Mitte)

Da die Biegesteifigkeit B definiert ist durch:

$$B = \frac{E}{1 - \mu^2} \frac{h^3}{12}$$

- E Elastizitätsmodul
- μ Poisson'sche Konstante
- h Dicke des Trägers

so folgt (mit der Vernachlässigung $1 - \mu^2 \approx 1$):

$$f_c = 5150 \sqrt{\frac{\eta}{l^2}}$$

- η Durchbiegung (Mitte) in cm
- l Länge des Trägers in m
- f_c Koinzidenzfrequenz in Hz

Für sehr viele Baustoffe lässt sich die Koinzidenzfrequenz auf diese einfache Weise mit ausreichender Genauigkeit bestimmen. Einzig bei Beton und Mauerwerk treten Schwierigkeiten auf, da die Durchbiegungen durch die Eigengewichte zu klein sind, um sie mit einfachen Hilfsmitteln genügend genau messen zu können. Bei Beton kann man sich jedoch mit einer Zusatzlast helfen, die in der Mitte des Trägers angreift. Dann gilt für den Elastizitätsmodul E :

$$E = \frac{l^3 G'}{4 \eta' b h^3}$$

- G' Zusatzlast
- η' Durchbiegung infolge Zusatzlast
- b Breite des Trägers
- h Dicke des Trägers
- l Länge des Trägers

In Mauerwerk werden jedoch bei diesem Vorgehen leicht die zulässigen Zugspannungen überschritten, so dass man hier mit negativen Zusatzlasten, d. h. Entlastungen, arbeiten muss.

Die Bilder 2, 3, 4, 5 und 6 zeigen die auf diese Weise gemessenen Koinzidenzfrequenzen für 15 verschiedene Baustoffe, jeweils in Abhängigkeit von ihrem Gewicht¹⁾, wobei gleichzeitig die entsprechenden Dicken eingetragen sind, um den praktischen Gebrauch zu erleichtern. Damit lässt sich nun wie folgt vorgehen: Wenn die Schalldämmung eines dieser Materialien zu bestimmen ist, so wird zunächst der Dämmwert nach dem Massengesetz bestimmt (Bild 1, Kurve a); dann kann aus der entsprechenden Geraden der Bilder 2 bis 6 die Koinzidenzfrequenz abgelesen werden. Liegt diese innerhalb von etwa 50 bis 4000 Hz, dann ist eine wesentliche Verkleinerung der durch das Massengesetz gegebenen Dämmung zu erwarten, so dass die Kurve b von Bild 1 massgebend ist.

Beispiele:

Beton: (Bild 2, Kurve a). Von etwa 40 cm Stärke an (800 kg/m²) liegt die Koinzidenzfrequenz unter 50 Hz; je schwerer eine Wand aus diesem Material ist, desto mehr gilt das reine Massengesetz.

¹⁾ Da in der Bautechnik der Begriff der *Masse* wenig gebräuchlich ist, wird im folgenden das *Wandgewicht* angegeben, obschon dies, rein physikalisch betrachtet, nicht korrekt ist.

Mauerwerk: (Bild 2, Kurve b). Die Koinzidenzfrequenz liegt erst bei einer Stärke von mehr als 60 bis 70 cm unter 50 Hz; solche Mauerstärken bilden die seltene Ausnahme, so dass für Mauerwerk praktisch immer die Kurve b von Bild 1 zu benützen ist.

Holz, Gipsdielen, Glas: (Bild 4). Bei diesen Materialien liegen die Koinzidenzfrequenzen für alle praktisch vorkommenden Gewichte, bzw. Stärken mitten im wichtigen Frequenzbereich, so dass immer die Kurve b von Bild 1 zu benützen ist. Diese Stoffe werden häufig auch für den Bau von Doppelwänden (Doppelfenster) gebraucht. Dabei ist es vorteilhaft, die Dicken der beiden Schalen verschieden zu wählen, damit ihre Koinzidenzfrequenzen nicht zusammenfallen.

Holzfaserverplatten: (Bild 5). Bei einer gewöhnlichen 12 mm Bauplatte liegt die Koinzidenzfrequenz schon über 3000 Hz. Bei einer 3,5 mm Hartplatte erreicht sie beinahe 10 000 Hz; in diesen Fällen kann daher unbedenklich mit dem theoretischen Massengesetz gerechnet werden.

Bleche aus Aluminium, Eisen, Blei usw.: (Bild 3). Mit solchen Blechen können leicht hohe Koinzidenzfrequenzen und gleichzeitig verhältnismässig auch hohe Gewichte erreicht werden. Sie eignen sich daher für viele Zwecke sehr gut, z. B. für die Einlage in Türen (Blei), sowie für demontierbare Wandelemente (Stahl, Aluminium).

Bild 7 zeigt idealisierte Frequenzkurven für zwei charakteristische Fälle. Bei einer 500 kg/m² schweren Backsteinmauer liegt die Koinzidenzfrequenz bei 80 Hz, was eine Verminderung der Schalldämmung im ganzen unteren Frequenzbereich zur Folge hat; mit steigender Frequenz findet aber eine allmähliche Annähe-

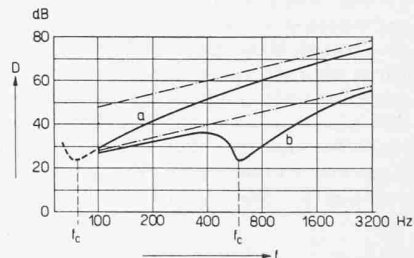


Bild 7. Luftschalldämmung D in Abhängigkeit von der Frequenz f . Strichpunktiert = Massengesetz
a Backsteinwand, 500 kg/m² $f_c = 80$ Hz
b Gipsdielen, 50 kg/m² $f_c = 600$ Hz

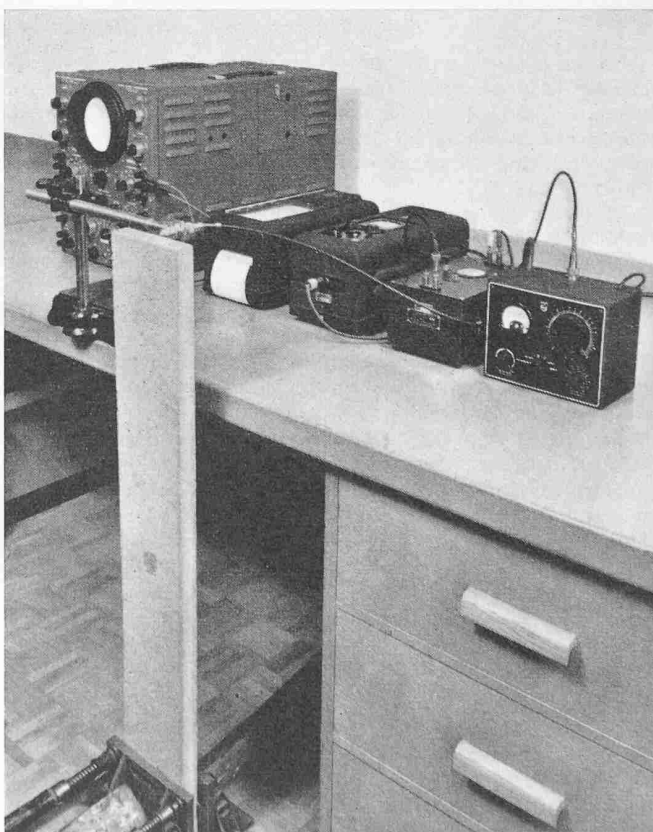


Bild 8. Anordnung für die Messung der Biegungsschwingungen eines Betonträgers

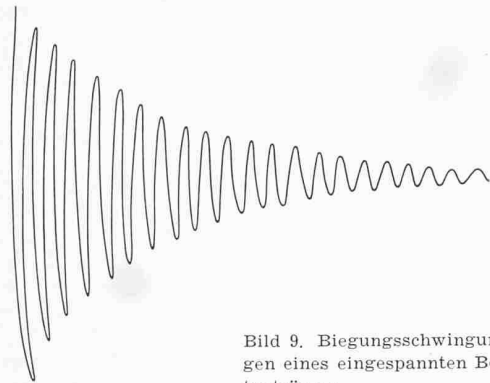


Bild 9. Biegungsschwingungen eines eingespannten Betonträgers

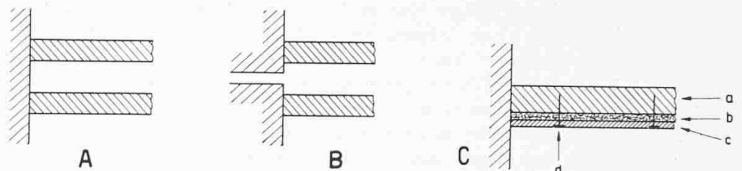


Bild 11. Doppelwände (A und B) sowie «Quasidoppelwand» (C)

A Doppelwand mit starrer Randverbindung. Schalldämmung 10 bis 15 dB besser als gleichschwere Einfachwand

B Ideale Doppelwand. Schalldämmung 20 bis 30 dB besser als gleichschwere Einfachwand

C Verminderung der Abstrahlung mit einer biegeweichen Platte (nach K. Gösele), Schalldämmung 8 bis 10 dB besser als schwere Wand allein

- a Backstein-, Beton- oder ähnliche Wand
- b Elastische Zwischenschicht
- c Biegeweiche Holzfaserschicht
- d Nägel, alle 50 cm

rung an das Massengesetz statt. Bei der 50 kg/m² schweren Wand aus Gipsdielen liegt die Koinzidenzfrequenz bei 600 Hz, so dass die Schalldämmung mitten im wichtigsten Frequenzbereich einen starken Einbruch zeigt.

Die Verminderung der Schalldämmung bei der Koinzidenzfrequenz ist abhängig von der Ausbreitungsdämpfung der Biegewelle. Diese Dämpfung kann sehr einfach gemessen werden, wenn man einen Träger oder Stab aus dem zu untersuchenden Material zu Biegeschwingungen anregt. Bild 8 zeigt eine solche Messanordnung, wobei der eingespannte Betonstab durch eine beliebige Kraft ausgelenkt wird; die abklingenden Schwingungen können leicht oszillographiert werden, wobei sich das typische Bild einer gedämpften Schwingung ergibt (Bild 9), aus der das logarithmische Dämpfungsdecrement berechnet werden kann. Für einige wichtige Materialien sind nachfolgend die Werte zusammengestellt:

Material	Logarithm. Dämpfungsdecrement	Material	Logarithm. Dämpfungsdecrement
Blei	0,15	Backstein	0,04
Pavatex, Isoduro	0,095	Tannenholz	0,025
Pavatex, weich	0,08	Glas	0,01
Beton P 300, armiert	0,07	Anticorodal	0,009
Buchenholz	0,05	Eisen	0,005
Sperrholz	0,04		

Auch diese Untersuchungen ergeben ein recht aufschlussreiches Bild; wiederum treten die guten Eigenschaften von Blei und Holzfasern hervor, während Beton, Holz und Mauerwerk in der Mitte liegen und Glas, Eisen usw. ausgesprochen kleine Dämpfungen zeigen und daher besonders tiefe Einbrüche bei der Koinzidenzfrequenz erwarten lassen.

Für die Baupraxis sehr wichtig sind ferner die Untersuchungen an Doppelwänden. E. Wintergerst hat schon 1931 den theoretischen Verlauf der Schalldämmung einer Doppelwand unter der Voraussetzung berechnet, dass eine Übertragung ausschliesslich durch den Luftzwischenraum stattfinden kann. Bild 10 zeigt diesen berechneten Frequenzgang, wobei in der Nähe der gewöhnlich sehr tief liegenden Resonanzfrequenz eine Verminderung, oberhalb jedoch eine starke Erhöhung der Schalldämmung auftritt, immer im Vergleich zu der gleich schweren Einfachwand (Massengesetz). Praktisch werden aber diese günstigen Verhältnisse nie erreicht, und zwar hauptsächlich deshalb, weil die Schallübertragung nicht nur durch den Luftzwischenraum, sondern überwiegend über die Randverbindung der beiden Schalen stattfindet (Bild 11). Dadurch reduziert sich der praktisch auftretende mittlere Gewinn gegenüber der gleich schweren Einfachwand von theoretisch 20 bis 30 dB auf 10 bis 15 dB, was aber im-

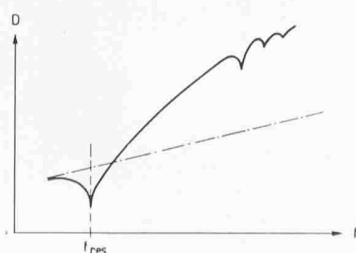


Bild 10. Theoretischer Verlauf der Schalldämmung *D* einer Doppelwand in Abhängigkeit von der Frequenz *f*

f_{res} = Resonanzfrequenz

Strichpunktierte Linie = Massengesetz für die gleichschwere Einfachwand

merhin noch einem Gewichtsgewinn von etwa 1:4 entspricht; eine Doppelwand hat also die gleiche Schalldämmung wie eine viermal schwerere Einfachwand.

K. Gösele (1953) hat ferner nachgewiesen, dass man eine sehr viel einfachere und billigere «Quasi»-Doppelwand bauen kann, indem man eine gewöhnliche Trennwand aus Mauerwerk, Beton usw. auf der «leisen» Seite mit einem möglichst biegeweichen Belag versieht, um die Abstrahlung zu verschlechtern. Zu diesem Zwecke eignet sich z. B. eine weiche Holzfaserschicht, die auf einer elastischen Zwischenschicht, z. B. einer weichen Matte, angebracht wird. Trotz der Schallübertragung durch die unvermeidliche Befestigung (Nägel in etwa 50 cm Distanz, Bild 11 C) ergibt sich eine sehr beträchtliche Verbesserung der Schalldämmung von 8 bis 10 dB. Diese Erkenntnis ist von grosser praktischer Bedeutung, gestattet sie doch, auf sehr einfache und billige Weise eine ganz erhebliche Erhöhung der Schalldämmung zu erreichen, und zwar nicht nur bei neuen Bauten, sondern auch bei bestehenden Wänden mit ungenügender Schalldämmung.

Ein anderes interessantes Beispiel von Doppelwänden sind die heute in steigendem Masse verwendeten demontierbaren Wandelemente, die meist aus zwei Aluminium- oder Stahlblechen bestehen, zwischen denen eine weiche Zwischenschicht liegt. Mit einer solchen Konstruktion wurde bei einem Totalgewicht von nur 20 kg/m² eine mittlere Luftschalldämmung von 44 dB erreicht (EMPA Zürich), das sind 10 dB mehr, als nach dem Massengesetz zu erwarten wäre. Der Doppelwandeffekt ist also sehr ausgeprägt, und zudem liegen die Koinzidenzfrequenzen solcher dünner Bleche, wie bereits erwähnt, sehr hoch.

Der komplizierte Vorgang der Luftschallübertragung von ein- und zweischaligen Trennwänden ist also heute nicht nur theoretisch recht erschöpfend geklärt, sondern es lassen sich auch praktische Folgerungen ableiten, die für die Bautechnik wichtig sind und die leicht und sicher angewendet werden können.

Adressen der Verfasser: Prof. W. Furrer, Aebistr. 1, Bern; Dr. Th. Gerber, Stämpflistr. 4, Bern.

Atomenergie als Schiffsantrieb

DK 621.039:629.12

Das erste Schiff mit Antrieb durch eine Atomkraftanlage, das amerikanische Unterseeboot «Nautilus», ist neulich von Stapel gelaufen. Es verdrängt 2500 t, getaucht 3180 t, und ist 98 m lang. Getaucht soll es 20 Knoten laufen. Die Maschine ist bei der Westinghouse Electric Co. gebaut worden und soll 9 Mio Dollars kosten. Ein zweites Boot, der «Sea Wolf», wird von der General Electric Co. ausgerüstet. Einige Einzelheiten sind einem Vortrag zu entnehmen, der kürzlich im Institute of Electrical Engineers in New York gehalten wurde (F. E. Crever und T. Trocki, Knoll's Atomic Power Labor, Schenectady, Nuclear Power Plants for Ship Propulsion, «Motorship» 35 (1954) Nr. 411, S. 104). Darin sind Vergleiche gezogen zwischen einem Meiler mit Wärmeübertragung durch 1. Wasser, 2. Natrium, 3. Helium. Als Kraftmaschine benützen 1 und 2 eine Dampfturbine, 3 dagegen eine Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf. Der Meiler, welcher an die Stelle des öl-beheizten Dampfkessels im Schiff tritt, kann klein gebaut werden, doch wird die strahlungsschirmende Ummantelung sehr schwer. Sie ist unabhängig von der Leistung der Anlage