

# Schallschluckstoffe

Autor(en): **Furrer, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **111/112 (1938)**

Heft 17: **Schallfragen im Bauwesen**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-49845>

## **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.

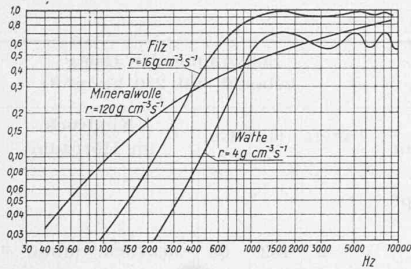


Abb. 1. Berechneter Schallschluckgrad poröser Materialien

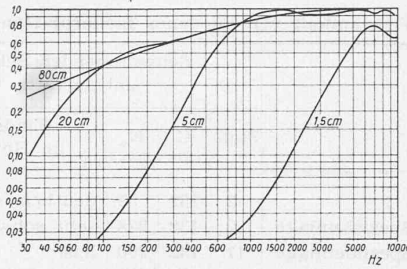


Abb. 2. Berechneter Schallschluckgrad von Filz

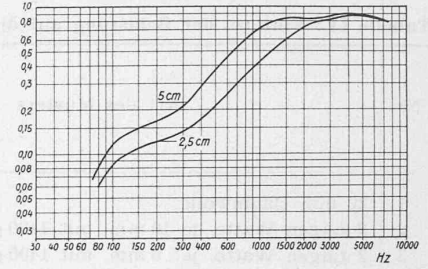


Abb. 3. Schallschluckgrad von Akustik-Perfecta-Platten

steigender wie mit abfallender Fallhöhenfolge einige Messungen widerspruchslos verlaufen sind. Dadurch werden Störungen, die etwa von einem Störspiegel eintreten könnten, ohne weiteres erkennbar. Da zudem der Hörer gar nicht weiss, was am Instrument eingestellt wird, ist das Verfahren weitgehend objektiv. Verschiedene Hörer kommen jeweilen zum gleichen Resultat.

3. Dieses Verfahren eignet sich besonders für die Gruppe *isoliert*, Gehen nicht hörbar, wobei Decken mit etwa 300 cmgr Reizschwellenfallenergie den Anforderungen entsprechen. Es wurden aber schon bedeutend höhere Energien gemessen (siehe Tabelle IV).

4. Für den *gedämpften* Bereich ist gewöhnlich die Reizschwellenenergie so klein, dass keine messbaren Unterschiede mehr festgestellt werden können. Da hier die Klangfarbe massgebend ist, wird eine Reizschwellenmessung aber auch gar nicht mehr notwendig, und noch viel weniger eine Phonmessung. In Tabelle III ist eine Zusammenstellung über einige untersuchte Estrichbeläge zu finden. Die Prüfung erfolgte jeweilen in einem Muster von 50/60 cm Grösse, das auf die Tragdecke verlegt wurde. Darüber kommt eine 5 cm starke Betonplatte zu liegen, auf die mit dem Stampfgerät geklopft wird. Eine Prüfung im Muster ist für den Estrich zulässig, solange es sich um Trittschalluntersuchungen handelt, im Gegensatz zu Luftschallmessungen, die nur an grossen Wänden durchgeführt werden dürfen. Aus Tabelle II geht wiederum deutlich der Einfluss des Deckengewichtes auf den Trittschalldurchlass hervor, sowie die Tatsache, dass nur mit einer ganz bestimmten Auswahl von Matten eine Erhöhung der Reizschwellenenergie und ein Dämpfungmachen des Klanges möglich ist.

5. Die letzte Kolonne der Tabelle II zeigt, dass die Schallschluckung des Hörraumes ohne Einfluss auf die Reizschwellenenergie bleibt. Die Erklärung ist darin zu suchen, dass im Gebiet der Reizschwelle offenbar nur noch der direkte Schallstrahl das Ohr trifft, weil jeder indirekte Strahl eine Verstärkung bringen würde, also noch nicht Reizschwelle geben könnte<sup>7)</sup>. Dies bedeutet gegenüber dem Normenverfahren eine wesentliche Erleichterung, da die Bestimmung der Schluckfläche bei Baumessungen keine einfache Sache ist, soll sie experimentell durchgeführt werden. Wird sie jedoch geschätzt oder berechnet, so werden die Vergleichswerte unsicher.

Mit dem beschriebenen Verfahren wurde ferner der Einfluss der *Belastung von Isoliermatten* im schwimmenden Belag durchgeführt (Tabelle IV). Die Versuchsanordnung ist die selbe wie in Abb. 2 beschrieben. Es zeigt sich bei allen Matten, die heute im Handel sind, ein starkes Zurückgehen der Isolierwirkung mit zunehmender Belastung, ein Umstand der in der Baupraxis von grösster Bedeutung ist. Die Messungen wurden mit Kolben von 52 und 132 gr durchgeführt. Je luftiger eine Matte ist, umso besser dämpft sie, umso empfindlicher wird sie jedoch gegen das Zusammendrücken. Das geht besonders deutlich aus dem Versuch mit der Holzwolle hervor. Es zeigt sich ferner auch, dass sich die Matten nach der Belastung einige Zeit erholen müssen, bis sie wieder die ursprüngliche Dämpfung aufweisen, dass aber gewisse Produkte die ursprüngliche Wirkung überhaupt nicht mehr erreichen und «lahm» werden.

*Zusammenfassend* kann gesagt werden: Die Phonmessung scheint sich für Trittschallmessungen nicht zu eignen. Eine Unterscheidung in den isolierten und den gedämpften Bereich wird vorgeschlagen. Im ersten Falle eignet sich die Reizschwellenmethode zur Messung, im zweiten Falle ist in der Hauptsache die Klangfarbe massgebend. Es wird gezeigt, dass, wie bei keinem Teilgebiet der Bauakustik, gerade beim Trittschall wegen der unendlich vielen Möglichkeiten der baulichen Ausführung eine Messung am Bauwerk selbst unbedingt notwendig ist. Es werden Versuche gezeigt über den Einfluss der Schallschluckung beim Reizschwellenverfahren, sowie über den Einfluss der Belastung von Isoliermatten.

<sup>7)</sup> Pfeiffer, «Akustische Zeitschrift» 1937, Heft 6, Mitteilungen.

## Schallschluckstoffe

Von Dipl. Ing. W. FURRER, Bern

Vortrag im S. I. A.-Kurs «Schallfragen im Bauwesen» Zürich, März 1938.

### 1. Arten.

Ein Material kann Luftschall auf zwei grundsätzlich verschiedene Arten schlucken: durch poröse Absorption oder durch Mitschwingen.

Ein poröser Stoff nimmt selbst an den durch den Schall erzeugten Luftbewegungen nicht teil. Er bildet nur ein starres Gerüst, durch dessen Poren die Luft fliesst. In den engen Kanälen entstehen grosse Geschwindigkeitsunterschiede der Luftteilchen, sodass sich die Zähigkeit der Luft bemerkbar macht und durch innere Reibung Schallenergie in Wärme umgewandelt wird. Theoretische Untersuchungen dieser Verhältnisse sind besonders am Institut für Schwingungsforschung in Berlin durchgeführt worden; es ist dabei gelungen, den Schallschluckgrad eines porösen Stoffes aus seinen mechanischen Eigenschaften zu bestimmen.<sup>1)</sup> Die massgebenden Grössen sind die Porosität, der Strömungswiderstand und die Schichtdicke. Die Porosität eines Stoffes wird ausgedrückt durch das Verhältnis des Volumens der Lufteinschlüsse zum totalen Volumen. Der Strömungswiderstand lässt sich bestimmen, indem man einen Luftstrom durch das Material bläst und den dabei auftretenden Druckabfall misst. Es ist also möglich, das akustische Verhalten eines porösen Stoffes durch Versuche zu bestimmen, bei denen gar kein Schall nötig ist.

Bei der Messung der Porosität ergab sich die etwas unerwartete Tatsache, dass bei allen Stoffen, die überhaupt akustisch interessant sind, Werte zwischen 70 und 90 % herauskamen. Im Gegensatz dazu weisen die verschiedenen Materialien Strömungswiderstände auf, die um viele Grössenordnungen verschieden sein können. Eine Holzfaserstoffplatte hat beispielsweise einen rund 10 000 mal grösseren Strömungswiderstand als lose Watte. Porosität und Strömungswiderstand eines Materials stehen unter sich in keinem direkten Zusammenhang. Die Relation zwischen diesen beiden Grössen und dem Schallschluckvermögen ist recht verwickelt. Abb. 1 zeigt den berechneten Frequenzgang der Schallschluckgrade von drei porösen Stoffen mit verschiedenen Strömungswiderständen. Es geht daraus hervor, dass es für einen Schallschluckstoff einen optimalen Wert des Strömungswiderstandes gibt. Der Verlauf der Kurven zeigt ferner, dass der Schluckgrad gegen die tiefen Frequenzen zu rasch abnimmt. Diese Erscheinung ist typisch für die poröse Absorption. Abb. 2 zeigt den Einfluss der Schichtdicke, der einfacher und übersichtlicher als jener des Strömungswiderstandes ist. Je dicker die Schicht, desto besser werden die tiefen Frequenzen absorbiert. Diese Tatsache ist für die Praxis von grosser Wichtigkeit. Um mit einem porösen Material tiefe Frequenzen wirksam zu dämpfen, sind immer sehr grosse Schichtdicken notwendig. Eine Vergrösserung der Dicke über eine gewisse Grenze hinaus bringt aber nichts mehr; diese Grenze hängt vom Strömungswiderstand ab. Die Abb. 3 und 4 zeigen den Frequenzgang des Schluckgrades von zwei typischen porösen Baumaterialien; Perfekta-Platten und Kork. Ein weiterer, sehr wichtiger poröser Schallschlucker ist auch Publikum (Abb. 5).

Ganz anders verhalten sich die schwingungsfähigen Schallschluckstoffe<sup>2)</sup> und<sup>3)</sup>. Ein solcher besteht aus einer undurchlässigen, schwingungsfähigen Platte, die einen dahinter liegenden Luftraum abschliesst. Auffallende Schallwellen regen die Platte zum Mitschwingen an, wobei durch innere Reibung Schallenergie in Wärme umgesetzt wird. Platten mit Dimensionen wie sie praktisch in Frage kommen, die

<sup>1)</sup> L. Cremer, «Elektr. Nachr. Techn.» 1935, S. 333.

<sup>2)</sup> E. Meyer, «Elektr. Nachr. Techn.» 1936, S. 95.

<sup>3)</sup> H. Laufer, «Hochfrequenztechn. und Elektroak.» 1937, S. 9.

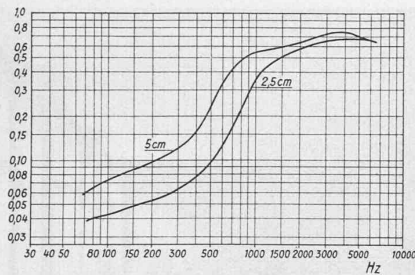


Abb. 4. Schallschluckgrad von Korkplatten

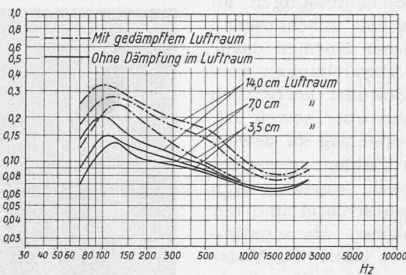


Abb. 6. Schallschluckgrad von schwingungsfähigem Sperrholz, 12 mm dick

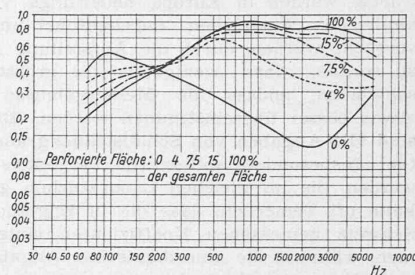


Abb. 7. id. einer 7 cm dicken Glasseideschicht mit perforiertem 3 mm-Sperrholz abgedeckt

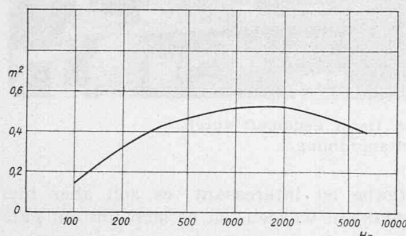


Abb. 5. Mittlere Schallschluckung eines Zuhörers

sich nach beiden Seiten frei durchbiegen können, weisen Eigenschwingungen auf, die gewöhnlich weit unterhalb des Hörbereichs liegen. Die Verhältnisse ändern sich aber grundsätzlich, wenn eine solche Platte einen Luftraum abschliesst, wie das z. B. bei Wandverkleidungen der Fall ist.

Eine solche Anordnung stellt ein schwingungsfähiges System mit einem Freiheitsgrad dar, wobei die Masse des Systems durch die Masse  $M$  der Platte und seine Elastizität durch das Luftpolster  $d$  dargestellt wird. Die Resonanzfrequenz  $f_0$  beträgt dann:

$$f_0 = k \sqrt{\frac{1}{M \cdot d}} \quad k = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\rho} = 189 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$$

worin  $c$  = Schallgeschwindigkeit  
und  $\rho$  = Luftdichte

Die elastischen Eigenschaften der Platte selbst beeinflussen  $f_0$  nur ganz unwesentlich. Der Schluckgrad einer derartigen Anordnung ist am grössten bei der Resonanzfrequenz und nimmt gegen höhere und tiefere Frequenzen hin ab. Wie die Formel zeigt, kann die Eigenfrequenz durch entsprechende Dimensionierung innerhalb weiter Grenzen gewählt werden. Man besitzt damit ein sehr bequemes und einfaches Mittel, um tiefe Frequenzen wirksam zu absorbieren, eine Aufgabe, für die sich die porösen Schallschlucker ja nur sehr schlecht eignen. Das Einbringen von porösen Stoffen in das Luftpolster erhöht die absorbierende Wirkung, ohne dabei die charakteristischen Eigenschaften des schwingungsfähigen Schallschluckers zu beeinflussen. Es wird damit lediglich erreicht, dass auch im Luftpolster Schallenergie durch Reibung in Wärme übergeführt wird. Das am häufigsten verwendete schwingungsfähige Material ist Holz, besonders Sperrholzplatten (Abb. 6), dann auch Holzfasersstoffplatten. Diese sind an und für sich poröse Schallschlucker, die allerdings wegen ihrer geringen Schichtdicke und vor allem wegen ihres sehr grossen Strömungswiderstandes nur kleine Schluckgrade aufweisen. Wenn solche Platten aber nicht direkt auf einer starren Wand aufliegen, sondern einen, wenn auch nur kleinen Luftzwischenraum einschliessen, wie es häufig der Fall ist, so kann sich ihr Schluckgrad besonders bei den tiefen und mittleren Frequenzen wesentlich erhöhen, da sie dann mitschwingen können. Sehr anschaulich ist der kontinuierliche Uebergang von einem schwingungsfähigen zu einem porösen Schallschlucker. Wenn die schwingungsfähige Platte perforiert wird, so schwingt sie mit zunehmender Durchlöcherung immer weniger mit und der Einfluss des porösen Materials im Luftpolster hinter der Platte macht sich immer stärker bemerkbar. Schon bei einer «Lochfläche» von nur 15 % wirkt fast nur noch der poröse Stoff und die Platte selbst ist akustisch wirkungslos (Abb. 7). Daraus geht hervor, dass solche perforierte Platten sehr gut als mechanischer Schutz für weiche, poröse Materialien verwendet werden können, ohne dass sie die akustische Wirkung des porösen Stoffes beeinträchtigen.

2. Messung.

Der Schallschluckgrad eines Stoffes ist physikalisch definiert als das Verhältnis der geschluckten zu der einfallenden Schallenergie. Obschon diese Definition eindeutig und klar ist, treten bei der Messung von Absorptions-Koeffizienten doch erhebliche Schwierigkeiten auf. Einige davon verdienen erwähnt zu werden, da sie zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von Messergebnissen beitragen.

Der Schallschluckgrad hängt in erheblichem Masse vom Winkel ab, den die einfallenden Schallstrahlen mit der Oberfläche des Materials einschliessen. Es gibt nun eine ganze Anzahl von Messverfahren, die die Absorption nur für einen bestimmten Einfallswinkel messen. So liefert beispielsweise die älteste und einfachste Methode, die Messung mit stehenden Wellen in einem Rohr, nur Werte für senkrechten Schalleinfall. Das gilt auch für die eingangs erwähnte Berechnung des Schluckgrades von porösen Stoffen aus Strömungswiderstand, Porosität und Dicke. Andere Methoden, die mit gerichteten Schallstrahlen oder gerichteten Mikrofonen arbeiten, liefern Werte für Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  <sup>4)</sup>. Alle diese Verfahren haben ihre Bedeutung für wissenschaftliche Zwecke. In der Praxis muss man jedoch bei einem Material mit einem mittleren Schluckgrad rechnen, der den tatsächlichen Verhältnissen möglichst nahe kommt. In einem homogenen Raum sind alle Schalleinfallrichtungen gleich wahrscheinlich. Diese Bedingung wird angenähert nur bei der Messung im Hallraum verwirklicht. Dies ist auch der Grund, weshalb sich dieses Verfahren heute allgemein durchgesetzt hat. Leider sind damit noch nicht alle Schwierigkeiten überwunden. Die Messung des Absorptions-Koeffizienten im Hallraum besteht darin, dass eine bestimmte Fläche des zu messenden Materials in einen Hallraum, d. h. in einen Raum mit möglichst reflektierenden Flächen gebracht wird. Die Nachhallzeit dieses Raumes wird zuerst ohne und dann mit dem Prüfmaterial gemessen und daraus lässt sich der Schallschluckgrad berechnen. Das Verfahren scheint sehr einfach zu sein und wäre es auch, wenn der Zusammenhang zwischen Nachhallzeit und Absorption eines Raumes genau bekannt wäre. Dieses Problem bildet jedoch die Grundschwierigkeit der Raumakustik überhaupt.

Eine Beziehung zwischen Nachhallzeit und Absorption eines Raumes wurde erstmals durch Sabine empirisch aufgestellt und später von verschiedenen Autoren auch theoretisch abgeleitet. Dabei muss jedoch u. a. die Voraussetzung gemacht werden, dass die Absorption gleichmässig im Raum verteilt sein müsse, eine Bedingung, die in einem Hallraum nie erfüllt ist. Die Fehler dieses Messverfahrens äussern sich dadurch, dass das Ergebnis durch Faktoren stark beeinflusst wird, die durch die Theorie nicht erfasst werden können. Solche Einflüsse sind hauptsächlich Grösse, Anordnung und Verteilung des Prüfmaterials im Hallraum. Durch Verändern dieser scheinbar unwichtigen Voraussetzungen kann der gemessene Schallabsorptions-Koeffizient in weiten Grenzen schwanken, es können sogar Werte grösser als 1 erhalten werden, was physikalisch unmöglich ist. Besonders schlimm wird die Sache bei hochabsorbierenden Stoffen, die das Schallfeld im Hallraum sehr stark stören und damit eine weitere Voraussetzung der Theorie verletzen. Für eine durchgreifende Beseitigung dieser Schwierigkeiten müsste in erster Linie eine vollkommene Theorie aufgestellt werden. Die von Eyring <sup>5)</sup> und Millington <sup>6)</sup> eingeführten Verbesserungen der Sabine'schen Formel haben praktisch keine grosse Bedeutung und vermindern die bestehenden Schwierigkeiten in keiner Weise.

Eine gewisse Abklärung dieser unerfreulichen Sachlage bringen Vergleichsmessungen der verschiedenen Laboratorien unter sich. Die ersten derartigen Mess-Serien wurden 1933 mit den bekannten gelochten Celotex-Platten durchgeführt <sup>7)</sup>. An diesen Messungen beteiligten sich fünf amerikanische, ein englisches und ein deutsches Laboratorium. Bei 128 Hz schwanken die Ergebnisse zwischen 0,10 und 0,12, sie weisen also eine durchaus befriedigende Uebereinstimmung auf. Bei 1024 Hz ist das Bild aber ganz anders, hier liegen die Zahlen zwischen 0,69 und 0,99! Diese Unterschiede sind unzulässig gross. Gegen-

<sup>4)</sup> L. Cremer, «Elektr. Nachr. Techn.» 1936, S. 36.  
<sup>5)</sup> C. F. Eyring, «Journ. Acoust. Soc. America.» I, 1930, S. 217.  
<sup>6)</sup> G. Millington, «Journ. Acoust. Soc. America.» IV, 1932, S. 69.  
<sup>7)</sup> P. E. Sabine, «Journ. Acoust. Soc. America.» VI, 1935, S. 239.

wärtig werden in Europa neuerdings Vergleichsmessungen an ähnlichen Materialien durchgeführt und es soll anschliessend versucht werden, durch die Aufstellung gewisser Normen dafür zu sorgen, dass wenigstens die grössten Abweichungen verschwinden, sodass die Messergebnisse in Zukunft hoffentlich etwas besser übereinstimmen werden. Bis man aber soweit ist, sind alle Angaben von Schallschluckgraden vorsichtig zu bewerten. Insbesondere sollten für Vergleiche nur Zahlen verwendet werden, die im gleichen Laboratorium gemessen wurden. Man kann oft bemerken, dass die in England, Deutschland und der Schweiz gemessenen Koeffizienten einigermaßen übereinstimmen, während die amerikanischen Angaben für das selbe Material höher sind. Wie schon bemerkt, sind es in dieser Beziehung hauptsächlich die hochabsorbierenden Stoffe, solche mit einem Schallschluckgrad von über 0,6, die mit Vorbehalten bewertet werden müssen. Wenn z. B. für ein bestimmtes Material ein Absorptions-Koeffizient von 0,9, für ein anderes einer von 0,7 angegeben wird, so kann es trotzdem vorkommen, dass das zweite Material in Wirklichkeit besser absorbiert als das erste!

**3. Anwendungen.**

Wohl der augenfälligste Berührungspunkt von Architektur und angewandter Akustik ist der Konzertsaal. Gerade hier zeigt es sich aber, dass die eigentlichen Schallschluckstoffe in den meisten Fällen nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen; das wichtigste Dämpfungsmaterial ist nämlich das Publikum selbst. Abb. 8 stellt den Frequenzgang der Nachhallzeit des Zürcher Tonhallsaales im leeren und im besetzten Zustand dar<sup>8)</sup>. Die Nachhallzeit des leeren Saales weist ein Maximum bei etwa 500 Hz auf. Das Absinken gegen die tieferen Frequenzen hin wird durch schwingungsfähige Stoffe, wie z. B. Wandverkleidungen, Podium usw. bewirkt, während sich bei den oberen Frequenzen die poröse Absorption der Wände, der Bestuhlung usw. bemerkbar macht. Die Anwesenheit von Publikum ändert nun die Verhältnisse vollständig. Die dadurch entstehende Nachhallkurve ist offenbar weitgehend unabhängig von der Bauweise des Saales selbst; diese Tatsache bestätigt sich ganz allgemein für alle bisher akustisch ausgemessenen Konzertsäle. Es ist ohne Zweifel ein grosses Glück, dass dem so ist, denn wenn ausschliesslich die Bauweise der Säle für ihre Akustik bestimmend wäre, so hätten wir in vielen Konzertsälen die merkwürdigsten Verhältnisse, da zur Zeit, als die Mehrzahl dieser Säle erbaut wurde, noch keinerlei präzise Vorstellungen über Raum-Akustik bestanden! Sehr wichtig ist die Anzahl der Zuhörerplätze oder vielmehr der für einen Zuhörer vorhandene Rauminhalt, der gewöhnlich zwischen 6 bis 10 m<sup>3</sup> schwankt. Ein zu zahlreiches Publikum hat eine zu kleine Nachhallzeit zur Folge und ist ebenso ungünstig wie ein halbleerer Saal. Da die durch die Absorption des Publikums erzeugte Nachhallkurve typisch für alle Konzertsäle ist, muss diese Kurve offenbar in natürlicher Weise mit unserm Musikempfinden verbunden sein. Man ist auch berechtigt, anzunehmen, dass schon die klassischen Tondichter ihre Musik unbewusst für Räume mit solchen Nachhallkurven komponiert haben.

Eine besondere Art von Konzertsälen stellen die Radio-Studios dar. Sie unterscheiden sich von einem gewöhnlichen Konzertsaal dadurch, dass das Publikum meist völlig fehlt. Damit verlieren wir aber auch seine so bequeme Absorptionsfähigkeit, sodass die Aufgabe der akustischen Gestaltung eines Studios im wesentlichen darin besteht, durch geeignete Anbringung von Schallschluckstoffen das fehlende Publikum absorptionsmässig zu ersetzen. Physikalisch ausgedrückt, muss die Nachhallzeit innerhalb eines Frequenzbereiches von etwa 80 bis 5000 Hz einen ganz bestimmten Verlauf haben; der untere Frequenzbereich von 80 bis etwa 1000 Hz ist dabei am wichtigsten. Daraus geht hervor, dass hier ein dankbares Gebiet für die schwingungsfähigen Schallschluckstoffe vorliegt, die in genau dimensionierter Weise mit porösen Materialien kombiniert wer-

<sup>8)</sup> W. Furrer, «Techn. Mitt. schweiz. TT.-Verw.» 1937, S. 72.

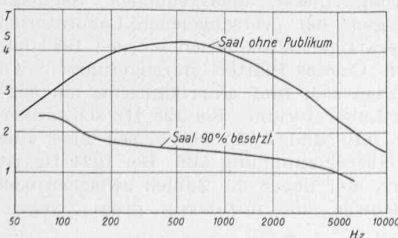


Abb. 8. Tonhalle Zürich, grosser Saal Nachhallzeiten

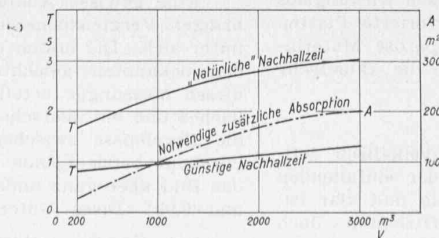


Abb. 9. Mittlere Nachhallzeiten von Büroräumen moderner Bauweisen

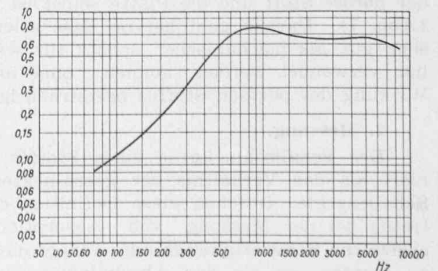


Abb. 10. Schallschluckgrad von Acousti-Celotex BBB

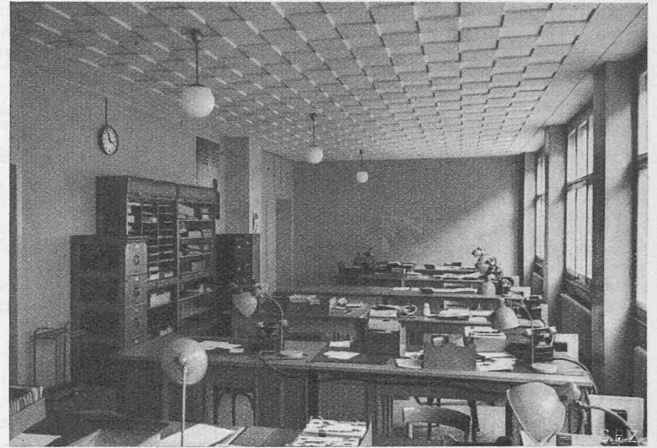


Abb. 12. Büreaum 370 m<sup>2</sup>, Decke gedämpft durch Celotexpplatten in Schachbrettanordnung

den müssen. Diese Aufgabe ist interessant, es soll aber hier nicht näher darauf eingegangen werden, da es sich um ein ganzes Spezialgebiet handelt.

Eine Aufgabe, die sich dem Architekten oft stellt, ist die Geräuschdämpfung in lärmgefüllten Räumen. Der Geräuschpegel in einem Raum ist abhängig von der Leistung der störenden Schallquelle und der Nachhallzeit des Raumes. Bei gegebener Schallquelle besteht die Möglichkeit, durch Verkürzung der Nachhallzeit den Geräuschpegel zu senken. Diese Möglichkeit ist besonders wertvoll für grössere Räume, in denen viele Personen arbeiten, die sich gegenseitig stören. Die heutige Bauweise mit ihrer weitgehenden Verwendung von Glas und Beton, mit harten Bodenbelägen, mit Stahlmöbeln usw. ergibt sehr lange Nachhallzeiten und damit hohe Geräuschpegel. Wie Abbildung 9 zeigt, weisen mittlere bis grössere Räume durchschnittlich Nachhallzeiten zwischen 2 und 3 sec auf. Es hätte nun aber keinen Sinn, die Räume so stark zu dämpfen, da ja durch zusätzliches Absorptionsmaterial lediglich der reflektierte Schall vermindert werden kann, während der direkt von der Quelle ausgestrahlte Schall unbeeinflusst bleibt. In der Praxis hat sich gezeigt, dass je nach der Raumgrösse eine Nachhallzeit von 0,8 bis 1,3 sec das Optimum darstellt, sodass also durch Einbringen von Schallschluckstoffen die ursprüngliche Nachhallzeit auf 1/2 bis 2/3 vermindert werden kann. In Abb. 9 ist die dazu jeweils nötige Absorptionsfläche eingetragen. Diese Massnahme bewirkt eine Abnahme des Geräuschpegels um 3 bis 5 Phon. Dies scheint auf den ersten Blick nicht sehr viel zu sein, wird aber subjektiv schon recht stark empfunden. Die 3 bis 5 Phon werden bei unveränderlichen Schallquellen, wie z. B. Schreibmaschinen, Buchhaltungsmaschinen usw. erreicht. Wenn es sich aber um menschliche Schallquellen handelt, wie z. B. in einem Bureau, in dem dauernd gesprochen und telephoniert wird, nimmt der Geräuschpegel um 5 bis 10 Phon ab, da der Mensch unwillkürlich die Lautstärke seiner Stimme dem ruhigeren Raum anpasst und um etwa 2 bis 5 Phon leiser spricht. Diese Abnahme ist nun schon ganz bedeutend, sodass dadurch wesentliche Steigerungen der Arbeitsleistungen erreicht werden können. Als Material kommen nur hochabsorbierende poröse Stoffe in Frage, die in den meisten Fällen an der Decke angebracht werden. Da die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres auch noch bei Lautstärken von 50 bis 60 Phon gegen die tiefen Frequenzen zu erheblich abnimmt, genügt es, ein Material zu verwenden, das erst oberhalb von etwa 300 Hz stark absorbiert; schwingungsfähige Stoffe kommen daher nicht in Frage. Nachfolgend sind drei Beispiele von Raumdämpfungen ange-

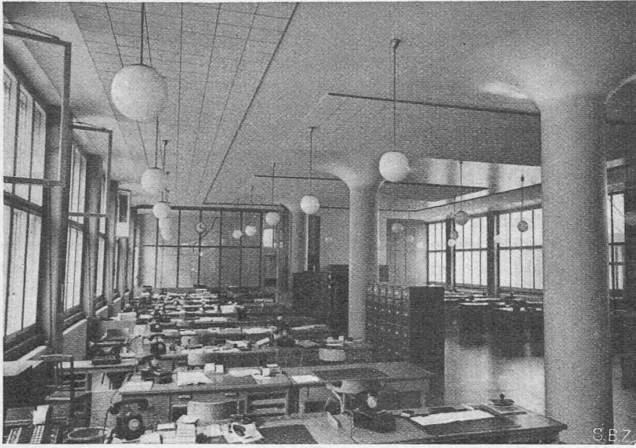


Abb. 15. Grosser Bureauaum, Celotexplatten zu Einzelflächen zusammengefasst (nachträglich angebracht, ungünstiger als Abb. 12)

führt, und zwar der besseren Vergleichbarkeit halber solche, bei denen das gleiche Material, gelochte Celotex-Platten, verwendet wurde. Aus der Schluckgradkurve dieser Platten (Abb. 10) ist ersichtlich, dass erst oberhalb von 300 Hz die Absorption gross wird; trotzdem ist dieser Stoff sehr gut für diesen Zweck geeignet. Das erste Beispiel ist eine Turnhalle von 1840 m<sup>3</sup>, deren Decke mit einer zusammenhängenden Fläche des erwähnten Materials belegt wurde. Die nach Sabine aus dem Schluckgrad berechnete Kurve (Abb. 11) zeigt bei den tiefen und hohen Frequenzen eine gute Uebereinstimmung mit den gemessenen Werten, einzig im mittleren Frequenzbereich bleibt das erzielte Resultat etwas hinter den Erwartungen zurück. Abb. 12 zeigt einen Bureauaum, an dessen Decke das Material schachbrettähnlich verlegt wurde. Die berechnete Kurve verdeutlicht, dass die absorbierende Wirkung durch die aufgelöste Anordnung des Materials stark gestiegen ist; besonders bei den tiefen Frequenzen ist das erreichte Ergebnis viel besser als erwartet (Abb. 13). Ein zweiter Raum von nahezu der gleichen Grösse und ebenfalls schachbrettähnlicher Anordnung des Materials verhält sich interessanterweise anders. Der Zufall wollte es hier, dass die Schmalseiten der einzelnen Celotex-Platten mit einem dicken, undurchlässigen Oelfarbanstrich versehen wurden. Wie die Gegenüberstellung mit der berechneten Kurve zeigt (Abb. 14), ist hier vor allem kein Gewinn mehr bei den tiefen Frequenzen festzustellen, bei den mittleren Frequenzen wurden wiederum die Erwartungen nicht ganz erfüllt. Dieses Beispiel gibt die Erklärung dafür, warum die schachbrettähnliche Anordnung die Absorption bei den tiefen Frequenzen so stark erhöht. Der Effekt wird durch die dann freien Schmalseiten der einzelnen Platten erzielt; deren Fläche macht 42 % der Plattenfläche aus, dabei beträgt die Schicht-«Tiefe» 30 cm gegenüber nur 3,2 cm senkrecht dazu (Format der Celotex-Platten 30 × 30 cm, Dicke 3,2 cm).

Das letzte Beispiel zeigt eine Zwischenlösung zwischen zusammenhängender Fläche und Schachbrett (Abb. 15). Um einen direkten Vergleich der Wirkungsgrade dieser drei Anordnungen zu erhalten, wurde für jeden Fall der effektiv wirksame mittlere Absorptions-Koeffizient für den Frequenzbereich von 300 bis 3000 Hz aus den Nachhallmessungen berechnet. Dabei wurden folgende Werte erhalten: Zusammenhängende Fläche 0,50, grobe Unterteilung 0,60, Schachbrett 0,86. Eine möglichst starke Auflösung der absorbierenden Fläche ist also akustisch sehr günstig und gibt gleichzeitig eine sehr gute Ausnützung des Materials.

Damit wurde an einigen Beispielen gezeigt, wie die Schallschluckstoffe zur Beeinflussung der Nachhallzeit von Räumen

verwendet werden können. Eine andere Aufgabe, die noch kurz erwähnt sei, ist die Korrektur geometrisch ungünstiger Raumformen, z. B. in Vortragsräumen, Hörsälen, Theatern usw. Raunteile, die störende Rückwürfe bewirken, sowie gekrümmte Flächen, die unerwünschte Schallkonzentrationen zur Folge haben, werden mit hochabsorbierenden Schallschluckstoffen verkleidet. Meistens können beide Aufgaben gleichzeitig gelöst werden, indem das zur Erzielung einer bestimmten Nachhallzeit nötige Material gerade an geometrisch kritischen Orten angebracht wird.

### S. I. A.-Kurs „Schallfragen im Bauwesen“

Bericht von Dipl. Ing. W. PFEIFFER, Winterthur

Der vom S. I. A. vom 4. bis 6. März d. J. durchgeführte Schallkurs hatte in erster Linie den Zweck, den bauausführenden Architekten über die auftretenden Probleme im Zusammenhang zu orientieren und ihm den Weg zu zeigen, wie die wissenschaftlichen Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt werden können. Der nachfolgende Bericht über diesen Kurs wird deshalb zweckmässig nach dem behandelten Stoff aufgeteilt und nicht nach einzelnen Vorträgen. (Deren genaue Titel und die Namen der Referenten finden sich auf S. 86 lfd. Bds.)

#### A. Geschichtliches.

Osswald gab in anschaulicher Weise einen gedrängten Ueberblick über die geschichtliche Entwicklung. Das Schallproblem ist so alt wie die Menschheit: Wann hat der Mensch zuerst seine Hände zu einem Sprechtrichter geformt oder die Hand an das Ohr gelegt, um besser zu hören? Lange bevor sich die Wissenschaft der Akustik annahm, wurden schon hervorragende Leistungen erzielt, man denke an die antiken Theater oder an die akustischen Kuriositäten wie die Flüstergewölbe (1)<sup>1)</sup>. Auch die Schallmessung in ihrer Anfangsform ist alt. Meyer erwähnte das Beispiel von der Porzellanprüfung durch Beklopfen, oder das Auffinden hohler Stellen durch Abklopfen. Im Verlaufe der Zeit sind dann allerdings viele schalltechnisch unrichtige Konstruktionen entstanden. Auf raumakustischem Gebiete zeugen z. B. die manchenorts notwendig gewordenen provisorischen Kanzeleinbauten davon. Aber auch die Schall-Isolierungstechnik hielt zunächst nicht Schritt mit den stets wachsenden Anforderungen. Neue Bauweisen, wachsender Lärm, fortwährend engeres Zusammenwohnen von Menschen verschärfen das Problem. Aus dem Wassereimer, der in früheren Zeiten ins Haus getragen wurde, entwickelten sich die kompliziertesten und geräuschvollen Leitungsanlagen.

Grundlegende Arbeiten auf theoretischem Gebiete haben, um zwei ältere Forscher zu nennen, Helmholtz und Hertz geleistet, in neuerer Zeit namentlich Békésy, Berger und Sabine. Heute fehlen die theoretischen Erkenntnisse nicht mehr. Die Hauptaufgabe ist vielmehr deren richtige Anwendung in der Praxis.

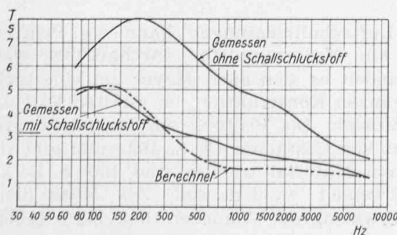
#### B. Bauakustik.

In dieses Gebiet fallen in der Hauptsache die Luftschallisolierung von Wänden und Decken, Körperschallfragen (Maschinen-Isolierungen), Trittschallisolierung von Decken, sowie geräuschlose Installation von Wasserversorgungs- und Lüftungsanlagen.

Allgemein gesagt, befasst sich die Bauakustik mit der Isolierung von Lärm durch geeignete Anordnung der Konstruktion. Hand in Hand damit muss die Lärm bekämpfung gehen. In dieser Beziehung wurde in verschiedenen Ländern schon Hervorragendes geleistet. So berichtet z. B. Séguenot<sup>2)</sup> von den Arbeiten des Touring Club de France. Wichtig ist die Erkenntnis, dass immer die stärkste Lärmquelle bekämpft werden muss, da alle schwächeren von den stärksten übertönt werden. Die Begründung liegt in dem Gesetz der Phonaddition, das Ziel

<sup>1)</sup> Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

<sup>2)</sup> Ing. L. Séguenot vom «office technique pour l'utilisation de l'acier» Paris, sprach am 5. März anstelle des verhinderten H. Reiher.



Nachhallzeiten: Abb. 11. Turnhalle, 1840 m<sup>3</sup>

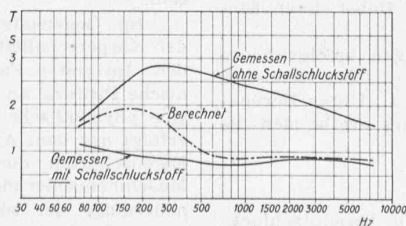


Abb. 13. Bureauaum 370 m<sup>3</sup>

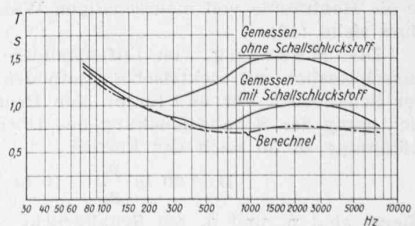


Abb. 14. Bureauaum 400 m<sup>3</sup>