

Trittschallmessverfahren mit dem Japanischen Gummi-Ball an 25 Decken.

Alastair Gurtner (Projekt, Bericht, Methodik, Fachdiskussionen, Messungen)

Meienbergstrasse 67a, CH-8645 Jona, alastair.gurtner@sunrise.ch

Thomas Imhof (Messungen, Fachdiskussionen, Review)

Reutenenstrasse 12, 9042 Speicher, thomas.b.imhof@bluewin.ch

Einleitung

Trittschall gehört zu den meistbeklagten Lärm-Störungen; etwa gleich häufig wie Verkehrslärm. Ergo wäre eine verlässliche Messart wichtig; insbesondere für Hauskäufer, die ein Haus in Planung kaufen. Die traditionelle Messart mit dem Normhammerwerk (NHW) ab 100 Hz erfasst nur einen Teil der Geräusche und liefert deshalb keinen wirklichen Schutz für Betroffene; Verbesserungen zu fordern oder einzuklagen, ist deshalb oft unmöglich oder nur begrenzt umsetzbar.

Asiatische Trittschall-Messverfahren mit echter Impact-Quelle haben den Ruf, den Belästigungsgrad wesentlich verlässlicher zu erfassen. In der hier vorgestellten Studie wurde untersucht, ob dies auch für einheimische und europäischen Decken gilt.

Da nun neuerdings die ISO/DIS Norm 717-2:2019 den für die rechtliche Verankerung in der Schweiz notwendigen Einzahlwert definiert, ist die Tauglichkeit des Gummi-Balles als besseres Trittschall-Messsystem hoch aktuell - es bedarf aber noch dessen Aufnahme in die Norm SIA 181.



Bildquelle: Norsonic

Zielsetzung und Randbedingungen der Studie

Folgende Ziele lagen vor:

- Herausfinden, ob die in Asien wie auch in Fraunhofer-Studien behauptete Überlegenheit des Balles gegenüber dem NHW auch für unsere (europäischen) Bauweisen gilt.
- Quantifizieren der Messungsgewissheiten in dB, dies für die interessantesten Einzahlmesswerte (englisch **SNQ**), ausgehend von den in Asien bestimmten Korrelationswerten zum Empfinden.
- Herausfinden, welcher der in Asien populären SNQ für unsere Bauweise die beste Messgenauigkeit verspricht.
- Vergleich der Messungsgewissheit zwischen Ball und NHW.

- Anforderungen an die Messtechnik sowie Beispiele für gute Messtechnik aufzeigen.
- Herausfinden, wie die Grenzwerte (wie in der SIA 181) für die verschiedenen SNQ festgelegt werden müssten. Im folgenden Bild wird gleich das Resultat vorweggenommen:

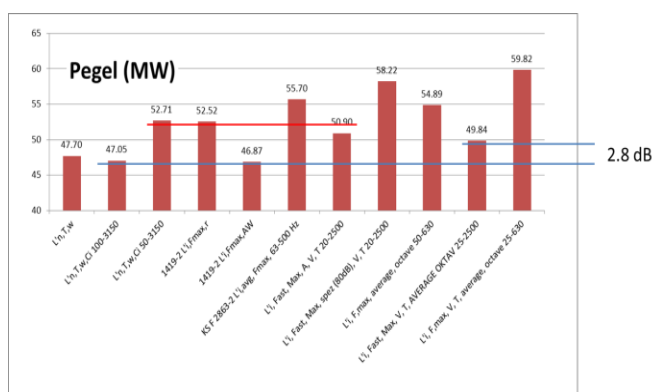


Abbildung 1

Das Normhammerwerk

Es wurde etwa 1936 erfunden und entspricht weitgehend dem heutigen Ansatz, ausser dass es längere Zeit per Handkurbel angetrieben wurde: Fünf linear angeordnete 500 Gramm schwere, gehärtete Stahl-Hämmerchen fallen einzeln im Raster von 0.1 Sekunden aus 4 cm Höhe auf die zu prüfende Decke – jeder Hammer fällt also 2 mal pro Sekunde. Das NHW kam schon ein Jahr später in die Kritik, mit seinen Messwerten das Empfinden schlecht nachzubilden, und deshalb wurde das bewertete Trittschallmass eingeführt. Die Kritik blieb dennoch bestehen, und noch vor nicht allzu langer Zeit wurde das modifizierte NHW (Mod im Bild 2) in der Norm eingeführt, welches eine Matte für die fallenden Hämmerchen beinhaltet und mit seinen Messwerten eine deutlich verbesserte psychoakustische Relevanz erreicht. Auch dieses Modell wurde weiterentwickelt (Geh in Bild 2): Nur noch ein Hammer arbeitet, doch beide Versionen sind für die Praxis zu leise (rel. Grundgeräusche).

Über die Jahre wurde der Einzahlwert (SNQ) verbessert, der ISO-Schritt von Ci100 zu Ci50 erfolgte noch im letzten Jahrtausend. In der vorliegenden Studie wurde klar, dass das NHW mit Ci ab 50 Hz eine deutlich bessere psychoakustische Relevanz der Messwerte aufweist. Allerdings ist dafür auch ein um ca. 5 dB höherer Referenzwert nötig – so das Resultat dieser Studie an 20 Decken.

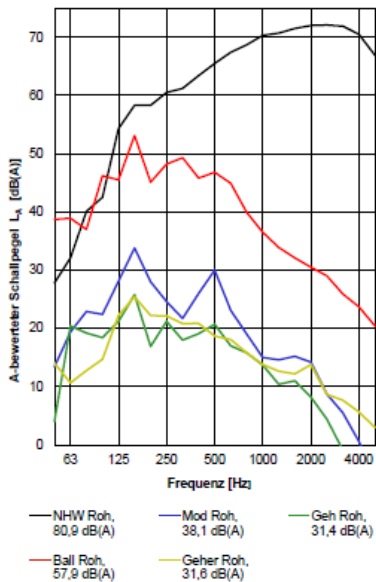


Abbildung 2: Die Spektren des NHW [Fraunhofer Institute for Building Physics; Applied Acoustics: F 2918: Trittschallminderung von austauschbaren Bodenbelägen.]

Der Japanische Gummi-Ball [1]

Noch im letzten Jahrtausend wurde diese Art von Schallanregung grundlegend neu von den Bedürfnissen her entwickelt, und es entstand der Gummi-Ball, welcher von der Masse, der Aufschlagenergie und der Impedanz (im Mittel) den menschlichen Störquellen entspricht: Laufende Personen oder spielende Kinder werden recht gut physikalisch skaliert nachgebildet:

Anforderung an Trittschall-Emulation	Ball	NHW	Kommentar
Impulsquelle, welche laufende und spielende Kinder bezüglich Bodeneinwirkung emuliert	✓	✗	NHW: Dauerquelle
Energiestöße im Bereich von 1 - 10m*kg (Gewicht mal Fallhöhe)	✓	✗	Ball: 2.5 m*kg; NHW hat weniger als 1% davon
Impedanz entspricht dem Unterschenkel resp. herumrollenden Kindern	✓	✗	Siehe Studien dazu
Stoss verpufft nicht an der Deckenoberfläche; dünne Belege werden nicht überbewertet.	✓	✗	Siehe Fraunhofer Bericht F2918
Messtechnisch kinderleicht	✗	✓	Ball braucht gutes Werkzeug oder die A-Bewertung ohne Terzauswertung wird genutzt

Abbildung 3: Stärken / Schwächen von NHW und Ball

Der Japanische Ball ist die dritte Generation von dickwandigen, schweren und luftdruckgefüllten Aufschlag-Trittschall-Emulatoren. Der Schritt weg vom Dauersignal (wie beim NHW) zu einer Impulsmessung (L,F,max) ist kein Zufall: Durch Mikroprozessoren und DSP wurde die Oktav- und Terz-Messung von L,F,max-Signalen neu möglich. Als erstes entstand vor etwa 30 Jahren die „Bang Machine“, welche ein kleines Autorad auf den Boden prallen lässt, gefolgt vom Gummi-Ball, der konsequent dahingehend entwickelt wurde, Trittschall und spielende Kinder physikalisch korrekt zu emulieren, gefolgt vom heutigen Ball, der 2004 auf den Markt kam und aus Silikon besteht, um einen Temperaturgang zu vermeiden.

Der Gummi-Ball wird aus 1 m Höhe fallen gelassen und schlägt mit ca. 150 kg auf den Boden, mit einer Schlagdauer von 20 Millisekunden. Der Ball selbst hat eine Eigenresonanz um 80 Hz, stösst die Decke und deren Resonanzen an, die ihrerseits die Raummoden im Empfangsraum anregen. Die Decke spielt dabei auch die Rolle einer Lautsprecher-membran.

Die Bedeutung des Einzahlwertes (SNQ)

Die nationalen Normen verlangen einen Einzahlwert, denn sie geben den Grenzwert als SNQ vor. Somit haben NHW und Ball gleichermaßen SNQs, auch wenn deren Berechnung sich erheblich unterscheidet und deren Bedeutung sogar noch viel unterschiedlicher ist.

Beim NHW hat der SNQ-Mechanismus, bestehend aus einer zu verschiebenden Referenzkurve und einer pauschalen Korrektur (z.B. Ci100 – 3150 Hz) einerseits die Aufgabe, den Messwert bereit zu stellen, andererseits die Aufgabe, jene Teile des Spektrums zu nutzen, welche eine hohe psychoakustische Relevanz (Korrelation) zum Empfinden haben. Im Prinzip läuft dies darauf hinaus, den Frequenzgang der Decke soweit zu ergänzen, dass ein für eine psychoakustisch relevante Messung geeignetes Spektrum resultiert. Das Problem dabei ist, dass dies nicht allgemein gültig möglich ist, sondern immer von der Deckenbautechnologie mitbestimmt wird und nur als sinnvoller Mittelwert über gängige Decken machbar ist. Damit besteht aber die Gefahr, dass neue, andersartige Deckenbau-Lösungsansätze falsch bewertet werden, weil die „SNQ“ des NHW nicht passt. Um diesen Effekt zu beheben, haben verschiedene Akustiker immer wieder neue Referenzkurven entwickelt – mit wenig Erfolg. Auch um die neueste Entwicklung – Hagberg04 – wurde es nach vielen Berichten wieder sehr ruhig.

Beim Ball sieht die Sache erheblich anders aus, denn der Ball, anders als das weisse Spektrum eines NHW an seiner Referenzdecke, emuliert Trittschall – wie aus Abbildung 3 ersichtlich – physikalisch recht zutreffend. Die grosse Überraschung in dieser Studie war: Das gilt für alle gängigen Ball-SNQ weitgehend gleich gut – auch wenn die Pegel (und damit die benötigten Referenzwerte) sehr unterschiedlich ausfallen. Ja es funktioniert sogar so gut – wenn auch mit etwas reduzierter Genauigkeit – dass wenn z.B. ein SNQ als L,F,max-Messwert vorliegt, das Resultat für eine L,avg,F,max-Messung gleicher Bandbreite berechenbar wird.

Kurze Übersicht über die wichtigsten SNQ für den Ball:

- L,A,F,max 50 – 630 Hz ist der neue SNQ gemäss ISO/DIS 717-2 und entspricht der Formel in Korea für kleinere Zimmer. Korea kennt im Unterschied zu ISO die Bandbreite 25-630 Hz für grosse Zimmer. Diese Formel liefert ähnliche Werte wie eine „durchschnittliche“ Decke nach SIA 181 und auch ähnliche Werte wie die AcuWood-Formel für den Ball von 20-2500 Hz. ISO unterstützt sowohl SNQ mit und ohne V-/T-(Raumeinfluss)-Korrektur [9].
- L,F,max – also die gleiche Formel wie oben ohne A-Bewertung – weist bei üblichen Deckengrössen eine ähnlich gute psychoakustische Korrelation auf wie obige Formel, gewichtet aber den tiefen Frequenzbereich stärker, wird also bei grossen Räumen strenger urteilen. Diese Formel liefert jedoch entsprechend höhere Pegel und braucht einen höheren Grenzwert.
- Obige Formeln sind energetische Summationen; die L,avg,F,max-Berechnung ist eine Mittelwertformel über alle Terze (oder Oktaven) und lässt sich damit auch durch die Wahl der Bandbreite (insbesondere nach oben) auf einen bestehenden Grenzwert tunen. Avg-Formeln

gewichten den Bassbereich schwächer als energetisch summierende SNQs.

Spannend ist, dass all diese Formeln psychoakustisch ähnlich performen; das kommt daher, dass der Ball Trittschall wirklich physikalisch sehr gut emuliert. Das bringt enorm viel mehr Sicherheit für Deckenentwickler; denn anders als beim NHW ist die Gefahr minimal, dass ein ungewohnter Decken-Frequenzgang die Aussagekraft mindert oder gar invertiert – etwas, was beim NHW dazu führte, dass Decken nach den NHW-Resultaten „verbessert“ wurden und die Kunden daraufhin einen Rückschritt erlebten.

Die Korrelationswerte zwischen Pegel und Empfinden liegen beim NHW Ci100 Hz zwischen etwa 60 und 70 %; beim Ball bei 90 % und mehr ([2] bis [6]). Die Ball-Korrelationswerte nehmen mit erweitertem Frequenzgang nach unten leicht ab, wenn der SNQ keine A-Bewertung enthält. Wird eine A-Bewertung vorgenommen, tragen die Terze unter 40 Hz kaum noch etwas bei; das Band 40 Hz kann den A-bewerteten SNQ Pegel durchaus noch um mehrere dB nach oben stemmen. Die ISO-Formel ab 50 Hz hat hier ihre Grenzen; wie gut sie sich für grössere Räume (Schulzimmer, Grossraumbüros etc.) eignet, muss sich noch zeigen.

Zur Studie selbst

Daten von 25 Decken lagen vor; es wurden schon bestehende Messungen weiterverwertet. Die verschiedenen Akustiker hatten in Bezug auf Ball-Fall und Mikrofon-Positionen nicht gleich gemessen – die Norm lässt einigen Spielraum. Ferner wurden aus internationalen Projekten Deckenrohwerter mit benutzt, um auf die – im internationalen Vergleich – recht hohe Zahl von 25 Decken zu kommen.

Bei den Fremddecken waren Ball-Fall und Mikrofon-Positionierung einheitlich, denn das waren geplante Labormessungen. In der Folge fällt die 95%-Ungewissheit bei den Fremdmessungen mit +/- 2 dB besser aus als bei den eigenen Messungen mit +/- 3 dB.

Von den 25 Deckenmessungen hatten 20 NHW-Messungen, nur die des Autors nicht. Von den anderen Messungen hatten ein paar die Untergrenze bei 50 Hz statt 25 resp. 20 Hz. Diese ungleichmässige Vollständigkeit erschwerte die Auswertung.

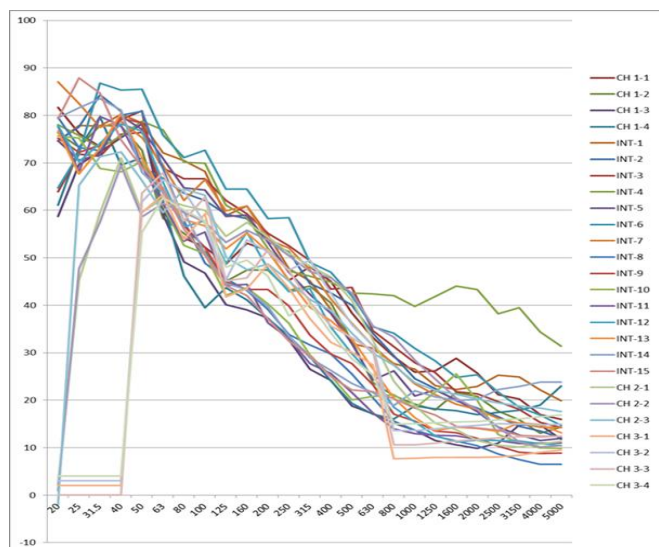


Abbildung 4: Gemessene Rohdaten der Ball-Fälle

Abbildung 4 zeigt die Terz-Ballmessungen – man sieht gut, dass bei einigen der Team-eigenen Messungen der Bereich unter 50 Hz fehlt.

Daraus wurden für jede Kurve eine Vielzahl von SNQ berechnet (Abbildung 5) Die gemessenen SNQ-Pegel variierten um über 20 dB in ihrer Lautstärke, es wird also ein recht breites Feld an Isolationsqualitäten abgedeckt.

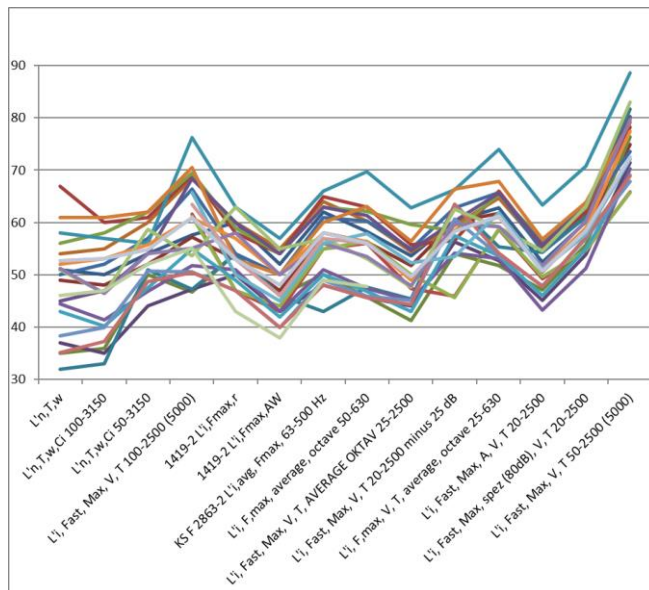


Abbildung 5: Die SNQ-Werte zu den Messungen

Anschliessend wurden alle berechneten SNQ-Werte in einer besonderen Art pegelmässig normalisiert (Abbildung 6).

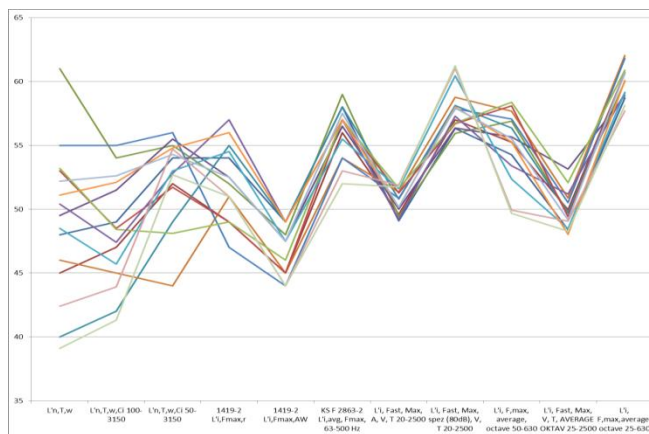


Abbildung 6: Die normalisierten SNQ-Kurven

Die Pegel-Einmittung erfolgte so, dass die SNQ hoher Korrelationsqualität mit dem Empfinden alle gleichwertig eingemittet wurden: das Verschieben in 1 dB Schritten wurde nur solange gemacht, bis eine weitere Verschiebung zugunsten eines SNQ zulasten anderer SNQ erfolgt wäre (Vergleich des Fortschrittes der meistprofitierenden SNQ mit der Benachteiligung der anderen SNQ).

Weil dabei 20 Kurven genutzt werden, entspricht die Kurvenschaar-Breite jeder SNQ +/- 2 SD, also 4 SD (dass die Schaar-Breite nur 19 der 20 Kurven umfassen dürfte, wird hier unterschlagen).

Hier im Bild erscheinen nur die Kurven ohne Unterbrüche, denn Unterbrüche machen das Bild schlicht unverständlich.

Wie man sieht, laufen von einer SNQ zur anderen einmal die Kurven schön parallel, ein anderes Mal kreuzen sie sich. Parallel heisst prinzipiell „verlässliche SNQ“; wenn sie sich

kreuzen, hat das entweder einen Grund im Wechsel der SNQ-Berechnung (Energiesummation contra Avg oder andere Bandbreite oder A.-Bewertung oder japanische SNQ mit inverser A-Referenz-Kurve), oder es könnte ein SNQ-Problem vorliegen. Kreuzen die Kurven aber anderswo wieder in eine ähnliche Parallelität, so wird es Bandgrenzen- oder Gewichtungsbedingt ist. Die angewandte Formel ist dabei entscheidend. Die ersten drei SNQ, links im Bild, charakterisieren das NHW: Die Werte streuen erheblich mehr als beim Ball.

Und welches sind die wichtigsten Aussagen des Resultates?

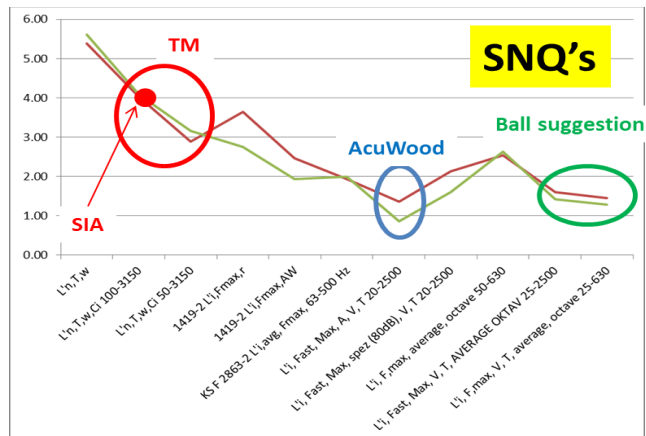


Abbildung 7: Die SNQ-SD-Messunsicherheiten; um die 95%-Werte zu erhalten, müssen die Werte verdoppelt werden. Grün sind Messungen aus internationalen Projekten; braun unsere eigenen.

Die AcuWood-Formel L,A,F,max,V,T, 20 – 2500 Hz brilliert mit einem SD-Wert von +/- 1 dB. Die Formel, welcher dem Autor der Studie damals am besten gefiel, L,avg,F,max, 25-630...2500 Hz in Oktaven, ist eine Formel, welche mathematisch summiert und damit den Bass weniger gewichtet, dafür aber keine A-Bewertung nutzt. (Die A-Bewertung soll nicht das menschliche Ohr nachbilden, sondern dem Ball das Übermaß an Tieftone-Energie nehmen).

Da es sich eher um mittlere als kleinere Räume handelte, wurde bei allen Auswertungen die V-,T-Korrektur nach ISO 16283-2:2020 angewandt [7]. Das ist nicht die „normale“ Raum-Normalisierung (wie bei Schallisolationmessungen), sondern der Ball braucht eine spezielle: Wir machen keine Energiemessungen (Leq), sondern eine Quasi-Peak-Messung, die kein diffuses Schallfeld im Raum voraussetzt.

Nebenresultat: Wie im Bild oben sichtbar, profitiert das NHW in Sachen Messungswisheiten massiv davon, wenn Ci ab 50 Hz statt 100 Hz genutzt wird.

Im Detail sieht dies so aus:

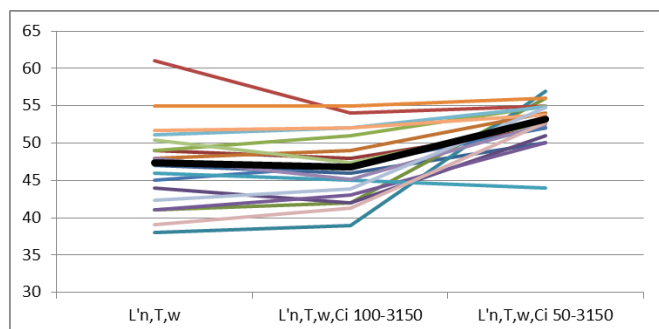


Abbildung 8: Die NHW-Messgenauigkeit wird mit Ci50 besser

Zusammenfassung / Resultate

Dass der Ball empfindungsmässig weit besser korrelierende Resultate liefert, war im Vorfeld nicht nur aus Asien, sondern auch durch den Fraunhofer-Bericht von Dr. Moritz Späh und anderen bekannt.

Lange Zeit suchte der Autor nach dem besten SNQ für den Ball und irgendwann wurde klar: Es gibt keinen besten, sondern es gibt nur für grosse Zimmer besser oder weniger geeignete und solche mit weniger oder mehr Bassgewichtung. In diesem Sinn ist die Formel nach ISO/DIS 717-2:2019 grundsätzlich gut, doch für grosse Räume ist sie durch die untere Grenzfrequenz von 50 Hz weniger geeignet als die Koreanische „Vorlage“.

Die ISO-Norm unterstützt die Messvariante mit der V-T-Raumkorrektur nach ISO 16283-2 bietet aber auch die Möglichkeit, Raum-Korrekturen wegzulassen. Das kommt einer in Asien weit verbreiteten Trittschall-Mess-Praxis für kleine Räume entgegen.

Dieser Bericht wäre unvollständig ohne zu erwähnen, dass die Akustiker in der Schweiz, die den Ball nutzen – zur Zeit offenbar etwa 6, von denen 4 am Projekt beteiligt waren – vor allem auch die praktische Arbeit mit dem Ball sehr schätzen. Fallenlassen des Balles aus 1 m Höhe geht präzise mit einer Laserlicht-Ebene (an einer Zimmerwand sieht man gut, wenn die Ballunterkante die Lichtebeine berührt). Zudem ist die Messung dank hohem Pegel und kurzer Dauer wenig empfindlich auf Störgeräusche.

Literatur

Es gibt über 300 Berichte zum Ball, die entweder auf Englisch oder Deutsch verfasst sind. Die Koreanische „717-2 Norm“ (KS F 2863_2) ist aktuell zurückgezogen und nicht bestellbar.

- [1] Tachibana et al: New heavy impact source for the measurement of floor impact sound insulation of buildings: Inter.noise 2000
- [2] Jongwan Ryu et al: Relation between annoyance and single-number quantities for rating heavyweight floor impact sound insulation in wooden houses. The Journal of the Acoustical Society of America · May 2011 oder ResearchGate.
- [3] Jeong-Ho Jeong et al: SUBJECTIVE EVALUATION OF HEAVY/SOFT IMSingle-Number Quantities of Heavyweight Impact Sound Insulation: Acta Acustica united with Acustica · January 2019
- [4] Jin Yong Jeon et al: Review of the Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound. HAL archives-ouvertes, 2017
- [5] Jeong-Ho Jeong et al: SUBJECTIVE EVALUATION OF HEAVY/SOFT IMPACT SOUND; ICSV 24; 2017
- [6] Jeong-Ho Jeong: Heavy/soft Impact Sound Measurement in Small Room; DAGA 2014 Oldenburg
- [7] Schoenwald et al: Influence of receive room properties on impact sound pressure level measured with heavy impact sources. NRC Publications Archive
- [8] KS F 2863_2 Standard: Part 2 Floor Impact Sound Isolation
- [9] ISO / DIS 717-2:2019
- [10] ISO 16283-2:2020