

Ueber Schallmessung im Hochbau

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **107/108 (1936)**

Heft 5

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-48243>

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.

Art. 18. Schneelast. Für die Bestimmung der Schneelast wird nicht mehr die Schallersche Formel benützt, weil sie für unsere Verhältnisse nicht zuverlässigere Werte ergibt als die neue Formel, die eine einfachere, geradlinige Funktion der Meereshöhe darstellt. Es wird eingewendet, dass die neue Norm allgemein zu hohe Werte ergebe. Beim grossen Schneefall 1930 seien in Bern nur 50 bis 60 kg/m² festgestellt worden, wogegen sich nach der Vorschrift 135 kg/m² ergeben würden. Die höheren Lasten sind jedoch gerechtfertigt wegen der bedeutenden Erhöhung der zulässigen Spannungen, die die Berücksichtigung außergewöhnlicher Ereignisse erfordern.

Art. 21. Winddruck. Die Formel des Art. 21 gibt zu längeren Auseinandersetzungen Anlass, weil sie die Berechnung des Winddruckes auf eine neue Grundlage stellt. Zur Festlegung des Beiwertes c für weitere, öfters vorkommende Fälle werden z. Z. mit Hilfe der Volkswirtschaft-Stiftung im aerodynamischen Institut der E. T. H. Versuche durchgeführt. In jedem Fall ist nicht nur der Winddruck, sondern auch der Windsog, auf den vom Wind abgekehrten Flächen, zu berücksichtigen. Dies führt bei Dachstühlen zu wesentlich anderen Belastungszuständen, als sie bisher, mangels genauere Kenntnis der Windwirkung, angenommen wurden. Windbelastung auf senkrechte, dem Wind zugekehrte Wand = $(1,2 \times 1,0 - 0,4) \times 100 = 80$ kg/m² Druck. Auf die dem Wind abgekehrte Seite wirken immer $-0,4 \times 100 = 40$ kg/m² Sog, gleichgültig ob senkrechte Wand, schräges oder flaches Dach. Die Windbelastungen p_n wirken stets *senkrecht* zur Fläche.

Art. 25. Schwinden des Beton. Der Referent betont, dass dem ungleichmässigen Schwinden grösste Aufmerksamkeit zu schenken ist. Während für Eisenbeton ein Schwindmass von 0,2 mm pro m in Rechnung zu setzen ist, erhöht sich dieses für Beton ohne Stahleinlagen auf 0,4 mm. Dieses Mass gilt insbesondere auch für Teile von auf Biegung beanspruchten Eisenbetonträgern, die im Bereich der positiven Biegemomente vielfach keine Eisen enthalten, soweit rechnerisch keine Zugspannungen auftreten. Tatsächlich sollte, um der wegen der Verschiedenheit der Schwindmasse zu gewärtigenden Rissgefahr entgegen zu treten, keine Partie ganz ohne Eisen sein. Z. B. Rippendecken im mittleren Feldbereich ganz ohne obere Armierung zu lassen, ist nicht nur schlechte, sondern in gewissen Fällen geradezu gefährliche Konstruktion. Deshalb der Hinweis in Art. 97/2.

Art. 27 bis 33. Eigengewichte und Nutzlasten. Die Zusammenstellung ist den tatsächlichen Verhältnissen entsprechend erweitert worden.

Art. 35 wird zum «Kautschukartikel» gestempelt, da Absatz 2 willkürlich ausgelegt werden könne. Hier bindende Vorschriften aufzustellen, wäre indessen von grossem Nachteil; die Verordnung ist geschaffen für denkende Statiker. Die in diesem Artikel erwähnten Gebiete lassen sich unmöglich in einen starren Rahmen einzwängen.

Art. 47 bis 53. Bei diesen Artikeln werden einige Fragen der Schweissttechnik berührt; es wird speziell aufmerksam gemacht auf den ungleichmässigen Spannungsverlauf in Kehlnähten. Abweichend von anderen Vorschriften gilt als Mass für die Nahtstärke die Kathete des Schweissquerschnittes. Zwischen autogener und elektrischer Schweissung wird eine Qualitätsunterscheidung vermisst; der Referent erklärt, dass diese Frage hierfür noch zu wenig abgeklärt sei, weshalb nach Artikel 80/3 beide Schweissarten zugelassen seien.

Art 63 u. 64. Die Auffassung, dass sich diese beiden widersprechen, ist nicht zutreffend. Art. 63 wurde besonders zur Erleichterung der Berechnung jener Bauwerke angenommen, die keiner genaueren Berücksichtigung der Grenzwerte bedürfen.

Art. 102. Die hier gegebenen Näherungsformeln stützen sich auf Untersuchungen der genauen Plattentheorie, ohne indessen die Vorteile einer eingehenden Berechnung auszunützen. Insbesondere ist dem Einfluss der Drillungsmomente nicht voll Rechnung getragen. Im weiteren ist diesbezüglich nicht zu übersehen, dass der Abminderungswert gemäss Abs. 3 nur auf frei aufliegende Platten anwendbar ist, weil nach Untersuchungen von Prof. Dr. M. Ritter bereits bei normaler Kontinuität die entlastende Wirkung der Drillungsmomente nahezu verschwindet.

Art. 110. Auf den Nachweis der Zugspannungen im Beton von auf Biegung beanspruchten Trägern ist verzichtet, in der Erkenntnis, dass bei normengemässer Ausführung die allfälligen Feinrissbildungen als belanglos gelten können. Es ist deshalb nach bester Anordnung der Einlagen zu trachten, damit vollständige Umhüllung gewährleistet ist; hierauf macht Artikel 88/2 gebührend aufmerksam. Im fernern ist namentlich auch für dichtesten Beton zu sorgen, besonders für Bauten im

Freien, was mit den Bestimmungen der Art. 85 und 87 betr. Kies und Sand, bezw. Beton bezweckt ist. Für Eisenbetonteile, die reinem Zug ausgesetzt sind, ist von einer Beschränkung der Zugspannungen abgesehen, indem deren Grösse mit dem Zweck des Bauwerkes in gewissen Grenzen ändern kann.

Art. 111. Es wird geäussert, dass die Formel für p_k eigentlich anmutet, indem bei abnehmender Prismenfestigkeit $p^{\beta d}$ die Tragfähigkeit P_k zunehme und für $p^{\beta d} = 0$ unendlich gross würde. Der Referent bestätigt, dass sich die Formel auf Knickversuche der EMPA stütze. Die Prismenfestigkeit $p^{\beta d}$ muss im Nenner stehen, weil mit abnehmender Festigkeit, d. h. mit zunehmender Verformungsfähigkeit des Betons der Einfluss der Längseisen, wie auch namentlich der Umschnürungen, zunimmt. Insbesondere ist zu beachten, dass bis $\lambda_k = 35$ die volle Wirkung der Umschnürungen zur Geltung kommt, dann aber bis $\lambda_k = 70$ stetig verschwindet; für grössere Schlankheitsgrade besitzt eine umschnürte Säule also kein höheres Tragvermögen als eine nicht umschnürte mit gleichem Aufwand an Längseisen. Die Tragfähigkeit einer Stütze aus hochwertigerem Beton ist deswegen gleichwohl grösser als für eine solche aus weniger festem Beton. Hinsichtlich des Nachweises der schrägen Hauptzugspannungen ist zu beachten, dass sich die nach Abs. 3 einzuhaltenen Grenzwerte auf die Ermittlung von $\tau = \frac{Q \cdot S}{J \cdot b}$ für den reinen Betonquerschnitt beziehen, somit für rechteckige Querschnitte mit $\tau = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot h}$ zu rechnen ist.

Art. 112. Für Torsionsspannungen enthalten die Vorschriften keine Angaben, weil diese besonders im Eisenbeton noch besser abgeklärt werden müssen. Vorläufig empfiehlt es sich, die zulässigen Torsionsspannungen gleich den zulässigen Schubspannungen zu setzen.

Art. 116. Gleichmässige Ergebnisse der auf dem Platz durchgeführten Siebproben bieten eine gute Gewähr für gleichmässige Kiessand-Anlieferungen und gleichmässigen Beton im fertigen Mauerwerk, gleichbleibender Gehalt an Anmachwasser und Zement vorausgesetzt.

Art. 120. Mit Abs. 2 soll bezweckt werden, dass nach Abs. 1 nicht zulässige Kaltabbiegen auf den Bauplätzen möglichst zu unterbinden. Die verlangten Ausweise sind nicht als Materialprobe im eigentlichen Sinne aufzufassen, sondern als Mittel, um entweder die Zulässigkeit des immer unzuverlässigen Kaltabbiegens auf jene Fälle zu beschränken, in denen dabei kein Anreissen der Endhaken auf der Innenseite zu befürchten ist, oder allenfalls das Kaltabbiegen ganz zu verbieten.

Art. 123. Die Ausschaltungsfristen sind im allgemeinen nicht zu lang vorgeschrieben, jedoch hat es der Ingenieur in der Hand, diese zu verkürzen, wenn die 2½fache Sicherheit für die im Augenblick des Ausrüstens auftretenden Belastungen nachgewiesen werden kann.

Art. 128. Die Bauherrschaften sollten mehr dazu angehalten werden, Belastungsproben durchführen zu lassen. Der Ingenieur soll sich alsdann aber auf das nur absolut Wichtige beschränken, um die Kosten nicht unnützlich zu erhöhen. Auch müssen genaue systematische Messungen angestellt werden, um sich vor Trugschlüssen zu sichern.

Allgemein wird in der Versammlung betont, dass die neuen Vorschriften keinen grossen praktischen Wert haben, wenn nicht dafür gesorgt wird, dass ihnen in der Praxis Nachachtung verschafft wird. Die Errichtung von Prüfämtern mit technisch ausreichend gebildeten Organen wird verlangt. A. F.

Ueber Schallmessung im Hochbau.

Von Dipl. Ing. W. Pfeiffer, Winterthur.

In Anbetracht der Bedeutung der Schallisolation im Hochbau bringen wir hier einen weitem Beitrag zu dem am Beispiel des Hauses H. Roth (in Nr. 2) behandelten Thema. Ein drittes Objekt und Verfahren an einem Basler Miethausblock in Stahlskelettbauweise wird folgen. Red.

Auf dem Gebiete des Hochbaues ist heute ein richtiger Schallschutz von grosser Bedeutung, und die Technik beschäftigt sich lebhaft damit. Eine Unmenge von Vorschlägen über Isolierungsmassnahmen werden gebracht. Die wenigsten aber sind brauchbar, weil oft das Interesse, möglichst viel Isoliermaterial zu verkaufen, grösser ist als das Bestreben, mit möglichst kleinem Aufwand möglichst gut zu isolieren.

Um diesen zweiten Weg gehen zu können, muss man die Schallmessung zu Hilfe nehmen. Nur sie ermöglicht, von Fall zu Fall das Richtige zu finden und nachzuprüfen, ob eine durchgeführte Isolierung auch wirklich hält, was man sich von ihr versprochen. Da beim Schall sehr viele Nebenumstände starken Einfluss haben, muss die Messung am Bauwerk selbst erfolgen

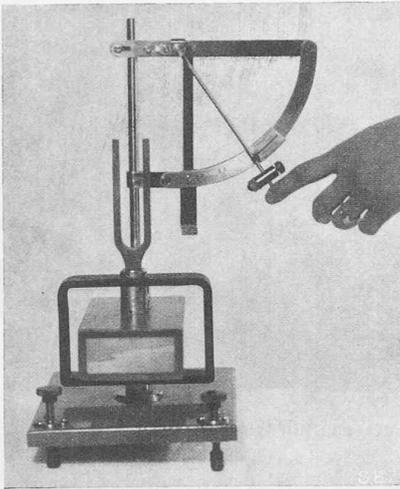


Abb. 1. Stimmgabel-Fallhammer.

Laboratoriummessungen dienen nur zur Abklärung gewisser prinzipieller Zusammenhänge. Dabei wird sich die Messung im Hochbau hauptsächlich auf zwei Schallvorkommen beschränken können: Luftschall durch Wände, und Körperschall, z. B. von Schritten, durch Böden hindurch.

Unter den zahlreichen Messmethoden eignet sich für diese eng umschriebene Aufgabe in ausgezeichneter Weise das Reizschwellen-Verfahren. Luftschall wird mit dem Stimmgabelfallhammer nach Abb. 1, Körperschall mit dem Stampfgerät nach Abb. 2 gemessen. Grundlegendes über das Verfahren enthalten die am Schlusse dieses Aufsatzes angeführten Quellen 1, 6, 7 u. 8. Besondere Verdienste um die praktische Anwendung haben sich Ottenstein und Doorentz erworben; der Verfasser hat seine eigenen Versuche auf den erwähnten Arbeiten aufgebaut. Im Folgenden wird das Verfahren beschrieben, und es sollen dabei einige wichtige grundsätzliche Zusammenhänge abgeklärt werden, denen man bis heute meist zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt hat.

Messung von Luftschall.

Grundlage ist der Begriff der «Reizschwelle». Man versteht darunter diejenige physikalische Schallenergie, die es braucht, um den Stimmgabelton in 2 m Entfernung vom Instrument gerade noch zu hören. Dazu wird bei einem guten Ohr bei vollständiger Stille ein Ausschlagwinkel von etwa 5° notwendig sein, während z. B. ein mittel-schwerhöriges Ohr den Ton erst bei 20° wahrnimmt. Mit Hülfe der Reizschwelle R gelingt es in eindeutiger Weise, den Zusammenhang zwischen den physikalischen Schallstärken und jenen, die das Ohr empfindet — den physiologischen — herzustellen. Gleichzeitig werden aber bei der Bestimmung der Reizschwelle auch die raumakustischen Verhältnisse mitberücksichtigt, was ausserordentlich wichtig ist. Im stark dämpfenden Raum ist zur Erzeugung der Reizschwellenenergie ein grösserer Fallwinkel am Stimmgabelhammer nötig, als im stark hallenden Raum. Bei elektrischen Messungen muss die Raumakustik durch ein besonderes Korrektionsglied mitberücksichtigt werden, das von Raumgrösse und Absorption abhängig ist (Quelle 4). Schalleindrücke werden vom Ohr nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz wahrgenommen. Es ist die Lautheit $L = 10 \lg \frac{E}{E_0}$, worin E die physikalische Schallstärke des betreffenden Tones, E_0 seine physikalische Reizschwellenstärke bedeutet (Quelle 4).

Die physikalische Schallstärke ihrerseits ist nun eine Funktion der Fallhöhe des Hammers am Stimmgabelapparat. Während aber Ottenstein und Doorentz die Fallhöhe des Hammers der physikalischen Schallenergie proportional setzen (Quellen 6 u. 1),

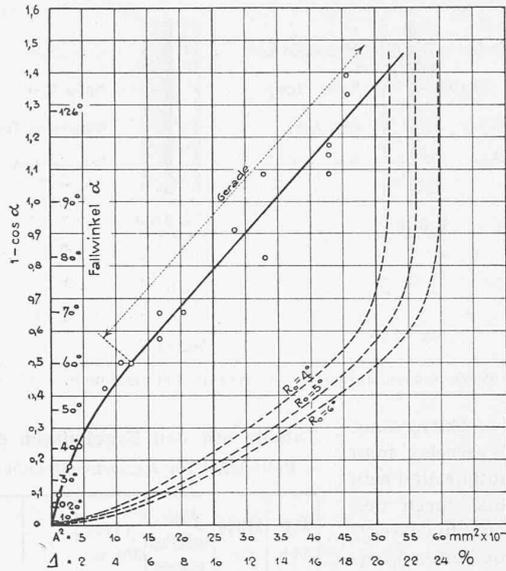


Abb. 3. Zusammenhang zwischen Fallhöhe und Amplitude der Stimmgabel am Stimmgabelfallhammer. Gestrichelt: Prozentualer Unterschied Δ der Lautheiten L_p (Pfeiffer) und L_0 (Ottenstein)

$$\left(\Delta = \frac{L_p - L_0}{L_0} \cdot 100 \right) \text{ in Funktion der Fallhöhe bei verschiedenen Reizschwellen } R_0.$$

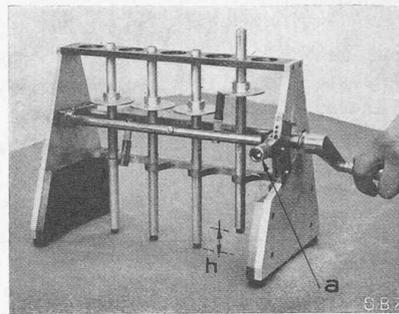


Abb. 2. Stampfgerät. a Stift zum Verstellen der Fallhöhe h.

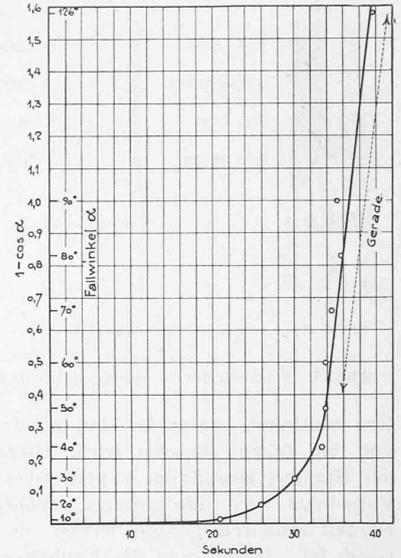


Abb. 4. Tondauer bis zur Erreichung der Reizschwelle für versch. Fallwinkel.

hat der Verfasser diese Verhältnisse noch näher untersucht.¹⁾ Durch Beobachtung der Stimmgabelamplituden A unter einem Mikroskop wurde die Kurve Abb. 3 gefunden. Trotz der sehr kleinen Ausschläge — etwa $\frac{1}{100}$ mm bei 90° und $\frac{1}{100}$ mm bei 20° — gelang es gut, die Ablesungen auszuführen. Es zeigt sich deutlich, dass bei kleinen Fallwinkeln kein linearer Zusammenhang zwischen Schallenergie und Fallhöhe besteht, sondern erst von etwa 60° an. Die Erklärung hierfür liegt darin, dass von diesem Fallwinkel an die Gummispitze des Hämmerchens sich offenbar immer gleich stark zusammendrückt. Diese Ansicht findet

sich noch durch ein anderes Verhalten bestätigt. Da nämlich am Mikroskop die Ablesung erst 3 sec nach dem Anschlagen mit Sicherheit erfolgen konnte, musste die Zeit bestimmt werden, in der der Ton, vom Anschlagen an gerechnet, bis auf die Reizschwelle abklingt. Die betreffenden Verhältnisse sind in Abb. 4 dargestellt. Es zeigt sich, dass auch hier bei etwa 60° Linearität eintritt. Macht man etwa den Ansatz für die physiologische Schallstärke $L = 10 \lg \frac{E}{E_0}$ und legt man einmal das Gesetz Ottenstein, das andere Mal die Kurve der Abb. 3 zu Grunde, so ergeben sich auf Grund unserer Messungen Lautheiten, die bei einer Reizschwelle von 4° maximal 21% grösser sind, bei einer Reizschwelle von 6° 24%; bei noch höheren Reizschwellen würde der Unterschied noch grösser, jedoch handelt es sich dann nicht mehr um normales Gehör. Da elektrische Messungen die Messwerte in «Phon» angeben, ist es erwünscht, die Resultate der Stimmgabelmessung mit diesen direkt vergleichen zu können. Wenn für einen bestimmten Stimmgabelfallhammer der Zusammenhang zwischen Fallhöhe des Hammers und Amplitude A experimentell bestimmt ist, kann die Umrechnung etwa nach dem Ansatz erfolgen: $L (\text{Phon}) = k \lg (10 A)$. Der zehnfache Wert von A wird verwendet, um negative Logarithmen zu vermeiden. Es scheint heute jedoch noch verfrüht, solche Umrechnungswerte zu veröffentlichen, bevor nicht eine einheitliche Normierung sowohl der elektrischen als der Reizschwellen-Messinstrumente allgemein erfolgt ist.

Nach Festlegung des besprochenen Zusammenhanges ist es nun in einfachster Weise möglich, den Luftschalldurchlass durch einen Bauteil zu finden. Es wird die Reizschwelle R_0 des Beobach-

¹⁾ Diese Untersuchungen wurden im physikalischen Institut des Technikums Winterthur, unter freundlicher Mitwirkung von Prof. G. Frauenfelder durchgeführt.

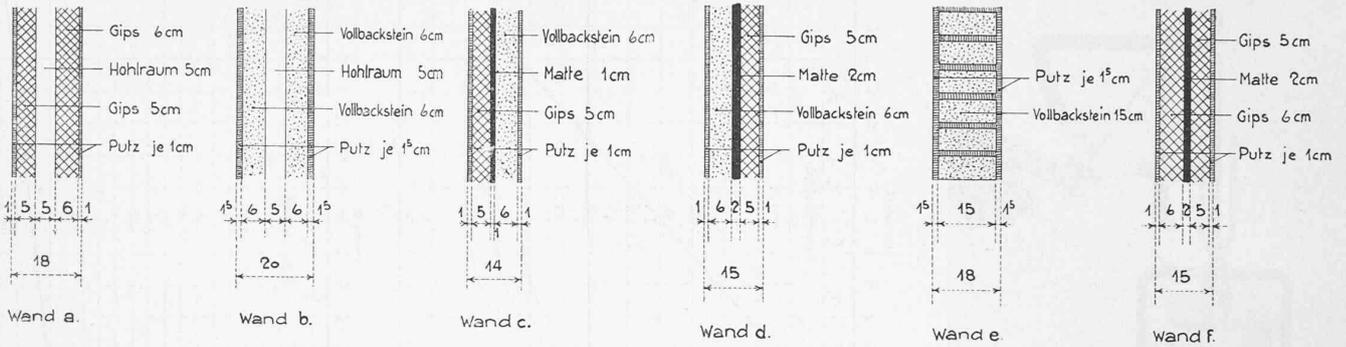


Abb. 5. Schnitte der in einem Spital in der Westschweiz untersuchten Wandkonstruktionen.

ters bestimmt, indem der Hammer in 2 m Entfernung von ihm fallen gelassen wird. Hierauf versetzt man den Hammer jenseits des zu prüfenden Bauteils und sein Fallwinkel wird nun solange erhöht, bis durch den Bauteil hindurch gerade wieder die Reizschwelle erreicht ist. Indem man die Fallhöhen von unten kommend fortwährend vergrößert oder umgekehrt von oben her verkleinert, ist es möglich, sich auf Gradgenauigkeit einzuschneiden. Da der Hörer nicht weiss, welche Winkel eingestellt werden, ist das Verfahren jeglicher subjektiven Beeinflussung entzogen. Das ist wichtig, weil gerade bei Sinneseindrücken das psychologische Moment eine grosse Rolle spielt.

Die Luftschallmessung sei an einem Beispiel gezeigt. Für ein Spital der Westschweiz war die als Zimmertrennwand geeignetste Konstruktion zu finden. Es wurden sechs Probewände eingebaut mit genau gleichen Randbedingungen (hierauf ist zu achten, wenn ein klarer Vergleich gewonnen werden soll); die verschiedenen Typen zeigt Abb. 5, die Messergebnisse die Tabelle. Der Schallwiderstand S ist einmal nach der Methode Doorentz (Index D) als Verhältnis der Fallhöhen, das andere Mal nach der vom Verfasser zu Grunde gelegten Kurve (Index P) als Verhältnis der A^2 berechnet. Zur Bewertung der Wände wurde in den letzten Kolonnen ausgerechnet, wieviel eine Wand zur Erreichung der S-Einheit gekostet hat, bzw. wie schwer sie ist. Die Qualitäts-Rangfolge der verschiedenen Konstruktionen ergibt sich nach beiden Methoden gleich, dagegen zeigt sich eine starke Verschiebung der Werte.

Da, wie erwähnt, die Randbedingungen einen grossen Einfluss haben, ferner Materialeigenschaften und Art der Herstellung der Wand, kann aus einem für einen bestimmten Fall gewonnenen Ergebnis kein allgemein gültiges Urteil gezogen werden. Für Fälle von Bedeutung ist die Messung immer wieder neu durchzuführen, um alle lokalen Faktoren mitberücksichtigen zu können.

Messung von Körperschall.

Die Verhältnisse liegen hier verwickelter als beim Luftschall. Vor allem gelingt es nicht, eine Reizschwelle für Trittschall festzulegen; wir müssen diejenige für Luftschall zu Hilfe nehmen. Doorentz misst nun Geräusche beliebiger Art dadurch, dass er die Reizschwelle am Stimmgabelfallhammer bestimmt, einmal bei vollkommener Stille (R_0), dann unter Einwirkung des zu messenden Geräusches (R). Den Wert $\frac{R}{R_0}$ nimmt er als Mass für die Geräuschstärke. Der Verfasser kann sich dieser Ansicht nicht anschliessen. Wohl gelingt es für ein Geräusch, das seinem Aufbau nach immer gleich ist (wie z. B. Trittschall durch eine Decke), gewisse Unterschiede in der Schallstärke zu messen. Das Verfahren ist aber unsicher, da der Stimmgabelton sich leicht aus dem Trittschall heraushebt. Es handelt sich hier um Verdeckungserscheinungen, worüber Näheres in Quellen 3 und 5 zu finden ist. Durch zahlreiche praktische Messungen an Bauwerken gewann der Verfasser den Eindruck, dass sich bei den kleinen Schallstärken, wie sie bei Trittschall entstehen, Unterschiede in der Isolierfähigkeit zu wenig scharf erfassen lassen. Auch folgender kleiner Versuch zeigt die Unsicherheit in der Verdeckung. Wassertropfen, die in Zeitabständen von

Tabelle mit den Ergebnissen der Luftschallmessungen.

α_0 Fallwinkel für Reizschwellenhöhe R_0 , α Fallwinkel für Reizschwellenhöhe R .

Wand Abb.	Stärke cm	Angenähertes Gewicht	Preis Fr./m ²	α_0	α	Prozentualer Luftschalldurchlass		Schallwiderstand		Fr./S _D	kg/S _D
						$\frac{R_0 \times 100}{R}$	$\frac{A_0^2 \times 100}{A^2}$	$S_D = \frac{R}{R_0}$	$S_P = \frac{A^2}{A_0^2}$		
5 a	18	120	15,00	3 1/2	37	0,97	0,62	106	162	0,14	1,12
5 b	20	230	20,40	3 1/2	37	0,97	0,62	106	162	0,09	0,68
5 c	14	190	19,50	3 1/2	24	2,20	1,80	45	61	0,19	2,17
5 d	15	190	22,00	3 1/2	31	1,33	0,97	75	103	0,13	1,42
5 e	18	275	17,50	3 1/2	49	0,55	0,28	181	355	0,43	4,22
5 f	15	125	19,50	3 1/2	67	0,31	0,11	321	919	0,32	3,12
										0,29	2,54
										0,21	1,85
										0,10	1,53
										0,05	0,78
										0,06	0,39
										0,14	0,14

1/2 sec aus 50 cm Höhe in ein Wasserbecken fielen — ein erfahrungsgemäss sehr schwaches Geräusch — bewirkten eine Erhöhung der Reizschwelle von 5 auf 12°, während ein Mikrophonon auf mittlerer Gesprächstärke nur eine Erhöhung auf 7° brachte.

Genau und einwandfrei lässt sich dagegen nach der Methode des Verfassers mit dem Stampfgerät messen (Abb. 2). Die Bauart entspricht dem Gerät, das Doorentz entwickelt hat, jedoch mit der wesentlichen Abänderung, dass die Fallhöhe h der KÖlbchen durch Verschiebung des Hebels a verändert werden kann. Es wird nun diejenige Fallhöhe h bestimmt, für die das Pochen im Raum unter der zu untersuchenden Decke eben noch gehört wird. Auch hier ist, wie bei Luftschallmessungen, eine genaue Messung möglich und die psychologische Unabhängigkeit gewahrt.

Zunächst war nun zu untersuchen, ob das Resultat beeinflusst wird, wenn Einzelschläge oder Serienschläge ausgeführt werden. Um vom Gewicht der KÖlbchen unabhängig zu sein (siehe weiter unten), werden jeweiligen die Fallenergien, d. h. Gewicht mal Fallhöhe, in Rechnung gestellt. Die Serienschläge erfolgen im 4-Takt mit etwa 360 Schlägen pro min. Die nachfolgende Tabelle gibt Aufschluss über einige durchgeführte Messungen:

Art der Decke	Art der Schläge	R_0	h cm	G g	$[G \cdot h]$	Abminderung durch Serie
1. Massivplatte, Presskork, Teppich . . .	einzel	5°	1,40	48	67,0	2,6-fach
	Serie		0,55	48	26,0	
2. Hohlkörperdecke, Hoferboden, Linoleum	einzel	6°	1,25	48	60,0	2,3-fach
	Serie		0,55	48	26,5	
3. gleich wie 2, jedoch mit Teppich	einzel	6°	2,30	48	112	1,9-fach
	Serie		1,25	48	60	
4. Hohlkörperdecke, Gipsestrich, Linoleum	einzel	5°	0,9	48	43,5	3,0-fach
	Serie		0,3	48	14,6	

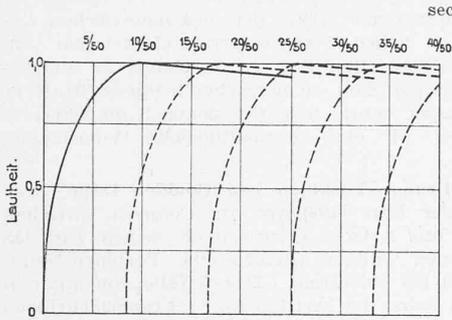


Abb. 6. Zunahme der Lautheit eines Tones vom Erklingen an gerechnet. Aus «Siemens Zeitschrift», Mai 1935.

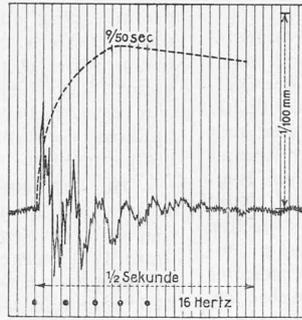


Abb. 7. Schwingungsbild einer Pilzdecke, 12 cm stark. Spannweite 3,75/3,25 m, Kugelfall in Feldmitte. Aus dem Laboratorium für Baustatik der E. T. H.

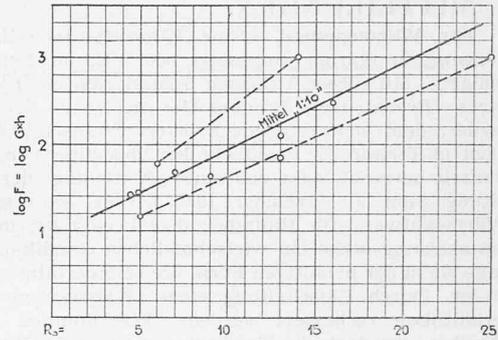


Abb. 8. Zusammenhang zwischen Reizschwelle und Fallenergie beim Stampfgerät.

Daraus zeigt sich deutlich, dass Einzelschläge ein viel zu gutes Bild von der Decke geben. Dass dies so sein muss, kann man sich leicht erklären, wenn man Abb. 6 betrachtet. Die ausgezogene Linie zeigt, dass ein konstanter Dauerton vom menschlichen Ohr erst nach $\frac{9}{50}$ sec auf grösster Stärke gehört wird. Nun haben Decken im Hochbau Schwingungszahlen von 20 bis etwa 80 Hertz. Die erste Schwingung, die fast allein für Schallsendung in Betracht kommt, ist also längst vorbei, wenn das Ohr nach $\frac{9}{50}$ sec die grösste Schallwahrnehmung aufnehmen würde. Zur Illustration diene Abb. 7; die Decke schwingt mit etwa 16 Hertz. Zum Vergleich ist die Empfindungskurve gemäss Abb. 6 eingetragen.

Wir müssen also durch Serienschläge dafür sorgen, dass die Decke dauernd in Schwingung bleibt und dauernd Schall sendet. Dies ist in Abb. 6 durch gestrichelte Linien angedeutet. Bei Einzelschlägen misst man im ansteigenden Ast der Schallempfindungskurve. Messungen mit dem sog. Pochvariator geben deshalb zu günstige, und namentlich ganz unsichere Werte.

Eine weitere Untersuchung betraf den Einfluss der Kolbengewichte auf das Messresultat. Doorentz hat schon den Zusammenhang für fallende Kugeln bestimmt (siehe Quelle 1). Aehnliche Verhältnisse fand der Verfasser mit dem Stampfgerät. Hier darf angenommen werden, dass die Fallenergie für eine gewisse Decke und Reizschwelle konstant bleibt. Es bleibt sich praktisch gleich, ob mit leichteren oder schwereren Kölbchen gemessen wird; normalerweise wird ein Kölbchen von 48 g genügen. Eine Fallhöhe von 2 mm entspricht dabei einer schalltechnisch ganz schlechten Decke, eine Höhe von 38 mm einer guten. Durch Einlegen von Zusatzgewichten kann das Kölbchengewicht auf 77 g gebracht werden. Eine Fallenergie von $77 \cdot 3,8 = 292$ cmg entspricht dabei einer gegen Trittschall sehr gut isolierten Decke. Das sind einfache, klare Massstäbe für die Trittschallisolierung. Einzig Beobachter mit abnormal hoher Reizschwelle werden auf höhere Fallenergien kommen. Hierfür kann ein zweiter, schwererer Kolbensatz eingesetzt werden.

Eine dritte, sehr wichtige Untersuchung bezog sich auf den Zusammenhang zwischen Reizschwelle und Fallenergie. Dieser Zusammenhang muss bekannt sein, wenn Messresultate von Beobachtern mit verschiedenen hohen Reizschwellen miteinander verglichen werden sollen. In Abb. 8 sind die Ergebnisse einiger Messungen dargestellt. Es zeigt sich, dass der Zuwachs des Logarithmus der Fallenergie zum Zuwachs des Reizschwellenwinkels mit genügender Genauigkeit im Verhältnis zu 1 : 10 steht. Die Messungen wurden teilweise mit Normalhörigen, teilweise mit künstlich verstopften Ohren, die obersten Punkte mit natürlich Schwerhörigen durchgeführt. Soll beispielsweise die Fallenergie der unten folgenden Tabelle, die bei $R_0 = 13^\circ$ 69 cmg betrug, auf die Reizschwelle 6° umgerechnet werden, so bestimmt man

$$\begin{aligned} \lg 69 &= 1,839 \\ \text{reduziert um } \frac{13-6}{10} &= 0,700 \\ \lg F_6 &= 1,139 \quad F_6 = 13,8 \text{ cmg} \end{aligned}$$

Normalerweise wird es sich allerdings nur um Vergleiche zwischen 4 bis 6° handeln, entsprechend einem normalen Gehör.

Die Fallenergie F ist also ein Mass für die Isolierung der Decke gegen Trittschall. Jene Decke ist die günstigste, die pro F -Einheit am wenigsten gekostet hat. Es wurde z. B. gefunden:

Decke	R_0	G	h	F	F_6	Kosten	
						pro m ²	pro F
massiv 14 cm stark Presskork, Linoleum	13 ^o	49	1,40	69	13,8	25,00	1,80
Hohlkörper, schwimmender Belag, Linoleum	6 ^o	49	0,55	27	27	31,00	1,15

Die zweite Decke ist also schalltechnisch vorzuziehen. Das ergäbe sich natürlich auch, wenn der F -Wert der zweiten Decke auf die Reizschwelle 13° umgerechnet würde. Um jedoch verschiedene Messungen miteinander vergleichen zu können, empfiehlt es sich, die Messresultate auf die Einheitsschwelle 6° umzurechnen.

Werden solche Messungen schon für die Rohdecke durchgeführt, so kann der Isolierwert des Belages allein gefunden werden, was unter Umständen wünschenswert ist.

Neben der Untersuchung mit dem Stampfgerät erfolgt noch eine Prüfung mit einer rollenden, 100 g schweren Gummikugel. Durch diese Kugel, die man von einem Einheitskeil abrollen lässt, wird die Decke gleichfalls dauernd in Schwingung versetzt. Es entsteht ein ähnliches Geräusch wie beim Stampfgerät, die Prüfung ist jedoch rein subjektiv.

Auch Prüfungen mit sehr kleinen Stahlkugeln von 1 bis 3 g Gewicht werden hie und da durchgeführt. Sie geben jedoch kein wirkliches Bild vom praktischen Verhalten der Decke. Einmal gilt das oben über Einzelschläge Gesagte. Dann wird vor allem durch solche kleine Gewichte nur eine Oberschwingung der Decke angeregt, die unter Umständen nur lokal um den Auffallpunkt begrenzt sein kann. Es ist dies leicht aus dem hellen, sehr hohen Ton zu beurteilen, der unter der Decke durch den Kugelfall erzeugt wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Reizschwellen-Messverfahren unter Beachtung der beschriebenen besonderen Eigenschaften sich vorzüglich für Messungen am Bau eignet. Die Messinstrumente sind billig und die Messmethode ist einfach. Dies ermöglicht ohne grosse Kosten, oft und an möglichst vielen Bauwerken zu messen. Die einfachen, leicht zu überblickenden Verhältnisse im Aufbau der Messung gestatten zudem jedem, der an einer Messung interessiert ist, sich selbst Rechenschaft über das wirkliche Schallverhalten der Bauteile zu geben. Dadurch lernt der Fabrikant und Lieferant von Schallisierungsmaterialien schalltechnisch richtig denken, der bauleitende Architekt ist in der Lage, für die angebotenen Materialien bestimmte Garantien zu verlangen und der Bauherr erhält für das Geld, das er für Schallisierungen auslegt, grösstmöglichen Gegenwert.

Quellenverzeichnis :

1. R. Doorentz (Leipzig) : «Beitrag zur Beurteilung der Ausführung von Schallisierungen in Gebäuden» («Stahlbau» 1930).
2. «Vom wirtschaftlichen Bauen», 5. Folge.
3. Dr. F. Weisbach : «Bauakustik» (Verlag Jul. Springer, Berlin 1913).
4. Dr. Ing. Reiher : «Ueber den Schallschutz durch Baukonstruktionsteile» (Verlag Oldenbourg, Berlin 1932).
5. «Siemens-Zeitschrift», Bd. 15, Nr. 5, Mai 1935.
6. Dr. R. Ottenstein : «Ueber den Schutz gegen Schall und Erschütterungen» (Verlag Oldenbourg, München 1915).
7. «Vom wirtschaftlichen Bauen», 13. Folge.
8. Fechner : «Lehrbuch der Physik», 1870.
9. R. Doorentz, B. Löser und E. Bornemann : «Schall- und Erschütterungsschutz für Hochbauten», Wilhelm Ernst Sohn, Berlin 1935.