

Neue Untersuchungen zum Messverfahren zur Simulation haustechnischer Benutzungsgeräusche mit dem Pendelfallhammer gemäss Schweizer Norm SIA 181 "Schallschutz im Hochbau"

Kurt Eggenschwiler, Vincent Sperdin und Stefan Schoenwald

Empa, Abteilung Akustik/Lärminderung, CH-8600 Dübendorf (Schweiz) Email: kurt.eggenschwiler@empa.ch

Einleitung

In der Schweizer Norm SIA 181:2006 "Schallschutz im Hochbau" [1] sind Beurteilungsverfahren und Anforderungen für **Benutzungsgeräusche** festgelegt. Unter Benutzungsgeräusch versteht man in der SIA 181 ein *Geräusch haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude, dessen Intensität und zeitlicher Ablauf weitgehend von der Art der Benutzung abhängig ist*. Beispiele sind Nutzen von Dusche und Badewanne, Fallenlassen von Klosettsitz, Backofenklappen manuell betätigen. Wegen der schlechten Reproduzierbarkeit bei manueller Anregung wurde im Jahr 2006 für eine Auswahl solcher Geräusche ein neues Simulationsverfahren mit dem **Empa-Pendelfallhammer** [2] in die Norm aufgenommen, z.B. für Badewanne, Duschwanne und WC.

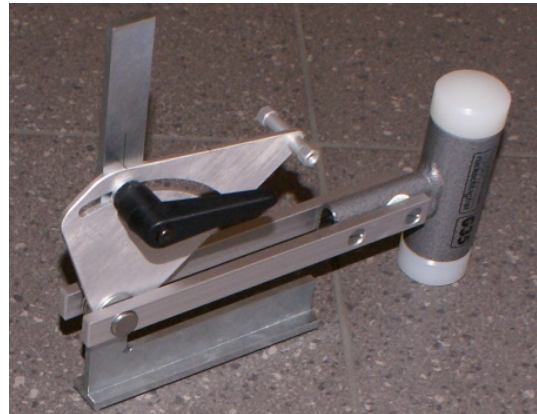
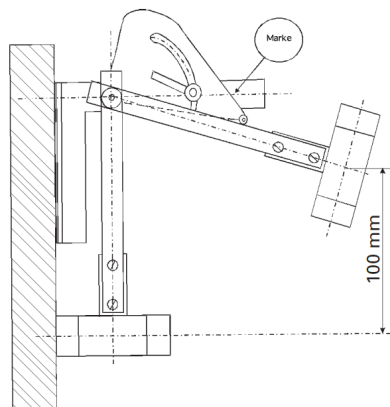
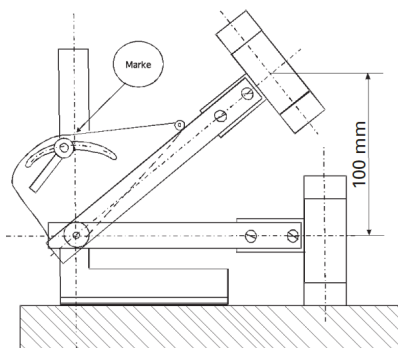


Abbildung 2: Empa-Pendelfallhammer



Fallhammer an senkrechter Fläche
(Horizontalschlag)



Fallhammer auf waagrechter Fläche
(Vertikalschlag)

Abbildung 1: Empa-Pendelfallhammer für die Anregung auf senkrechter und waagrechter Fläche. Quelle: SIA 181 [1].

Trotz der allgemein nicht bezweifelt grundsätzlichen Vorteile des Messverfahrens mit dem Pendelfallhammer tauchten in den letzten Jahren verschiedene Fragen auf. Sie wurden zum Teil in Publikationen und Vorträgen diskutiert [3] - [9] oder gelangten direkt zur Normkommission NK SIA 181. Im Rahmen der aktuellen laufenden Revision der SIA 181 wurden die Fragen in einem Projekt der Empa aufgegriffen.

Der Pendelfallhammer gemäss SIA 181

Für Benutzungsgeräusche muss gemäss SIA 181 der Gesamtwert $L_{H,tot}$ abhängig von der Stufe der Lärmempfindlichkeit des Empfangsraums die in Tabelle 1 dargestellten Anforderungswerte L_H einhalten. $L_{H,tot}$ wird dort ermittelt, wo sich normalerweise Personen aufhalten, und zwar als Summe des A-bewerteten mit der Zeitkonstante FAST gemessenen Maximalpegels $L_{A,F}$, der Pegelkorrektur K_1 für die Schallabsorption im Empfangsraum, K_4 für die Pegelkorrektur bei Messungen mit dem Pendelfallhammer und C_V , einem Korrekturwert zur Berücksichtigung von Volumen grösser als 200 m^3 des Empfangsraums:

$$L_{H,tot} = L_{A,F} + K_1 + K_4 + C_V \quad [\text{dB(A)}] \quad (1)$$

Die Pegelkorrektur K_1 beträgt abhängig von der absorbierenden Ausstattung des Empfangsraums: 0 für starke, -2 für geringe und -4 ohne Absorption. Für Messungen mit dem Pendelfallhammer ist die Pegelkorrektur K_4 in Tabelle 12 der Norm abhängig vom Bauteil angegeben. Sonst wird $K_4 = 0$ gesetzt. Schliesslich ist $C_V = 0$ für $V < 200 \text{ m}^3$.

Tabelle 1: Mindestanforderungen der SIA 181:2006 für Benutzungsgeräusche. Für die erhöhten Anforderungen gelten die um 3 dB verringerten Werte.

Lärmempfindlichkeit	L_H
gering: Räume für vorwiegend manuelle Tätigkeit; Räume, welche von vielen Personen oder nur kurzzeitig benützt werden.	43
mittel: Räume für Wohnen, Schlafen und für geistige Arbeiten.	38
hoch: Räume für Nutzer mit besonders hohem Ruhebedürfnis.	33

Problemkreise

Originalgeräusche: Es ist seltsam, dass in der SIA 181:2006 die Geräuscherzeugung mit dem Pendelfallhammer nur *vorzugsweise* vorgenommen werden muss. Es darf also auch mit den eigentlichen Benutzungsgeräuschen, also den Originalgeräuschen angeregt werden. Allerdings fehlt zum Teil eine Beschreibung des Originalgeräusches bzw. eine Anleitung wie manuell angeregt werden muss.

Pegelkorrektur K_4 : Von verschiedener Seite wurde die Höhe der Pegelkorrektur K_4 in Frage gestellt. Aus dem Vergleich des Pendelfallhammers mit dem Körperschallgeräuschnormal KGN [5] und Messungen im Rahmen eines COST-Projektes [9] zeigte sich, dass in bestimmten Fällen die Einhaltung der Anforderungen der SIA 181:2006 schwierig ist, was auf zu geringe Pegelkorrekturen K_4 hindeuten könnte. Weitere Untersuchungen liegen allerdings nicht vor.

Luftschall: Der Pendelfallhammer wird als Körperschallquelle verstanden. Es wurde bemängelt, dass der bei der Anregung mit dem Pendelfallhammer vom untersuchten Bauteil erzeugte und in den Empfangsraum abgestrahlte Luftschall zu hoch sei und je nach baulicher Situation das Messergebnis verfälschen könne [6]- [8].

Reproduzierbarkeit / Messunsicherheit: Die gute Reproduzierbarkeit der Messung mit dem Pendelfallhammer ist seine Existenzberechtigung. Messergebnisse bei Badewannen zeigten aber eine grosse Streuung. Jedenfalls ist das Messverfahren in der Norm zu wenig ausführlich beschrieben. Zudem fehlen Angaben zur Messunsicherheit.

Qualitätssicherung: Der Pendelfallhammer wird bisher nur von der Empa hergestellt und verkauft. Dabei wird er auf seine Funktionsweise getestet, es werden aber keine vibroakustische Messungen zur Spezifikation durchgeführt und es wird kein Zertifikat erstellt. Es ist auch nirgends ein Messverfahren beschrieben, mit dem der Pendelfallhammer periodisch auf seine Funktionsfähigkeit untersucht werden könnte.

Überblick zu den Untersuchungen

Im Projekt der Empa zum Pendelfallhammer wurden nach einem Überblick zur aktuellen Literatur die noch auffindbaren Dokumente, Messdaten und Protokolle gesichtet und bewertet, welche im Rahmen der Festlegung des Pendelfallhammer-Messverfahrens erstellt worden waren. Nach einer systematisch durchgeführten Online-Umfrage bei den Anwendern von Pendelfallhämmern folgte eine Problemanalyse. Darauf wurden in den Labors der Empa, der Firmen Geberit und Schmidlin sowie in sieben Bauten Messungen vorgenommen. Es wurden mit dem Pendelfallhammer die folgenden Bauteile an einer grösseren Anzahl von Punkten angeregt (in situ in Küchen, Bad und WC): Badewanne, Dusche, WC, Lavabo (Waschbecken), Abstellflächen und Schränke. Weiter wurde die Anregung mit verschiedenen Originalgeräuschen (Wassergerausche, Klopfen, usw.) und z.T. mit dem Körperschall-Geräuschnormal KGN [10] vorgenommen. Bei allen Situationen wurde auch die Luftschalldämmung ermittelt. Um den Einfluss des Luftschalls untersuchen zu können, wurde im Labor zudem ein Versuch mit einer Badewanne durchgeführt.

Ergebnissen der Umfrage

Es wurden 69 Personen für die Umfrage angeschrieben, von denen 86% teilnahmen und 61% den Fragebogen abschlossen. Es zeigte sich, dass der Pendelfallhammer mehrheitlich nicht grundsätzlich in Frage gestellt wird. Es wurde die Tauglichkeit des aktuellen Verfahrens aber vielfach in Frage gestellt und es zeigte sich, dass die Norm in verschiedenen Aspekten unterschiedlich interpretiert wird. Zu den geäusserten Bedenken zum Messverfahren wurden allerdings nur in einem Fall dokumentierte technische Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

Originalgeräusch - Pegelkorrektur K_4

Da die Festlegung der Pegelkorrekturen K_4 in der Norm SIA 181:2006 heute nicht mehr ganz nachvollziehbar ist, erschien es sinnvoll, mit einer Reihe von Originalgeräuschen im Vergleich zum Pendelfallhammer erneut Messungen durchzuführen. Für Badewanne und Duschen wurden die folgenden Originalgeräusche untersucht: Fallenlassen unterschiedlicher Shampoo-Flaschen; Fallenlassen des Duschkopfs; Quietschen der Haut auf der nassen Oberfläche; Duschen: Wasser aus Brausekopf laufen lassen und Verwendung des Körperschall-Geräuschnormals; Klopfgeräusche mit den Fingerknöcheln; Ellbogen, Knie; Anschlagen des Brauseschlauchs.

Erwartungsgemäss zeigten sich bei den Originalgeräuschen eine grosse Streuung der im Empfangsraum gemessenen Maximalpegel. Die Ergebnisse der Studie können hier nicht im Detail diskutiert werden. Erwähnenswert ist das interessante Ergebnis für die Badewanne und Dusche, wo K_4 am stärksten angezweifelt wurde: Die Pegelkorrekturen K_4 von je -12 dB in der aktuellen SIA 181 werden eigentlich bestätigt.

Bei der Festlegung von K_4 geht es auch um die Frage nach dem Schutzniveau: Für welche Geräusche

bzw. Pegel soll durch bauliche Massnahmen ein Schutz gewährleistet sein. Es kann z.B. argumentiert werden, dass es beim Fallenlassen einer schweren Shampooflasche eher um nachbarschaftliche Rücksichtnahme geht, als darum, erhöhte bauliche Vorkehrungen zu treffen.

Schliesslich wird vorgeschlagen, dass für die Benutzungsgeräusche bei denen in der Norm die Messung mit dem Pendelfallhammer vorgesehen sind, keine alternative Messung mit Originalgeräuschen erlaubt sein soll. Dies erscheint auch in Analogie zum Trittschall sinnvoll.

Luftschall

In einem ersten Versuch wurde im Labor der Empa eine Badewanne körperschallisoliert aufgehängt und mit dem Pendelfallhammer angeregt. Der dabei im vertikalen Empfangsraum gemessene Maximalpegel entsprach der reinen Luftschallübertragung. Dann wurde die gleiche Badewanne in einem Schallschutzrahmen mit einer üblichen Entkoppelung aufgestellt und wieder mit dem Pendelfallhammer angeregt. Der jetzt gemessene Schallpegel enthielt Luft- und Körperschall. Aus den beiden Messungen ergab sich ein Luftschalleinfluss von 1.5 dB(A). Der Gesamtwert für Luftschalldämmung $Di_{tot} = D_{nt,w} + C - C_V$ nach SIA 181 betrug 48 dB, wobei C dem Spektrumsanpassungswert entspricht. Ein Di_{tot} von 48 dB ist im Vergleich zu der im Wohnungsbau häufigen Mindestanforderung von 47 dB eher gering. Dies bedeutet, dass diese Laborsituation als worst-case-Szenario für den Einfluss des Luftschalls angesehen werden kann.

Schliesslich wurde der Einfluss des Luftschalls aus den Daten der Messungen in den Labors und in-situ geschätzt. Es standen dazu jeweils die Standard-Schallpegeldifferenz sowie der Sendepiegel und der Empfangspegel des Pendelfallhammers zur Verfügung. Aus Sendepiegel und Standard-Schallpegeldifferenz konnte der übertragene Luftschall im Empfangsraum und somit der Einfluss des Luftschalls berechnet werden. Die Spannweite der Luftschalldämmung Di_{tot} reichte in den Labors von 46 - 57 dB, in den Wohnbauten von 57 - 64 dB, in einem Fall 80 dB.

Es zeigte sich schliesslich, dass der Einfluss durch den Luftschall für übliche Körperschalldämmungen weniger als 1 dB beträgt, wenn für die Luftschalldämmung ein Di_{tot} von 47 dB eingehalten ist. Ab einem Di_{tot} von 60 dB ist der Einfluss des Luftschalls praktisch vernachlässigbar.

Daraus ergibt sich, dass der Wunsch, Sanitäreanlagen im noch nicht fertig erstellten Bau mit dem Pendelfallhammer zu überprüfen, nur bedingt möglich ist. In solchen Situationen ist der Luftschallschutz oft noch nicht genügend. Es fehlen z.B. teilweise Türen, oder Syphons sind noch nicht gefüllt.

Schliesslich wird empfohlen, dass der Nachweis des Einhaltens der Anforderungen mit dem Pendelfallhammer gemäss SIA 181 nur dann durchgeführt werden kann, wenn die Anforderung der SIA 181 an die Luft-

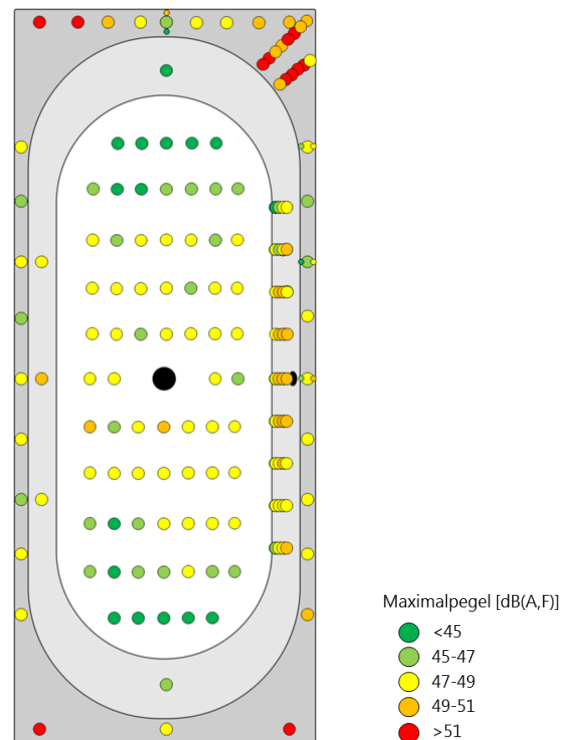


Abbildung 3: Bei den Anregungspunkten farbkodiert dargestellte Maximalpegel L_{AF} gemessen an einer Position im Empfangsraum bei der Anregung mit dem Pendelfallhammer. Weiss: Boden der Badewanne, grau Wand, dunkelgrau Rand.

schalldämmung in der entsprechenden Situation eingehalten ist.

Messunsicherheit - Messverfahren

Die Untersuchungen zur Messunsicherheit führten vor allem bei der Badewanne zu einer Klärung und zu einem Vorschlag für das Messverfahren. In Abbildung 3 sind die Messergebnisse für eine Vielzahl von Anregungspunkten einer Badewanne exemplarisch dargestellt. Sichtbar ist farbkodiert der im Empfangsraum gemessene Maximalpegel L_{AF} . Die Spannweite reicht von 42 bis 57 dB(A). Bei der dargestellten Badewanne wurden die höchsten Pegel auf dem Rand gemessen. Bei anderen Typen von Badewannen war die Streuung ebenfalls gross, die Rangierung von Boden, Wand und Rand bezüglich Pegel war aber verschieden. Die Bereiche Rand, Boden und Wand müssen also einzeln angeregt werden d.h. es ist nicht möglich, z.B. alleine den Boden stellvertretend anzuregen. Auf die Anregung am Rand sollte zudem nicht wie bisher verzichtet werden, da wie bei der Badewanne in Abbildung 3 dort besonders hohe Pegel auftreten können.

Bei der Badewanne wird vorgeschlagen, die einzelnen Bereiche an mindestens sechs zufällig verteilten Punkten jeweils einmal anzuregen und die Mittelwerte der Bereiche ungewichtet wiederum zu mitteln.

Die Gesamtunsicherheit u dieses Messverfahrens wurde gemäss Formel 2 nach der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung aus den in Tabelle 2 aufgeführten Teilunsicherheiten berechnet. Für u_M wurde 1 dB gesetzt, wie dies z.B.

Tabelle 2: Teilunsicherheit bei der Messung mit dem Pendelfallhammer an der Badewanne

u_R	Unsicherheit der Anregung am Rand, bestimmt aus der Standardabweichung aller Anregungen am Rand
u_B	Unsicherheit der Anregung am Boden, bestimmt aus der Standardabweichung aller Anregungen am Boden
u_W	Unsicherheit der Anregung an der Wand, bestimmt aus der Standardabweichung aller Anregungen an der Wand
u_A	Unsicherheit der Anregung an einem Punkt, bestimmt aus der Standardabweichung aller Anregungen
u_M	Unsicherheit des Messequipments
u_{PFH}	Unsicherheit des Pendelfallhammers

für Trittschallmessungen ebenfalls der Fall ist. Für u_{PFH} wurde 1 dB angenommen, was bedeutet, dass dieser Wert bei der Produktion des Pendelfallhammers eingehalten werden muss. Obwohl entsprechende Anforderungen und das Messverfahren heute noch nicht festgelegt sind, erscheint der Wert ohne weiteres erreichbar. Es ergab sich auf diese Weise eine Unsicherheit für Messungen an der Badewanne von 1.5 dB (Tabelle 3).

$$u^2 = \left(\frac{u_R}{3}\right)^2 + \left(\frac{u_B}{3}\right)^2 + \left(\frac{u_W}{3}\right)^2 + u_A^2 + u_M^2 + u_{PFH}^2 \quad [\text{dB(A)}] \quad (2)$$

Für die anderen Bauteile wurden sechs auf dem Prüfbereich verteilte Anregungen mit dem Pendelfallhammer vorgeschlagen, ausser beim WC, wo sich sechs Anregungen nur beim vordersten Punkt der WC-Schüssel als genügend erwiesen. Im Unterschied zur Badewanne müssen jetzt nicht die Teilunsicherheiten von drei Prüfbereichen ermittelt werden, sondern nur die Unsicherheit im gesamten Prüfbereich u_{PB} . Bei WC ist es nur ein Punkt, so dass u_{PB} entfällt. Die Gesamtunsicherheit berechnet sich gemäss Formel 3. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 3.

$$u^2 = u_{PB}^2 + u_A^2 + u_M^2 + u_{PFH}^2 \quad [\text{dB(A)}] \quad (3)$$

Ausblick

Durch die Studie konnten viele Fragen des Messverfahrens mit dem Pendelfallhammers geklärt werden und das Vertrauen in die Messmethode zurück gewonnen werden. Die Ergebnisse fliessen nun in die laufende Revision der Schweizer Norm SIA 181 ein.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Walter Lips und Urs Gassmann für die Initiativzündung, bei den Firmen Geberit und Schmidlin für die Möglichkeit in ihren Labors

Tabelle 3: Gesamt -und Teilunsicherheiten verschiedener Bauteile bei der Messung mit dem Pendelfallhammer

Uns.	Badw	Dusch	Lava	WC	Abst	Schr
u_A	0.07	0.08	0.16	0.20	0.08	0.16
u_{PB}	-	0.49	0.78	-	0.49	0.33
u_R	0.90	-	-	-	-	-
u_B	0.57	-	-	-	-	-
u_W	0.73	-	-	-	-	-
u_M	1	1	1	1	1	1
u_{PFH}	1	1	1	1	1	1
u	1.5	1.5	1.6	1.4	1.5	1.5

Messungen durchführen zu können, bei den Firmen Gabag und Hafner für die zur Verfügung gestellten Objekte sowie bei verschiedenen Architekten und Bauherrschaften, welche die in situ Messungen ermöglichten. Das Projekt wurde finanziert durch den Gebäudetechnikverband (suissetec), das Bundesamt für Umwelt BAFU und die Empa.

Literatur

- [1] SIA 181 "Schallschutz im Hochbau", 2006
- [2] Walk, M., Emirch, F., Leuthardt, F.: Entwicklung von Simulationsmethoden für haustechnische Benutzungsgeräusche, DAGA 2003, Aachen
- [3] Liegl, R., Heusler, I.: Nutzergeräusche bei Sanitärinstallationen. DAGA 2005, München
- [4] Beffa, R.: Protection contre le Bruit des Installations Techniques. Frühlingstagung SGA-SSA 2006, Freiburg www.sga-ssa.ch/docs/events//beffa.pdf
- [5] Mohr, J., Weber, L., Teller, P.: Der Pendelfallhammer nach SIA 181 im Vergleich zu anderen Körperschallquellen. IBP-Mitteilung 472, 33 (2006).
- [6] Ebersold, M., Weber, L., Blau, M.: Effect of airborne sound on installation noise - Part1: Basic investigations. NGA/DAGA 2009, Rotterdam.
- [7] Desarnaulds, V., Beffa, R.: Mesurages avec le marteau EMPA dans les constructions en bois. Herbsttagung SGA-SSA 2012, Freiburg www.sga-ssa.ch/docs/events//desarnaulds_pendelfallhammer.pdf
- [8] Desarnaulds, V., Lissek, H., Bard, D., Beffa, R.: Swiss pendulous hammer for decoupling measurement of service equipment in wood multi-storey building. Euronoise 2012, Prague
- [9] Bard, D., Desarnaulds, V., Lissek, H., Beffa, R.: In situ and laboratory measurement of service equipment decoupling in lightweight constructions. Internoise 2013, Innsbruck
- [10] Fischer, H., Stromsky, K. Körperschall von Sanitärprojekten. Bericht BS 183/88 des Fraunhoferinstituts für Bauphysik, 1988, Stuttgart