

Bewertung der Luftschalldämmung mittels Bezugskurvenverfahren.

Probleme in subjektiver Hinsicht.

Reinhard O. Neubauer

IBN-Bauphysik GmbH & Co. KG, 85049 Ingolstadt, dr.neubauer@ibn.de

Einleitung

Das Schalldämm-Maß ist frequenzabhängig und wird zur vereinfachten Kennzeichnung als Einzahlwert verwendet. Der Einzahlwert wird über einen bestimmten Frequenzbereich gemittelt. Das Verfahren zur Ermittlung der Einzahlangabe der Luftschalldämmung ist in ISO 717-1 [1] festgelegt. Historisch gesehen wurde dieses Verfahren entwickelt, um im Wesentlichen einen Vergleich mit Schallschutzanforderungen zu ermöglichen. Dieses Verfahren der Datenreduktion beinhaltet jedoch einige Problematiken. Es ist hinreichend bekannt [2, 3], dass der Einzahlwert der Schalldämmung häufig nicht mit der Höhe des erwarteten Schallschutzes, also der subjektiven Bewertung der Schalldämmung, übereinstimmt.

Im Rahmen dieses Beitrags wird auf das problematische Verfahren nach ISO 717-1 eingegangen und aus historischer Sicht hinterfragt, ob aufgrund neuer Baumaterialien und Baukonstruktionen die aktuelle Bezugskurve für den Luftschallschutz noch geeignet ist, die Schalldämmung als Einzahlangabe in korrekter Größe zu repräsentieren.

Historischer Rückblick

Zulässige Störgeräusche

Die Bezugskurve nach ISO 717-1 wurde im Hinblick auf einen zulässigen Störpegel entwickelt, der auch die Frequenzcharakteristik des Störgeräusches berücksichtigte. Die Höhe des als zulässig erachteten Störgeräusches in Wohnungen wurde mit einem Gesamtschalldruckpegel von 30 dB(A) angenommen [4].

Wohnübliche Störgeräusche

Fasold [4] veröffentlichte wohnübliche Störgeräusche und zeigte die prozentuale Zusammensetzung aus den einzelnen Wohngeräuschen und Geräuschgruppen. Berücksichtigt wurden dabei:

- die geschätzte Prozentzahl der Haushalte, in denen die jeweilige Geräuschquelle vorhanden ist;
- die durchschnittliche Dauer des Geräusches
- die Raumart, in der es vorwiegend vorkommt und
- die Tageszeit, zu der das Geräusch auftritt.

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der gewonnenen mittleren wohnüblichen Störgeräusche sowie die prozentuale Zusammensetzung aus vier Geräuschgruppen und deren Frequenzverläufe. Bereits zum Zeitpunkt der Veröffentlichung von Fasold im Jahr 1959 waren die wichtigsten Luftschall-Störgeräuschquellen in den damaligen Wohnungen Rundfunkgeräte und Fernsehgeräte. Dies hat sich bis heute nicht oder zumindest nicht wesentlich geändert.

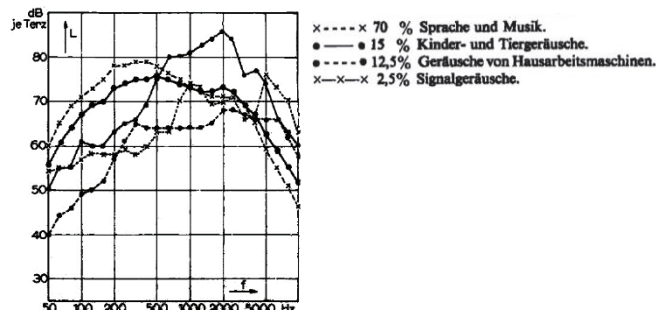


Abbildung 1: Zusammensetzung und Verlauf des mittleren wohnüblichen Störgeräusches (Kopie entnommen aus [4])

Aus Abbildung 1 ist für den Verlauf für Sprache und Musik zu erkennen, dass das Maximum im Frequenzbereich um etwa 200 Hz bis 500 Hz liegt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung von Fasold um 1959 waren in den TV-Anlagen noch keine tieffrequent abstrahlenden Soundanlagen verfügbar, was in der heutigen Zeit zum Standard gehört. Bei der Tonwiedergabe via Lautsprecher gibt es bei Fernsehern technisch große qualitative Unterschiede. Zahlreiche Modelle besitzen ein virtuelles Dolby Surround System, mit dem versucht wird, Raumklang mit zwei Lautsprechern zu erzeugen. Echte Raumklang-Systeme wie Dolby ProLogic oder DolbyDigital findet man nur bei Bildformaten ab 70 cm. Viele Nutzer schließen ihren Fernseher über ihre Stereoanlage an, womit eine noch bessere Klangqualität erreicht wird. Damit steigt auch der Schalldruckpegel in dem Raum. Ein Gesamtschalldruckpegel im Raum von 85 dB(A) ist keine Seltenheit, was bereits bei Fasold festgestellt wurde.

Bezugskurvenverfahren

Die Beurteilung der Luftschalldämmung von Bauteilen auf Grundlage von Sollkurven umfasst grundsätzlich [5]:

- eine Frequenzbewertung,
- eine Mittelwertbildung über die Dämmwerte für verschiedene Frequenzen,
- eine Festlegung von Mindestwerten.

Der wesentliche Kern des Sollkurven-Verfahrens ist die gewählte Form der Mittelung über die Schalldämmwerte bei verschiedenen Frequenzen. Die verwendete Mittelung entspricht der Bestimmung eines Gesamtschalldruckpegels, der entsprechend dem (inversen) Sollkurvenverlauf frequenzbewertet wird. Das Bezugskurvenverfahren nach ISO 717-1 ist eine Zusammenfassung des gemessenen Frequenzspektrums in eine Einzahlangabe. Das ist eine Vereinfachung der Berechnungen durch Reduktion der Datenmenge. Die Probleme, die sich dabei ergeben sind:

- niedrige Frequenzen unter 100 Hz bleiben unberücksichtigt
- auf gemeinsame Geräusche zugeschnitten
- korreliert wenig mit der subjektiven Bewertung
- kein Stand der Technik mehr (über 60 Jahre alt)

Schon zu Beginn der Studien zu Referenzkurven wurde erkannt, dass der Mittelfrequenzbereich in subjektiven Bezügen am kritischsten ist. Fasold präsentierte eine Schallschutzkurve und ihre Idealisierung, die sich in Abbildung 2 im Vergleich zur Standard-Referenzkurve zeigt. Fasold nannte sie: "effektivste Schallschutzkurve".

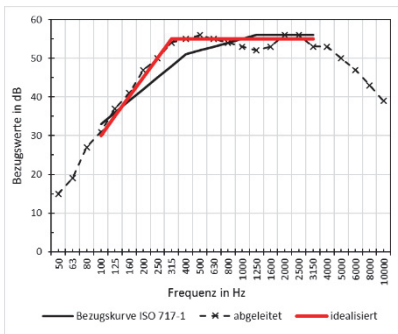


Abbildung 2: Sollkurven für den Luftschallschutz im Vergleich [4]

Fasold konstatierte: " Das wichtigste Ergebnis ist die Überschreitung der Soll-Kurve im Frequenzbereich von 200 Hz bis 800 Hz. Hier müssen also schärfere Anforderungen an den Schallschutz realisiert werden, wenn im gesamten interessierenden Frequenzgebiet eine gleichmäßig gute Schalldämmwirkung erzielt werden soll."

Es wurden also bereits zu Beginn der Einführung von Soll-Kurven in ein Bezugskurvenverfahren auf die Bezugskurven zurückgegriffen, die nicht für eine subjektiv richtige Größe, d.h. Höhe der erforderlichen Schalldämmung, erforderlich waren, sondern es wurden die Werte verwendet, die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten noch vertretbar waren. Im Zuge der bauordnungsrechtlich erforderlichen Größe einer bestimmten Schalldämmung ist diese "Wirtschaftlichste" kritisch zu hinterfragen, da unter rechtlicher Würdigung der Schallschutz z.B. zwischen Wohnungen, nach Bauordnungsrecht dem Gesundheitsschutz dient. Es wurden in der Vergangenheit verschiedene Bezugskurven in verschiedenen Ländern verwendet. Jedes Land verfügte oder verfügt über eine eigene Bezugskurve und eigene Anforderungen. Eine frühe Zusammenfassung findet sich in [6] in der die einzelnen Bezugskurven und Anforderungen grafisch dargestellt sind. Eine Kopie der grafischen Zusammenfassung zeigt Abbildung 3. Dort ist die Streuung der Mindestanforderung sowie der Bereich eines erhöhten Schallschutzes dargestellt.

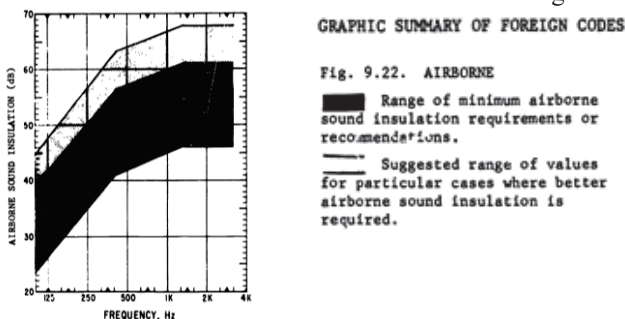


Abbildung 3: Sollkurven für den Luftschallschutz im Vergleich verschiedener Länder. (Kopie entnommen aus [6])

Bezugswerte

In dem in ISO 717-1 beschriebenen Verfahren werden die frequenzabhängigen Schalldruckpegeldifferenzen, welche z.B. durch eine Schallmessung erhalten wurden, mit den

Bezugswerten im Frequenzbereich von 100 Hz bis 3150 Hz für Terzbänder und von 125 Hz bis 2000 Hz für Oktavbänder verglichen. Dieser Vergleich erfolgt durch Verschieben der Bezugskurve in Richtung der Messwertkurve. Der Wert der Bezugskurve bei 500 Hz nach deren Verschiebung, entsprechend dem in ISO 717-1 festgelegten Verfahren, wird als Einzahlwert in dB angegeben und soll den Wert der Schalldämmung repräsentieren. Dieses Verfahren führt mittels Reduktion der Datenmenge zu einer Zusammenfassung des gemessenen Frequenzspektrums in eine Einzahlangabe. Aus dem Bezugskurvenverfahren nach ISO 717-1 ergibt sich generell, dass tiefe Frequenzen durch die Bewertung weniger berücksichtigt werden als höhere. Es sind aber vor allem tiefe Frequenzen, die im Wohnbereich subjektiv zu Störungen führen. Insbesondere ist bekannt, dass Musik am meisten beklagt wird [7].

Der Satz von Bezugswerten, der für den Vergleich mit den Messergebnissen eingesetzt wird, ist in ISO 717-1 definiert und nachstehend in Abbildung 4 grafisch wiedergegeben.

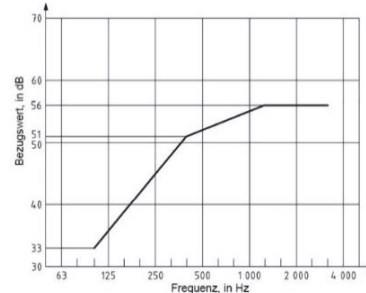
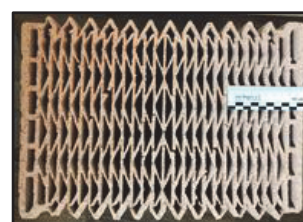


Abbildung 4: Bezugskurve für Luftschall in Terzbändern

Die Bezugskurve für die Bewertung der Luftschalldämmung wurde ursprünglich als Grundlage für die Forderungen an Wohnungstrennwände entwickelt, wobei von einer im Wohnungsbau damals üblichen beidseitig verputzten 240 mm dicken Vollziegelwand ausgegangen wurde [8]. Es stellt sich heute die Frage, ob die Wahl der Bezugskurve, welche sich auch international durchgesetzt hat, heute noch ein brauchbarer Kompromiss zwischen technisch realisierbarem Frequenzgang und subjektiv begründetem Verlauf darstellt. Insbesondere im Hinblick auf die neuen Baustoff- und Konstruktionsentwicklungen ist ein Schallschutz in einem Gebäude der 50er Jahre nicht vergleichbar mit einem Gebäude aus heutiger Zeit und auch die Erwartungen und Bedürfnisse sind Andere.

Materialien und Konstruktionen

Vergleicht man Wohngebäude in denen der Schallschutz beklagt wird, sind häufig Wohngebäude mit wärmetechnisch optimierten Dämmziegeln oder Häuser in Leichtbauweise (z.B. Holzrahmenbau u.a.) betroffen. In den Abbildungen 5 und 6 sind Beispiele gezeigt, wie sich die Konstruktionen heutzutage darstellen.



Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0.08 \text{ W/(mK)}$
 Rohdichteklasse 0.65
 Schalldämm-Maß: $R_{w, \text{Bau, ref}} = 48 \text{ dB}$.

Abbildung 5: Beispiel eines Wärmedämmziegels



Abbildung 6: Beispiele von Holz-Leichtbaukonstruktionen in den europäischen Ländern, aus [10].

Das bewertete Bau-Schalldämm-Maß

Die Güte des Schallschutzes wird üblicherweise in dB angegeben und als Einzahl dargestellt. Nachstehend sind zwei Beispiele in den Abbildung 7 und 8 wiedergegeben, die den gemessenen Schallschutz einer Wohnungstrenndecke und einer Wohnungstrennwand wiedergeben.

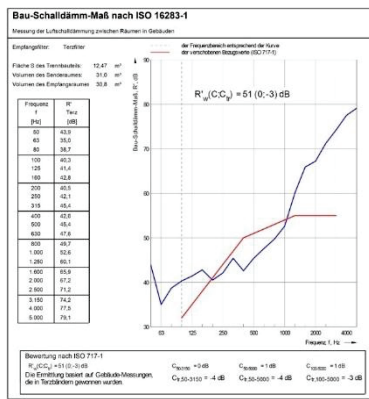


Abbildung 7: Trenndecke, d = 240 mm, schwimmender Estrich.

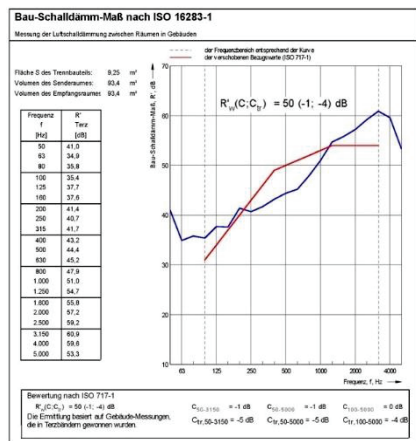


Abbildung 8: Trennwand, 240 mm Verfüllziegel, verputzt.

Die flankierenden Außenwände sind aus hochporisiertem Wärmedämmziegel der Dicke d = 365 mm ausgebildet, beidseitig verputzt. Es fällt auf, dass beide Konstruktionen, obwohl massiv ausgebildet, d.h. Stahlbetondecke und Verfüllziegel, im Frequenzbereich von 200 Hz bis 800 Hz einen Schalldämmverlauf aufweisen, der einem "durchhängenden" Seil ähnlich ist. Dieser Schalldämmverlauf ist typisch für eine erhöhte Flankenschallübertragung. In diesem Beispiel sind die leichten Außenwände ursächlich für die reduzierte Schalldämmung der Trennbauteile. In subjektiver Hinsicht ist aber dieser Schalldämmverlauf gerade

kritisch. Ein weiteres Beispiel zeigt das Ergebnis einer Schalldämmungsmessung an einer Wohnungstrenndecke mit nachstehender Konstruktion:

- 14 mm Parkett
- 60 mm Zementestrich, auf Trennlage
- 20 mm Holzweichfaserplatte, dyn. Steifigkeit 50 MN/m³
- 60 mm Ausgleichsschüttung, Zellulosedämmung
- 16 mm Holzwerkstoffplatte Grobspanplatte
- 160 mm Brettstapeldecke aus Brettschichtholzelementen

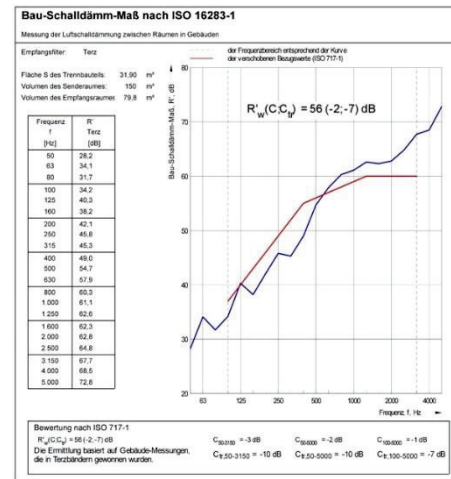


Abbildung 9: Trenndecke, 330 mm Brettstapeldecke mit Estrich

Spektrum-Anpassungswerte

Aufgrund der Forderung nach einer besseren Schalldämmung in subjektiver Hinsicht ist ein zu tiefen Frequenzen hin erweiterter Frequenzbereich von 100 Hz auf 500 Hz [9] erforderlich. Während in den Standardverfahren zur Beschreibung der Schalldämmung, wie in ISO 717-1, die Gewichtskurven keine Frequenzen unter 100 Hz berücksichtigen, gibt es in der Norm einen spektralen Anpassungsbegriff, der verwendet wird, um die Frequenz ab 50 Hz abzudecken. Die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} bezeichnen einen Wert nach ISO 717-1 in Dezibel, der dem einzelnen Zahlenwert der Schalldämmung (z.B. R_w) additiv zugerechnet wird, um ein bestimmtes Schallspektrum zu berücksichtigen (wie rosa Rauschen und Straßenverkehrsgerausche) und um Schalldämmkurven mit einem sehr niedrigen Wert in einem einzelnen Frequenzband zu erfassen. Der gesamte erweiterte Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz kann dabei berücksichtigt werden. Das heißt, der Einzahlwert der Schalldämmung wird durch die Summe von Einzahlwerte und Spektrum-Anpassungswert ersetzt, z.B. R_w + C_{tr,50-5000} anstelle von R_w. Die vollständige Spezifikation der Schalldämmung eines Bauteils, z.B. einer Wand, ist nach ISO 717-1, z.B.: R_w (C; C_{tr}) = 40 (-2; -5) dB. Die Bewertung der Schalldämmung mit Spektren ist in acht europäischen Ländern (z.B. England & Wales, Frankreich, Ungarn, Niederlande, Spanien und Polen) üblich [10]. Anforderungen an C oder C_{tr} werden derzeit in Deutschland nicht genutzt.

Diskussion

Die Ergebnisse in den Abbildungen 7 und 8 zeigen, dass das bewertete Schalldämm-Maß als Einzahlangabe schwierig als eine subjektiv darstellbare Größe verstanden werden kann.

Ein bewertetes Schalldämm-Maß von z.B. 51 dB, wie in Abb. 7 wiedergegeben, kann nicht, auch nicht bei Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte (C , C_{tr}) den subjektiv empfundenen Höreindruck beschreiben. Insbesondere der steile Anstieg der Schalldämmung oberhalb einer Frequenz von 800 Hz führt zu einer Überschätzung der tatsächlich empfundenen Schalldämmung. Das Beispiel in Abbildung 9 verdeutlicht aufgrund des steilen Anstiegs der Schalldämmung mit zunehmender Frequenz, dass trotz eines hohen Einzahlwertes die Schalldämmung unterhalb von 500 Hz deutlich weniger als 50 dB und bei Frequenzen unter 200 Hz weniger als 40 dB beträgt. Im Vergleich mit Abbildung 1 zeigt sich aber, dass gerade in diesem Frequenzbereich die höchsten mittleren wohnüblichen Störgeräusche auftreten. Die dargestellten Beispiele zeigen, dass der Einbruch bei mittleren Frequenzen hoch sensibel in der Bewertung der Schalldämmung ist, und bereits Fasold resümierte: "*Die Schalldämmkurven der häufigsten Decken und Wände unterschreiten die Sollkurve ... nämlich gerade in dem mittleren Frequenzgebiet, in dem eigentlich schärfere Anforderungen zu stellen wären.*"

Im Laufe der Jahre wurden mehrere Bewertungssysteme mit Einzahlgrößen vorgeschlagen und mit unterschiedlichem Erfolg eingesetzt [6]. Um die objektive Einzahlangabe besser an das tatsächlich empfundene Schallereignis, also der subjektiven Bewertung, anzugleichen, wurden sogenannte Spektrum-Anpassungswerte eingeführt und als additives Glied zur Einzahlangabe hinzugefügt, z.B. $R'_w + C_{tr}$. Dieser Kompromiss setzt sich in der Praxis nicht gänzlich durch und hat zudem den Nachteil, dass verschiedene Spektrum-Anpassungswerte existieren und so in der Anwendung kompliziert erscheinen. Im Grunde liefern die Einzahlwerte, mit oder ohne Spektrum-Anpassungswert, immer nur ausreichend zufriedene Ergebnisse, wenn die Situation für die sie angewendet werden der Situation ähnlich sind für die sie hergeleitet wurden [11]. Auch statistische Auswertefeinheiten können keine zufriedenstellende Verbesserung sicherstellen, wie die Auswertung der Literatur zeigt (siehe z.B. [12]). Im Ergebnis bleibt es bei einer Annäherung, die nicht umfassend zufriedene Ergebnisse liefert. Ein anderer Weg wurde in [13] aufgezeigt, der das objektive Maß mit einem psychoakustischen Maß zur Beschreibung der Schalldämmung verknüpft.

Zusammenfassung

Die Chronik der Versuche, die Bezugskurve für die Ermittlung einer Einzahl für die Luftschalldämmung zu verbessern, ist lang. Alle Versuche verwenden ein ähnliches oder fast ähnliches Konzept der Bewertung. Es scheint, dass alle etablierten und untersuchten Bewertungssysteme mit einer oder zwei Zahlenangaben nicht gut mit dem subjektiven Eindruck einer erforderlichen Luftschalldämmung korrelieren. Ein Grund könnte die Komplexität des menschlichen Ohres sein. Durch eine Einzahlangabe wird die frequenz- und amplitudenabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Ohres nicht berücksichtigt. Es ist einfach nicht möglich, alle Eindrücke, die bei einem Hörereignis wahrgenommen werden, mit ein oder zwei Zahlenwerten zu beschreiben. Es wäre wünschenswert, wenn die derzeitige

Forschung zur Bewertung der Schalldämmung intensiviert werden könnte. Es scheint im Sinne des Gesundheitsschutzes sinnvoll, Beschränkungen und mögliche Verbesserungen einer subjektiv basierten Bewertungsmethode auf Grundlage eines einheitlichen Bewertungsschemas und psychoakustischer Maßnahmen aufzuzeigen und weiter zu entwickeln.

Literatur

- [1] ISO 717-1, Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation, Brüssel, (2013)
- [2] Hongisto, V., Mäkilä, M., Suokas, M.; "*Satisfaction with sound insulation in residential dwellings - The effect of wall construction.*", Building and Environment **85**, (2015), 309-320
- [3] Jeon, J. Y., Ryu, J. K., Lee, P. J.; "*A quantification model of overall dissatisfaction with indoor noise environment in residential buildings.*" Appl Acoust **71**, (2010), 914-921
- [4] Fasold, W.; "*Untersuchung zum zweckmäßigsten Sollkurvenverlauf für den Schallschutz im Wohnungsbau.*" Proceedings of the 3rd International Congress on Acoustics, Volume II Applications. Stuttgart, Germany, (1959), 1038-1041
- [5] Gösele, K.; "*Zur Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen nach Sollkurven.*" Acustica **15**, (1965), 264-270
- [6] FHA No 750; A Guide to Airborne, Impact and Structure-Borne Noise Control in Multifamily Dwellings, National Bureau of Standards, Washington, D. C., Prepared for the Federal Housing Administration (FHA), (1967)
- [7] Mašovi, D., et al.; "*Noise in Dwellings Generated in Normal Home Activities - Spectral Approach.*" Proceedings of Forum Acusticum, Aalborg, Denmark, (2011), 1383 - 1388
- [8] Fasold, W.; Sonntag, E.; Winkler, H.; Bauphysikalische Entwurfslehre. Bau- und Raumakustik, Rudolf Müller Verlag Köln, (1987)
- [9] Rindel, J. H.; "*A Comment on the Importance of Low Frequency Airborne Sound Insulation between Dwellings*", Acustica united with Acta Acustica **103**, (2017), 164 - 168
- [10] Birgit Rasmussen & María Machimbarrena (editors), COST Action TU0901 - Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe, (2014)
- [11] Scholl, W., Lang, J, Wittstock, V.; "*Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717.*" Acta Acustica United Acustica **97**, (2011), 686 - 698
- [12] Virjonen, P., Hongisto, V., Oliva, D.; "*Optimized reference spectrum for rating airborne sound insulation in buildings against neighbour sounds.*" Proc InterNoise, Hamburg, Germany, (2016), 964 - 969
- [13] Neubauer, R. O.; "*Airborne sound insulation in terms of a loudness model.*" Appl Acoust **85**, (2014), 34-45