Planungs- und Nachweisverfahren von Holzdecken unter Berücksichtigung der tieffrequenten Trittschallübertragung

Andreas Rabold[1]

[1] *Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, E-Mail: andreas.rabold@th-rosenheim.de*

Einleitung

Trittschallübertragungen aus fremden Wohn- und Arbeitsbereichen werden bei Befragungen der Bewohner und Nutzer immer wieder als die am meisten störenden Übertragungen benannt. Die Beurteilung dieser Übertragungen anhand des bewerteten Norm-Trittschallpegels, wird seit vielen Jahren in verschiedenen Projekten untersucht und kontrovers diskutiert. Übereinstimmend wird dabei festgestellt, dass der im Nachweisverfahren verwendete Einzahlwert $L'_{n,w}$ ungeeignet ist, um die für den Bewohner zu erwartende Trittschallbelästigung zu beurteilen.

Ursache hierfür ist die geringe Korrelation zwischen dem subjektiven Empfinden des Bewohners und dem nach DIN EN ISO 717-2 bewerteten Norm-Trittschallpegel, solange sich die Auswertung auf den Bereich von 100–3150 Hz beschränkt. Um dem Problem zu begegnen, wurden in DIN EN ISO 717-2 bereits 1996 Spektrum-Anpassungswerte eingeführt, die auch für den nach unten erweiterten Frequenzbereich bis 50 Hz angewendet werden können. Schon die einfache Berücksichtigung dieser Zusatzgrößen führt zu einer signifikanten Verbesserung der Korrelation und bietet die Möglichkeit geeignete Zielwerte festzulegen.

Hinweise wie die so abgeleiteten Zielwerte im Planungsalltag umgesetzt und nachgewiesen werden können, fehlen bislang jedoch noch weitgehend. In diesem Beitrag wird deshalb für Gebäude in Holzbauweise ein Verfahren vorgestellt, das die Berücksichtigung der erweiterten Spektrum-Anpassungswerte für Deckenaufbauten mit einem angehobenen Schallschutzniveau ermöglicht.

Anforderungen und subjektive Bewertung

Da für die Bewohner und Nutzer eines Gebäudes der subjektive Höreindruck die maßgebliche Größe zur Beurteilung des Schallschutzes und der Wohnqualität darstellt, wird immer wieder versucht einen Zusammenhang zwischen diesem Höreindruck und den Schallschutzanforderungen herzustellen. In Tabelle 1 wird hierzu beispielhaft die Beschreibung der subjektiven Wahrnehmung üblicher Gehgeräusche dargestellt. Die Beschreibung wurde der VDI 4100 [1] von 1994 (noch bezogen auf $L'_{n,w}$) und dem aktuellen Entwurf der DIN 4109-5 [2] entnommen. Die dort angegebene, subjektive Beurteilung der übertragenen Gehgeräusche einer Trenndeckecke im Bereich der Mindestanforderungen ($L'_{n,w} \leq 50$ - 53 dB) reicht von „hörbar“ (bei 25 dB(A) Grundgeräusch und moderatem Gehen) bis „im allgemeinen störend“ (bei 20 dB(A) Grundgeräusch und $L'_{n,w} \leq 53$ dB). Eine Deckenkonstruktion, die im Bereich des erhöhten Schallschutzes liegt ($L'_{n,w} \leq 45$ - 46 dB) wird mit „noch hörbar“ bis „im allgemeinen nicht störend“ angegeben.

Und auch für eine mit deutlichem Mehraufwand zu fertigende Deckenkonstruktion, die einen Zielwert von $L'_{n,w} \leq 39$ dB erreicht, kann nicht sichergestellt werden, dass die Gehgeräusche nicht hörbar sind. Intensivere Anregungen wie spielende Kinder werden bei dieser Beurteilung in [2] explizit ausgenommen.

Tabelle 1: Subjektiver Höreindruck der durch eine Trenndecke übertragenen Gehgeräusche für unterschiedliche $L'_{n,w}$

	$L'_{n,w}$		
VDI 4100 [1]	≤ 53 dB	≤ 46 dB	≤ 39 dB
	im allg. störend	im allg. nicht störend	nicht störend
DIN 4109-5 [2]	≤ 50 dB	≤ 45 dB	
	hörbar	noch hörbar	

Grundgeräuschpegel: 20 dB(A) in [1] und 25 dB(A) in [2]

Ursache für diese vorsichtige Formulierung in den Regelwerken ist - neben den zu erwartenden individuellen Unterschieden in der Wahrnehmung - der fehlende Zusammenhang zwischen dem bewerteten Norm-Trittschallpegel und den übertragenen Gehgeräuschen. Abbildung 1 zeigt dies für verschiedene Holzdecken, die unter reproduzierbaren Laborbedingungen ohne Nebenwege jeweils mit dem Norm Hammerwerk und einer gehenden Person angeregt wurden.

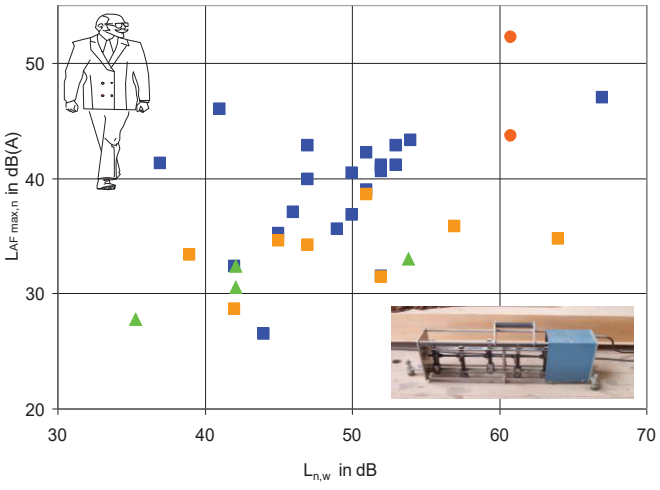

Abbildung 1: Vergleich von $L_{AFmax,n}$ und $L_{n,w}$ für 35 Messungen von unterschiedlichen Leichtbaudecken die jeweils durch ein Norm-Hammerwerk und durch eine gehende Person angeregt wurden (Daten: orange [3], blau [4], grün [5]).

Die Ergebnisse des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ für die Hammerwerksanregung und des A-bewerteten Gehgeräuschpegels $L_{AF\,max,n}$ im Raum unter der Decke zeigen keinen ausreichenden Zusammenhang. Eine Beurteilung der Trittschallübertragung einer Decke durch den $L_{n,w}$ oder $L'_{n,w}$ ist somit nicht sinnvoll. Eine Verschärfung der Anforderungen führt lediglich zu einer Erhöhung der Baukosten nicht aber zu einer gesicherten Verbesserung im Höreindruck.

Dass ein deutlich besserer Zusammenhang zwischen der Messgröße und dem Höreindruck möglich ist, wurde bereits 1985 durch K. Bodlund [6] gezeigt und immer wieder für den Massiv- und Holzbau bestätigt [7],[8],[9],[10]. Übereinstimmend wird gezeigt, dass bereits durch die zusätzliche Berücksichtigung des Spektrumanpassungswerts im erweiterten Frequenzbereich $C_{I,50\text{-}2500}$ eine deutliche Verbesserung erreicht wird. Weitere Maßnahmen, wie eine Veränderung der Bewertungskurve, eine Erweiterung des Frequenzbereichs bis 20 Hz oder der Wechsel der Anregungsquelle (Tachibana-Ball, bang machine, Norm-Hammerwerk auf Elastomer etc.), werden durchaus kontrovers diskutiert, da Ihre Verbesserung in der Bewertung, einem erheblichen Mehraufwand in der Umsetzung gegenüberstehen. Sämtliche vorhandenen Messdaten von Deckenkonstruktionen in den Bauteilkatalogen und Prüfnachweisen wären dann neu zu ermitteln.

Ein Beispiel für die unterschiedliche Beurteilung eines Deckenaufbaus anhand des Spektrumanpassungswerts wird in Abbildung 2 für eine Massivholzdecke mit abgehängter Unterdecke als Verbesserungsmaßnahme gezeigt. Die Resonanz der Unterdecke ist mit $f_0 = 42$ Hz so ausgelegt, dass $L_{n,w}$ der Decke durch die zusätzliche Unterdecke erheblich verbessert wird, der $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ (und somit auch der zu erwartende Höreindruck) verschlechtern sich hingegen wahrnehmbar.

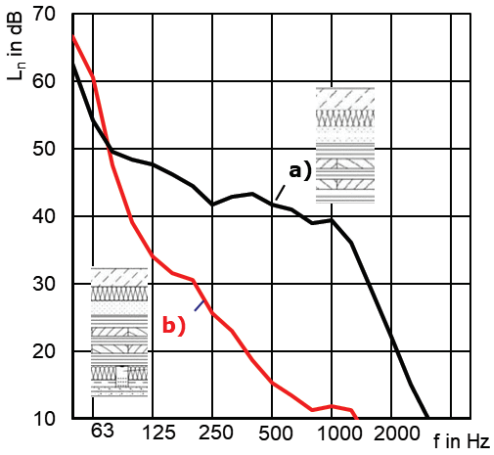

Abbildung 2: Norm-Trittschallpegel einer Massivholzdecke mit und ohne abgehängte Unterdecke.
a) Messung ohne Unterdecke
$L'_{n,w} = 40$ dB, $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 49$ dB
b) Messung mit Unterdecke
$L_{n,w} = 24$ dB, $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 53$ dB

Einfluss der Flankenübertragung

Soll die Einstufung des zu erwartenden Höreindrucks für eine Deckenkonstruktion anhand von Bauteildaten möglich sein, muss für die Bausituation der Einfluss der Flankenübertragung berücksichtigt werden. Im Gegensatz zur Beurteilung der direkten Übertragung anhand der Bauteilwerte, weist die Vorabprognose des zu erwartenden $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ für die Bausituation größere Hindernisse auf. Sieht man von der frequenzabhängigen Berechnung ab, die auf Grund fehlender Eingangsdaten für den Holzbau bisher nur sehr eingeschränkt anwendbar ist, steht bislang kein validiertes Prognosemodell für den Nachweis inklusive Flankenübertragung im erweiterten Frequenzbereich zur Verfügung.

Um zunächst ein Gefühl für den Einfluss der Flankenübertragung auf den Höreindruck zu bekommen, wird in Abbildung 3 der L_n und der L'_n für eine Holzbalkendecke dargestellt. Der Verlauf der Kurven mit und ohne Nebenwege zeigt den starken Einfluss der Flankenübertragung ab 250 Hz. Die Frequenzen unterhalb von 100 Hz werden durch die Flankenübertragung hingegen kaum beeinflusst. D.h. der für den Höreindruck wichtige Frequenzbereich unter 100 Hz wird durch die direkte Übertragung der Decke dominiert. Dies spiegelt sich auch in der Betrachtung der Einzahlwerte wieder. Während der $L'_{n,w}$ durch die Flankenübertragung gegenüber dem $L_{n,w}$ um 8 dB erhöht wird, beträgt die Differenz inklusive Spektrumanpassungswert nur 2 dB.

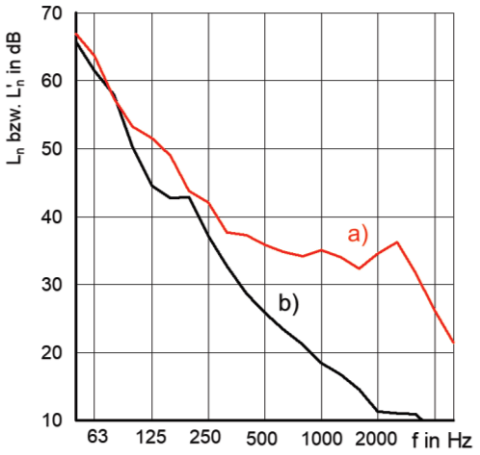

Abbildung 3: Norm-Trittschallpegel einer Wohnungstrenndecke. Deckentyp: Holzbalkendecke mit Zementestrich, Rohdeckenbeschwerung und abgehängter Unterdecke.
a) Messung mit Flankenübertragung (Holztafelbau-Wände)
$L'_{n,w} = 44$ dB, $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 54$ dB
b) Messung ohne Nebenwege (Labormessung)
$L_{n,w} = 36$ dB, $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 52$ dB

Der Einfluss der Flankenübertragung auf die Beurteilung der Decke inklusive Spektrumanpassungswert wurde für 47 Deckenaufbauten untersucht. Der Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Nebenwege wird in Abbildung 4 dargestellt. Die Messergebnisse mit Flankenübertragung liegen gegenüber den Werten ohne Flankenübertragung im Wesentlichen in einem Bereich von ± 3 dB ($\bar{x} = -0{,}6$ dB, $\sigma = 2{,}4$ dB).

Der Einfluss der Flankenübertragung scheint also für den $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ und damit auch für den Höreindruck von Trittschallübertragungen durch Holzdecken eine geringere Rolle zu spielen. Bei ungefähr 50 % der Decken war das Ergebnis mit Flankenübertragung sogar gleich gut oder besser als ohne Flankenübertragung.

Bau- und Planungsfehler machen sich hingegen sehr deutlich bemerkbar, sobald sie die Übertragung im tieffrequenten Bereich bettreffen. Die in Abbildung 4 dargestellten Messwerte von Deckenaufbauten mit Baufehlern (rote Dreiecke) fallen in diese Kategorie. Es waren im Wesentlichen Balkendecken, bei denen die Unterdecke gegenüber der Labormessung Unterschiede aufwies (Federschiene starr montiert, zu große Anzahl der Unterdeckenabhänger). Die mittlere Abweichung dieser Messpunkte gegenüber dem Laborwert beträgt $\bar{x}$ = 5 dB.

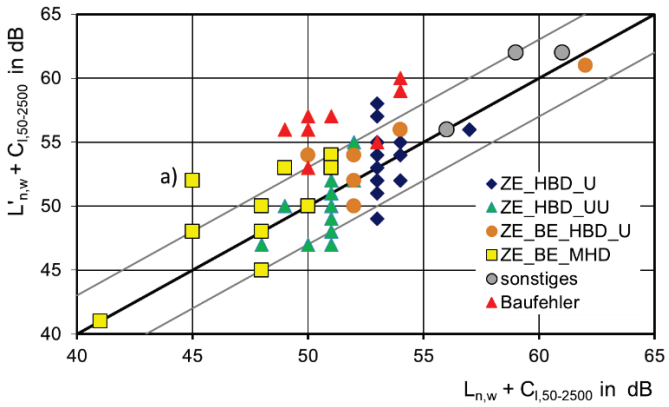

Abbildung 4: Vergleich von $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ und $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ für 47 Deckenkonstruktionen in Holzbauweise. Die mittlere Abweichung von der Diagonalen ($L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$) beträgt $\bar{x}$ = -0,6 dB, die Standardabweichung σ = 2,4 dB (ohne Baufehler). Deckentypenbezeichnung: ZE: Zementestrich, HBD: Holzbalkendecke, U: abgehängte Unterdecke mit einlagiger Beplankung, BE biegeweiche Beschwerung, MHD: Massivholzdecke

Neben den Ausführungsschwankungen und der höheren Messunsicherheit bei Baumessungen bis 50 Hz spielt auch die unterschiedliche modale Kopplung zwischen der Decke und den Räumen eine Rolle für die Standardabweichung der Ergebnisse. Beispielhaft wird dies für eine beschwerte Massivholzdecke mit schwimmendem Estrich gezeigt (Messwert a in Abbildung 4). Die erste Eigenmode des Empfangsraums im BV lag bei $f_{1,0,0} \approx 42\ Hz$, die geometrisch passende 2. Eigenmode des Deckenelementes bei $f_{1,0} \approx 40\ Hz$, die Masse-Feder-Masse-Resonanz des Estrichaufbaus bei $f_0 \approx 45\ Hz$.

Zielwerte für Trenndecken

Auf Basis der Erkenntnis, dass der Höreindruck für den hier im Fokus stehenden Holzbau durch die direkte Übertragung der Decke dominiert wird, können Zielwerte für die Planung und Ausführung der Deckenkonstruktionen anhand der Bauteilwerte festgelegt werden. Hierzu werden in Abbildung 5 die gleichen Daten wie in Abbildung 1 verwendet, diesmal jedoch über dem $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ aufgetragen. Zur Festlegung der Zielwerte kann nun das subjektive Empfinden des Bewohners anhand von Erfahrungswerten über die Störempfindung berücksichtigt werden.

Störgeräusche mit $L_{AF,max,n} > 35$ dB(A) werden i.d.R. als störend wahrgenommen und sollten im Wohnbereich vermieden werden. Daraus ergibt sich eine Obergrenze für den $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ von 47 bis 53 dB. Daraus wurde in [13] ein $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} < 50$ dB für ein mittleres Schallschutzniveau abgeleitet.

Um eine weitere wahrnehmbare Verbesserung zu erreichen, sollte die Reduzierung des $L_{AF,max,n}$ bei ca. 3 - 5 dB(A) liegen. Dies führt zu einem $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} < 44$ bis 50 dB, woraus ein Komfort-Schallschutzniveau mit $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} < 47$ dB abgeleitet wurde.

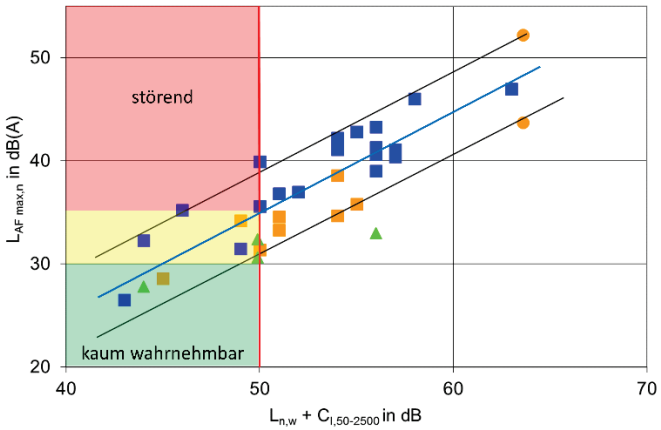

Abbildung 5: Zusammenhang zwischen $L_{AFmax,n}$ und $L_{n,w}$ zur Ableitung von Zielwerten für die Bauplanung [13]

Die so abgeleiteten Zielwerte wurden in Zusammenarbeit mit den Holzbauverbänden in [13] zu Empfehlungen für die Planung und Ausführung von Trenndecken im Holzbau zusammengestellt (siehe auch Tabelle 2). Sie enthalten neben den Anforderungswerten inklusive Nebenwege (das Schallschutzniveau BASIS entspricht den Mindestanforderungen nach DIN 4109 [11]) auch Empfehlungen für gehobenere Schallschutzniveaus mit zusätzlichen Angaben zum Bauteilwert der Decke ohne Nebenwege. Damit soll eine bessere Korrelation zwischen dem vereinbarten Schallschutzniveau und dem zu erwartenden Höreindruck des Nutzers erreicht werden. Dies kann ohne ein zusätzliches Prognosemodell erfolgen, da die Zielwerte für den $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ bereits bei der Bauteilauswahl aus dem Deckenkatalog oder dem Prüfbericht berücksichtigt werden können.

Tabelle 2: Zielwerte für Trenndecken in Holzbauweise nach [13]

Schallschutzniveau		
BASIS	BASIS+	KOMFORT
$R'_w \geq 54$ dB	$R'_w \geq 57$ dB	$R'_w \geq 59$ dB
$L'_{n,w} \leq 53$ dB [a]	$L'_{n,w} \leq 50$ dB $L_{n,w}+C_{I,50\text{-}2500} \leq 50$ dB [b]	$L'_{n,w} \leq 46$ dB $L_{n,w}+C_{I,50\text{-}2500} \leq 47$ dB [b]

[a] Für Deckenkonstruktionen, die DIN 4109-33:2016 zuzuordnen sind, ansonsten $L'_{n,w} \leq 50$ dB.
[b] Bauteilwert ohne Nebenwege

Planung und Umsetzung

Für die Planung und Umsetzung im Holzbau steht in [13] ein aktualisierter Bauteilkatalog für Deckenkonstruktionen zur Verfügung, der nun in die DIN4109-33 übernommen werden soll. Der Bauteilkatalog enthält auch die von den Holzbauverbänden mitentwickelten Deckenkonstruktionen, die wirtschaftliche Lösungen für die neuen Mindestanforderungen darstellen. Ebenso wurden Deckenkonstruktionen für die höheren Schallschutzniveaus zusammengestellt. Besonderer Wert wurde hierbei auf die Optimierung der Unterdecke [14] und Konstruktionen mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen gelegt [12].

Für den rechnerische Nachweis des vereinbarten Schallschutzes nach DIN 4109 wurde in [15] ein detaillierteres Verfahren vorgestellt, um die Prognosegenauigkeit zu erhöhen. Für die Validierung des Verfahrens wurden Baumessungen gesammelt, die nachfolgend in Bezug auf übliche Trenndecken-Konstruktionen ausgewertet werden sollen. Ein Vergleich von 35 Baumessungen typischer Deckenkonstruktionen mit den Bauteil-Planungswerten wird in Tabelle 3 wiedergegeben. Die Ergebnisse decken alle Schallschutzniveaus nach Tabelle 2 ab.

Tabelle 3: Gegenüberstellung von Planungsdaten und Ergebnissen von Baumessungen für typische Deckenkonstruktionen

Deckentyp Skizze		$L_{n,w}$ ($C_{I,50\text{-}2500}$) in dB nach: [13]	$L'_{n,w}$ ($C_{I,50\text{-}2500}$) in dB Anzahl n, σ in dB
	ZE HBD GK	46 (7) Tab. 25, Zeile 9	50 (4)[a] n = 8, s = 1,2
			47 (6)[b] n = 4, s = 0,8
	ZE HBD 2xGK	40 (11) Tab. 25, Zeile 12	47 (3)[a] n = 3, s = 1,2
			44 (6)[b] n = 8, s = 1,2
	ZE BE HBD 2xGK	32 (14) Tab. 25, Zeile 15[d]	42 (7)[a] n = 2, s = 1,4
			39 (10)[b] n = 3, s = 2,3
	ZE BE MHD	40 (9) Tab. 26, Zeile 6	47 (3)[a] n = 2, s = 2,8
			45 (4)[c] n = 5, s = 0,9

a) Flankierende Holztafelwände mit Holzwerkstoff + GK-Beplankung
b) Mindestens zwei flankierende Wände mit Vorsatzschalen
c) Massivholzflanke mit Zusatzmaßnahme (Elastomer, VS-Schale o. $K_2$60)
d) Baumessung mit MW-Trittschalldammplatte

Danksagung

Die Ergebnisse sind aus Teilprojekt 3 des Forschungsverbundprojektes *Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen*, gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) mit dem Förderkennzeichen 22005516, sowie Labor- und Baumessungen der Datenbank am ift Rosenheim. Ein Teil der Bauteilprüfungen wurde finanziert durch die Holzbau Verbände: Holzbau Deutschland, BDF und DHV.

Literatur

[1] VDI 4100: 1994-09, Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung, Verlag Deutscher Ingenieure Düsseldorf 1994

[2] E DIN 4109-5: 2019-05, Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen, Beuth Verlag Berlin, 2019

[3] Erhardt, D., Morkötter, D., Gehversuche auf Holzdecken zum Vergleich mit den bewerteten Norm-Trittschallpegeln gemäß DIN EN ISO 717, Studienarbeit, Hochschule Rosenheim, 2010

[4] Rabold, A., Rank, E., Anwendung der Finiten Elemente Methode auf die Trittschallberechnung, TU München, ift Rosenheim, DGfH 2009

[5] Seidel, J., Trittschall- und Geher-Messungen im Deckenprüfstand der Fa. Knauf Gips KG, Iphofen, 2010

[6] Bodlund, K., „Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings", Journal of Sound and Vibration, 1985, 102 (3),381-402

[7] Burkhart, C., Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen, Tagungsband DAGA 2002

[8] Hagberg, K., "Evaluation of sound insulation in the field", Engineering Acoustics, LTH, TVBA-3127 (2005) und Hagberg, K., Persson, T., Design of light weight constructions - risks and opportunities, Internoise 2009

[9] Rabold, A., Hessinger, J., Schanda, U., Korrelation zwischen Geher und Norm-Hammerwerk bei der Trittschallübertragung, DAGA Tagungsband, 2011

[10] Späh,M., Liebl, A., Weber, L., Leistner, P., AcuWood: Korrelation der subjektiven und objektiven Bewertung von Trittschall in Wohngebäuden, DAGA Tagungsband 2014.

[11] DIN 4109 Schallschutz im Hochbau, Teil 1 und Teil 2 in der konsolidierten Fassung, 2018-01

[12] Rabold, A., Mecking, S., Huber, A., Kohrmann, M., Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, Teilbereich Bauakustik, Forschungsbericht Technische Hochschule Rosenheim, 2020

[13] Blödt, A., Rabold, A., Halstenberg, M., Ecker, T., Huber, A., Huissel, L., Löffler, S., Scheuerpflug, M., Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung, holzbau handbuch, REIHE 3, TEIL 3, FOLGE 1, Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2019

[14] Rabold, A., Schödel, B., Schanda, U., Schalltechnische Optimierung von Unterdeckenabhängern, DAGA Tagungsband,2019

[15] Rabold, A., Châteauvieux-Hellwig, C., Mecking, S., Nachweis von Holzdecken nach DIN 4109 - Möglichkeiten und Grenzen, DAGA Tagungsband 2018