

Schlussbericht

zum Verbundvorhaben

Thema:

**Psychoakustisch determiniertes Klassifikationssystem
zum Schallschutz für CO₂-bindende Bauweisen –
SKH-CO₂**

Zuwendungsempfänger:

**Teilvorhaben 1: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V. für das
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)**

Teilvorhaben 2: Holzbau Deutschland Institut e.V. (HDI)

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1: 2218WK16A3

Teilvorhaben 2: 2218WK16B3

Laufzeit:

01.06.2020 bis 31.10.2022

Monat der Erstellung:

12/2022

Datum der Veröffentlichung:

06.06.2023



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger für den Waldklimafonds unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

SCHLUSSBERICHT

I. Ziele

1. Aufgabenstellung (HDI)

Die Zielsetzung des Projekts lautete ein psychoakustisches Klassifikationssystem zu entwickeln, das eine leicht zu kommunizierende Beurteilungsskala für die akustische Qualität von Deckenkonstruktionen von Einfamilienhäusern in Holzbauweise definiert und damit eine Prognose bezüglich der zu erwartenden Zufriedenheit bzw. Unzufriedenheit ihrer Bewohner ermöglicht. Dabei sollten auch die sogenannten tiefen Frequenzen von 50 Hz bis 100 Hz mit untersucht und deren Bedeutung abschließend bestätigt werden. Ein wesentliches Element des Projektes ist außerdem die Veröffentlichung eines Leitfadens, der entscheidend zur Verbesserung der Planungs- und Ausführungssicherheit, zur Qualitätsverbesserung und Kostenreduzierung sowie zur Rechtssicherheit bei künftig anstehenden Bauvorhaben beitragen sollte.

Als erster Schritt wurden in AP01 sogenannte „Standardfälle“ definiert, die übliche konstruktive Lösungen für Geschosdecken in Holzbauweise abbilden. Diese 44 Standardaufbauten waren entsprechend der zu erwartenden Trittschalldämmung zu klassifizieren. Die Luftschalldämmung sollte nicht näher untersucht werden, da bei der Beurteilung der Schalldämmqualität einer Geschosdecke der Trittschall die akustisch kritischere Größe darstellt.

Aus diesem Bauteilkatalog sollte in AP02 eine Stichprobe von 16 Decken für die nachfolgenden messtechnischen und psychoakustischen Untersuchungen ausgewählt werden, welche möglichst viele unterschiedliche Schalldämmqualitäten abdeckt. Für diese Auswahl mussten in AP03 16 Referenzgebäude für die Feldmessungen gefunden werden, die über zumindest ähnliche Deckenaufbauten verfügen. Dabei konnte auf Musterhäuser sowie Wohngebäude mit privaten Eigentümern zurückgegriffen werden. Zur Vorbereitung der Messungen wurden entsprechende Planungsunterlagen des Gebäudes benötigt (Grundrisse, Schnitte, detaillierter Deckenaufbau, Angaben zum Aufbau der Flanken), die vorab über das bauausführende Unternehmen oder den Bauherren beschafft werden mussten. Für die Bewohner der untersuchten Räumlichkeiten war im Forschungssetat eine finanzielle Vergütung von 500 € vorgesehen, um die Bereitschaft zur Teilnahme am Projekt zu erhöhen und evtl. entstehende Unannehmlichkeiten zu entschädigen. Außerdem wurden alle um die Teilnahme an einer begleitenden schriftlichen psychoakustischen Befragung zum Thema Schallschutz gebeten. Nach der Vereinbarung eines Messtermins waren vor Ort im Rahmen von AP03 folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

- Überprüfung und Dokumentation der vor Ort vorgefundenen baulichen Verhältnisse (insbesondere genauer Aufbau der untersuchten Decke und – falls akustisch von Belang – der vorhandenen Flankenwege).
- Überprüfung der vorhandenen Fremdgeräuschsituation (beim Vorhandensein von Störgeräuschen, die die Messungen beeinträchtigen könnten, musste das Messprogramm entsprechend angepasst und z. B. auf lärmarme Zeiten verschoben werden).
- Messung der Trittschalldämmung der Decke. Als Anregungsquelle dienten das Normhammerwerk, der japanische Gummiball sowie ein menschlicher Geher mit unterschiedlichem Schuhwerk (Anzugschuhe, Sportschuhe und auf Socken). Um die unvermeidliche Problematik im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Trittschallanregung so weit wie möglich zu entschärfen, kam bei den Messungen immer derselbe Geher mit denselben Schuhen zum Einsatz.
- Aufzeichnung von Geräuschbeispielen für die verschiedenen Anregungsarten. Die Aufzeichnung erfolgte binaural unter Verwendung eines Kunstkopfes.

Nach Auswertung der Messdaten und Aufbereitung der aufgezeichneten Hörbeispiele folgte in AP04 die Durchführung der Hörversuche. Diese sollten in den Räumlichkeiten des Fraunhofer-Institut für Bauphysik stattfinden und mit mind. 30 Testpersonen aus dem Probanden-Pool des Fraunhofer-Institut für Bauphysik durchgeführt werden. Für die Probanden war ebenfalls eine Teilnahmevergütung von 20 € pro Person vorgesehen. Ziel des Hörversuches war es die bauakustischen Messwerte mit dem subjektiven Empfinden in Verbindung zu setzen. Die Bewertung der Hörbeispiele durch die Probanden erfolgte auf der Grundlage von etablierten Fragebogenskalen, die die Aspekte Lautheit, Lästigkeit und erwartete Langzeitbelästigung betrachteten.

Nach dem Abschluss der Hörversuche wurden die Daten bereinigt, statistisch ausgewertet und mit den Daten der Feldmessungen sowie der Bewohnerbefragung zusammengeführt, um gemäß AP05 die psychoakustischen Schallschutzklassen zu entwickeln. Leider war jedoch die vorhandene Datenlage für das Aufstellen eines validierten Klassifikationssystems nicht ausreichend.

Der Leitfaden, der inhaltlich auf dem aufgestellten psychoakustisch determinierten Klassifikationssystem basieren sollte, konnte somit in AP06 nicht umgesetzt werden. Dieser war als wesentliches Element des Projektes dafür angedacht Planer und ausführende Unternehmen unter Berücksichtigung der akustischen Besonderheiten bei der fachgerechten Planung und Herstellung der baulichen Schallschutzqualität zu unterstützen. Außerdem sollte er auch Darstellungen von technischen Detaillösungen und Empfehlungen für die bauvertragliche Kommunikation mit den Bauherren beinhalten. Er war als wichtiger Beitrag zur Steigerung der Akzeptanz und des qualitativen Wachstums der Holzbauweise sowie den sich damit verbindenden Vorteilen einer verstärkten Holzverwendung vorgesehen (Nachhaltige Rohstoffnutzung, Ressourceneffizienz, Energieeffizienz, Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft).

Bei der Planung und zum Projektstart nicht vorherzusehen war das Auftreten der Corona-Pandemie. Die Krise traf das Projekt in AP03 während der Feldmessungen und hielt bis zum Projektende an. Dadurch ergaben sich zusätzliche Herausforderungen, die schlussendlich auch dazu führten, dass die Laufzeit des Projektes um 1 Jahr verlängert wurde.

2. Stand der Technik (IBP und HDI)

Der Mensch ist in seiner Umwelt einer steigenden Zahl von Lärmquellen ausgesetzt. Umso wichtiger wird daher der Schutz vor Geräuschbelastungen - insbesondere im privaten Bereich als Rückzugsort mit der Möglichkeit zur Erholung oder Rekonvaleszenz.

Dabei stellen vor allem Trittschallgeräusche im mehrgeschossigen Wohnungsbau wie auch im eigengenutzten Wohnungsbau (Einfamilienhaus) eine entscheidende Quelle für akustische Störungen dar. Unter Umständen können auch deutliche Belästigungen der Bewohner auftreten, selbst wenn die geltenden Anforderungen an den Trittschallschutz nach DIN 4109-1 oder sogar DIN 4109-5 eingehalten werden. Ähnlich verhält es sich z.B. mit den Empfehlungen der VDI 4100 für den bewerteten Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$. Der Grund hierfür ist, dass bei allen üblichen Bauweisen die Schalldämmung mit der Frequenz sinkt und typische Trittschallanregungen (z.B. Laufen, Stühle rücken) wesentliche Schallenergieanteile in den tiefen Frequenzen aufweisen. Besonders im Holzbau kann es deshalb zu einer deutlichen Trittschallübertragung im tiefen Frequenzbereich unter 100 Hz kommen. Dieser Frequenzbereich wird vom bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ der DIN 4109-1 sowie DIN 4109-5 sowie vom bewerteten Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ der VDI 4100 als Bewertungsmaßstab im Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz nicht erfasst und somit nicht berücksichtigt. Seit der Fassung von 1997 ist in der DIN EN ISO 717-2 mit der Einführung der Spektrum-Anpassungswerte allerdings ein Bewertungsverfahren vorhanden, bei dem die Berücksichtigung der tiefen Frequenzen bis zu 50 Hz möglich ist. Die Verwendung des bewerteten Norm-Trittschallpegels mit Spektrum-Anpassungswert $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ zur Charakterisierung des Trittschallpegels wurde inzwischen mehrfach untersucht (siehe beispielsweise: Lang, 2009; Hagberg, 2010) und hat vor allem in den skandinavischen Ländern wie Schweden Eingang in die Normung gefunden (Rasmussen, 2010). In Deutschland dagegen ist dieser Schritt zurzeit normativ noch nicht erfolgt, siehe (DIN 4109-2).

Im Rahmen eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Vorhabens hat das Holzbau Deutschland Institut in Zusammenarbeit mit den großen Holzbau-Verbänden Deutschlands und unter Einbeziehung anerkannter wissenschaftlicher Experten 2019 das Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) über den INFORMATIONSDIENST HOLZ veröffentlicht. In dieser verständlichen und praxistauglichen Schrift wird u.a. ein 3-stufiges Klassifizierungssystem für Reihen- und Mehrfamilienhäuser ausgegeben, welches auf Erfahrungswerten aus der Praxis beruht und konkrete Anforderungen für die sogenannten tiefen Frequenzen im Bereich von 50 Hz bis 100 Hz definiert. Vereinfachend zum Verfahren der DIN EN ISO 717-2 mit $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ sind die Spektrumanpassungswerte hier aber nur auf das Bauteil ohne Ansatz des Flankeneinflusses anzuwenden, also $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$. Erste Forschungsergebnisse belegen die Annahme, dass die Flanken bei der tieffrequenten Trittschallübertragung nur eine untergeordnete Rolle spielen und deshalb vernachlässigt werden können (Rabold, 2020). Mit dem Praxishandbuch ist die Berücksichtigung der tiefen Frequenzen damit auch in Deutschland erstmals möglich.

Ein weiteres Problem aller bestehenden Regelwerke ist allerdings die abstrakte Darstellung der frequenzabhängigen Luft- und Trittschalldämmung anhand von sogenannten Einzahlwerten, die keine anschauliche Vorstellung der späteren tatsächlichen Hörwahrnehmung zulassen. Das macht es für Unternehmen schwierig, sich mit den Bauherren auf konkrete Anforderungswerte zu verständigen und einvernehmliche sowie rechtssichere Vereinbarungen zum gewünschten Schallschutzniveau zu treffen. Ansätze, wie sie in der VDI 4100 oder auch von der DEGA in ihrem Schallschutzausweis durch verbale Beschreibung akustischer Eigenschaften zur näheren Erklärung der akustischen Qualität vorgelegt wurden, erscheinen nicht ausreichend geeignet, Qualitätsstufen transparent und verständlich wiederzugeben. Die in der VDI 4100 enthaltenen Vorgaben sind zu grob, um die vielfältigen Interessen der Bauherrschaft zu befriedigen. Auch die DEGA Empfehlung 103, die ebenfalls ein mehrstufiges Schallschutzkonzept für den eigenen Wohnbereich beinhaltet, hat nur orientierenden Charakter, ist noch nicht ausreichend verifiziert und hat dadurch keinen Eingang in die Planungspraxis gefunden. Es ist davon auszugehen, dass die juristischen

Auseinandersetzungen auf der Tagesordnung bleiben, solange nicht transparente und nachvollziehbare Bewertungsgrößen definiert werden.

Erste Ansätze zur Erfassung der menschlichen Hörwahrnehmung gelangen über den $L_{AF,max,n}$ [in dB(A)]. Durch die A-Bewertung kann die Störf Wirkung von Schalldruckpegeln im menschlichen Gehör näherungsweise abgebildet werden. Anhand von Erfahrungswerten, ab welcher dB(A)-Schwelle sich Bewohner gestört fühlen, konnte so aus vorhandenen Messungen in Verbindung mit den zugehörigen $L_{n,w} + C_{150,2500}$ -Werten der Decke auch das bereits erwähnte 3-stufige Klassifizierungssystem für den Holzbau abgeleitet werden. Eine psychoakustische Betrachtung erfolgte hier allerdings nicht.

Das 2014 abgeschlossene EU-Forschungsprojekt AcuWood (WoodWisdomNet-Projekt "Acoustics in Wooden Buildings") mit Beteiligung des Fraunhofer-Institut für Bauphysik hat durch Korrelation der technischen Bewertungsgrößen mit der subjektiven Bewertung von Trittschallgeräuschen einen einfach zu verstehenden Zusammenhang zwischen Bewertungsgröße und prognostizierter prozentualer Anzahl von zufriedenen bzw. unzufriedenen Personen im mehrgeschossigen Wohnungsbau hergestellt. Dabei beruht die Analyse auf Hörversuchen mit Probanden sowie einer großen Anzahl von akustischen Aufnahmen in verschiedenen im Labor simulierten Bausituationen. Hörversuche haben sich bei der Evaluation von technischen Messgrößen in diesem Projekt bewährt. Zudem ist der Ansatz der Verknüpfung technischer Messgrößen mit Urteilen zur empfundenen Belästigung oder zur akustischen Qualität auch im Rahmen der Betrachtung von Umweltlärm fest etabliert. Allerdings wurde nur der mehrgeschossige Wohnungsbau betrachtet und die Ergebnisse können nicht unmittelbar auf den Einfamilienhausbau angewendet werden. Bereits die in der DIN 1320 aufgeführte Definition von Lärm als unerwünschter Schall beinhaltet eine subjektive Bewertung durch die betroffene Person. Es ist bekannt, dass die akustische Wahrnehmung durch die persönliche Einstellung zur Lärmquelle und die Beeinflussbarkeit der Lärmquelle mitbestimmt wird (siehe zum Beispiel: Park et al., 2016). Bezüglich Tritt- und Luftschall sind die verursachenden Quellen im Einfamilienhausbau in der Regel Familienmitglieder und damit sowohl bekannt als auch beeinflussbar. Daraus leitet sich daher eventuell eine höhere Toleranz ab. Im Vergleich zum mehrgeschossigen Holzbau sind beim Nutzer von Einfamilienhäusern daher andere Anforderungen zu erwarten. In einem europäischen Anschlussprojekt des Fraunhofer-Institut für Bauphysik zu AcuWood mit dem Namen Silent Timber Build wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt, da in diesem Projekt weiterhin nur der mehrgeschossige Holzbau adressiert wurde und eine Erweiterung auf den Einfamilienhausbau nicht Teil des Projektes war. Der Fokus lag dort allein auf der Simulation und Auralisation von Holzkonstruktionen sowie auf deren akustischer Optimierung.

Der im Projekt AcuWood festgestellte Zusammenhang zwischen genormten Trittschallmessungen mit technischen Anregungsquellen und der subjektiven Wahrnehmung des Schallschutzniveaus bei mehrgeschossigen Holzbauten bilden die Grundlage für SKH-CO2. Es wurde außerdem die Erkenntnis gewonnen, dass Messungen mit dem japanischen Gummiball Gehgeräusche in Gebäuden am besten repräsentieren. Da sich die Normenreihe DIN 4109 auf das Norm-Hammerwerk als Trittschallquelle bezieht, ist es baupraktisch jedoch günstiger sich mit dem Klassifizierungssystem ebenfalls auf das übliche Norm-Hammerwerk zu beziehen. In Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen konnte dahingehend gezeigt werden, dass der Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ allein nicht mit der wahrgenommenen Schallschutzwirkung von Holzdecken korreliert, aber die Einzahlangabe $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ nach DIN EN ISO 717-2 die menschliche Hörwahrnehmung besser wiedergibt. Dieses Ergebnis zeigte sich auch in einer Studie von Vardaxis und Kollegen aus dem Jahr 2018 (Vardaxis et al., 2018). Auch das modifizierte Norm-Hammerwerk lieferte eine gute Übereinstimmung im AcuWood Projekt, ist aber wegen seines zu geringen Schallpegels für den praktischen Einsatz am Bau nicht geeignet. Die im Labor durchgeführten Hörversuche, bei denen den Probanden vor Ort aufgezeichnete Audioaufnahmen vorgespielt wurden, wurden im AcuWood Projekt mit den Befragungen der Bewohner des untersuchten Gebäudes verglichen. Es zeigte sich, dass Hörversuche im Labor als probates Mittel zur Beurteilung der akustischen Qualität von Holzbalkendecken angesehen werden können. Durch Kombination der Einzahlangabe $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ mit der prozentualen Anzahl der durch Trittschall gestörten Personen eröffnete sich im AcuWood Projekt erstmals die Möglichkeit, ein psychoakustisches Klassifikationssystem für Holzbalkendecken zu entwickeln, das auch Personen ohne akustische Vorkenntnisse eine einfache und anschauliche Vorstellung von der Schallschutzwirkung der Decken vermittelt. Die Ergebnisse des AcuWood-Projektes wurden auch auf mehreren Tagungen vorgestellt und in Fachzeitschriften veröffentlicht (Späh et al., 2013), (Liebl et al., 2014), (Coguenanff et al., (2017).

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen (HDI)

Das Vorhaben wurde durch Organisationen des deutschen Holzbaus, Hochschulen und Unternehmern fachlich begleitet. Die projektbegleitende Arbeitsgruppe setzte sich aus den folgenden Mitgliedern zusammen:

Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik Adrian Blödt

Ingenieurbüro Blödt

Dipl.-Ing. (FH) Martin Müller

Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF) e.V.

Prof. Dr. Andreas Liebl	Hochschule Döpfer
Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold	Technische Hochschule Rosenheim
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Schäfer	Deutscher Holzfertigbau-Verband (DHV) e.V.
M.Eng. Oliver Justus	Gütegemeinschaft Holzbau Ausbau Dachbau (GHAD) e.V.

Der BDF, der DHV, die GHAD und Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt haben dem Holzbau Deutschland Institut im AP03 dabei geholfen eine ausreichende Anzahl an passenden Holzbauprojekten zu den festgelegten Deckenaufbauten zu finden und Kontakt zu den ausführenden Verbandsunternehmen oder Bauherren aufzunehmen.

Prof. Dr. A. Liebl unterstützte das Forschungsvorhaben ebenfalls durch sein Expertenwissen aus der Beteiligung am Vorgängerprojekt AcuWood des Fraunhofer-Institut für Bauphysik.

Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt und Prof. Dr.-Ing. A. Rabold waren für die Erarbeitung und das Verfassen des Leitfadens vorgesehen und haben die entsprechenden Vorarbeiten dazu geleistet.

Im AP06 sollten die in der Arbeitsgruppe vertretenen Organisationen in hohem Maße dazu eingebunden werden, die Projektergebnisse und den Leitfaden Publik zu machen (z.B. durch Veröffentlichungen auf ihrer Homepage, in Verbandsorganen, Fachzeitschriften, im Lehrbereich von Hochschulen, in Fachveranstaltungen etc.) sowie bei Fragen der Anwendung des psychoakustischen Klassifikationssystems beratend zur Verfügung zu stehen. Dieser Aufgabenteil entfällt nun.

II. Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket / Meilenstein		Zeitraum der Bearbeitung																													
		2020						2021						2022																	
Nr.	Kurzbeschreibung	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
AP01	Ermittlung des Standardfalls im Holzbau																														
	HDI																														
M1	Standardfälle																														
AP02	Klassifikation der Decken bezüglich $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$																														
	HDI																														
	IBP																														
M2	Schalltechnische Deckenklassifikation																														
AP03	Messungen, Aufnahmen und Befragungen vor Ort																														
	HDI																														
	IBP																														
Z1	30.04.2021 Zwischenbericht Nr. 1																														
AP04	Entwicklung psychoakustischer Schallschutzklassen																														
	IBP Hörversuch Vorbereitung und Durchführung																														
	IBP Hörversuch Auswertung																														
	IBP Fragebogen Auswertung																														
	IBP Gesamtauswertung																														
	IBP Evaluation																														
M3	Psychoakustische Schallschutzklassen																														
AP05	Dokumentation der Ergebnisse																														
	HDI																														
	IBP																														
Z2	31.01.2022 Zwischenbericht Nr. 2																														
M4	Abschlussbericht																														
AP06	Wissenstransfer																														
	HDI Erarbeitung Leitfaden (digital, gedruckt)																														
	IBP Erarbeitung Leitfaden (digital, gedruckt)																														
M5	Publikation																														
SB	31.12.2022 Schlussbericht																														


 geplanter Zeitraum
 tatsächlicher Zeitraum

Tabelle 1: Zeitplanung

1.1. Standardaufbauten - AP01 (HDI)

Um typische Standardfälle für Holzdecken zu identifizieren, wurden von den Projektpartnern in Abstimmung mit dem Bundesverband Deutscher Fertigtbau e.V. (BDF), Deutscher Holzfertigtbau-Verband e.V. (DHV), Gütegemeinschaft Holzbau Ausbau Dachbau E.V. (GHAD) und Praxisvertretern aus der projektbegleitenden Arbeitsgruppe unterschiedliche Aufbauten betrachtet. Dabei spielten der Bauteilkatalog des Praxishandbuches „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) des INFORMATIONSDIENST HOLZ, die Aufbautenübersicht von dataholz.eu und einzelne Aufbauten aus Prüfungen der ift Rosenheim und der Holz Forschung Austria sowie der Forschungsprojekte Silent Timber Build und AcuWood eine Rolle. Insgesamt wurden 44 Decken im Bereich von $30 \text{ dB} \leq L_{n,w} \leq 68 \text{ dB}$ ausgewählt, siehe folgende Aufzählung. Diese teilten sich auf folgende Deckentypen auf: Holzbalkendecken mit Nass- und Trockenestrich (16x bzw. 9x), Massivholzdecken mit Nass- und Trockenestrich (13x bzw. 3x) und Holz-Beton-Verbunddecken (3x).

1	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 16			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{l,50-2500}$)	30 (10)
2	30	Trittschalldämmung Holzfasern, $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)		
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R_w	82
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH b/h = 60 x 180 mm, e $\geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger h = 240 mm, e $\geq 625 \text{ mm}$	($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	(-16) (-31)

6	/	Hohlraumbedämpfung d = 200mm, oder alternativ d = 100mm und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand e = 400 mm		
7	140	Abhängung mit 2x CD-Profil und AMCAkustik Super-Abhänger, e ≥ 400 mm, $f_0 < 20 \text{ Hz}$	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	40
8	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

2	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 26 Zeile 7			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$	38
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$	$(C_{1,50\text{-}2500})$	(5)
3	100	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w $(C_{50\text{-}5000})$ $(C_{tr,50\text{-}5000})$	76 (-10) (-25)
4	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettchichtholzelement	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	43

3	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 30			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	25	Trockenestrich aus zementgebundener Spanplatte ZSP oder Gipsfaserplatte GF, $m' \geq 31 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ $(C_{1,50\text{-}2500})$	34 (11)
2	30	Trittschalldämmung Holzfasern, $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$		
3	30	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)		
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R_w $(C_{50\text{-}5000})$ $(C_{tr,50\text{-}5000})$	81 (-18) (-33)
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH b x h = 60 x 180 mm, e ≥ 625 mm, alternativ Stegräger h = 240 mm, e ≥ 625 mm		
6	/	Hohlraumbedämpfung d = 200mm, oder alternativ d = 100mm und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand e = 400 mm)		
7	140	Abhängung mit 2x CD-Profil und AMCAkustik Super-Abhänger, e ≥ 400 mm, $f_0 < 20 \text{ Hz}$	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	45
8	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

4	Prüfaufbau ift Rosenheim			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$	42
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$	$(C_{1,50\text{-}2500})$	(3)
3	90	Stahlbeton, $m' \geq 215 \text{ kg/m}^2$	R_w	71
4	/	Verbindung über Kerfen	$(C_{50\text{-}5000})$ $(C_{tr,50\text{-}5000})$	(-7) (-21)
5	165	Brettsperrholzelement	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	45

5	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 15			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ $(C_{1,50\text{-}2500})$	32 (14)
2	30	Trittschalldämmung Holzfasern, $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)		

4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegträger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
6	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200 \text{ mm}$, oder alternativ $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwoll- faserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	R_w ($C_{50\text{-}5000}$) ($C_{tr,50\text{-}5000}$)	82 (-18) (-33)
7	65	Abhängung mit CD-Profil und Direktabhänger, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 30 \text{ Hz}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50\text{-}2500}$	46
8	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

6	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 22			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	80	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 177 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50\text{-}2500}$)	37 (9)
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegträger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
5	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200\text{mm}$, oder alternativ $d = 100\text{mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwoll- faserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	R_w ($C_{50\text{-}5000}$) ($C_{tr,50\text{-}5000}$)	83 (-18) (-33)
6	44	Abhängung mit CD-Profil und VF-Abhänger, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 20 \text{ Hz}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50\text{-}2500}$	46
7	3 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

7	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 26 Zeile 8			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50\text{-}2500}$)	40 (7)
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. $800 \times 800 \text{ mm}$ mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50\text{-}5000}$) ($C_{tr,50\text{-}5000}$)	73 (-16) (-32)
4	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement	$L_{n,w} +$ $C_{I,50\text{-}2500}$	47
5	2 x 15	Gipsfaserplatte GF, $m' \geq 17 \text{ kg/m}^2$		

8	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 24 Zeile 5			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50\text{-}2500}$)	43 (6)
2	20	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. $800 \times 800 \text{ mm}$ mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50\text{-}5000}$) ($C_{tr,50\text{-}5000}$)	74 (-11) (-26)
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegträger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
6	100	Hohlraumbedämpfung, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwoll- faserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	$L_{n,w} +$ $C_{I,50\text{-}2500}$	49
7	24	Holzlaten $b \times h = 48 \times 24 \text{ mm}$, $e \geq 400 \text{ mm}$		

8	2 x 12,5	Gipsbauplatte GK, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$		
---	----------	--	--	--

9	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 17			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	37 (12)
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	82 (-16) (-31)
5	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200 \text{ mm}$, oder alternativ $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattebefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)		
6	70	Abhängung mit CD-Profil und QH.F 220 plus, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 20 \text{ Hz}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	49
7	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

10	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 19			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	42 (7)
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	80 (-16) (-31)
5	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200 \text{ mm}$, oder alternativ $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattebefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)		
6	57	Abhängung mit Holzlattung und VF-Abhänger, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 20 \text{ Hz}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	49
7	2 x 18	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$		

11	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 26 Zeile 5			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	45 (4)
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$		
3	40	Betonsteinbeschwerung $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$ geklebt oder im Sandbett gelagert, Restfeuchte $\leq 1,8\%$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	72 (-8) (-23)
4	/	Rieselschutzfolie		
5	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	49

12	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 27 Zeile 2			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	23 (26)
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. $800 \times 800 \text{ mm}$ mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	82 (-20) (-35)
4	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement		

5	180	Abhängung mit CD-Profil und Direktabhängiger, $e \geq 400$ mm, $f_0 < 30$ Hz		
6	120	Hohlraumbedämpfung $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400$ mm)	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	49
7	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

13	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 26 Zeile 6			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$	40
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$	$(C_{1,50\text{-}2500})$	(9)
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800×800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w $(C_{50\text{-}5000})$ $(C_{tr,50\text{-}5000})$	74 (-9) (-24)
4	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	49

14	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 7			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$	40
2	30	Trittschalldämmung Holzfaser, $s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$	$(C_{1,50\text{-}2500})$	(10)
3	50	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800×800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w $(C_{50\text{-}5000})$ $(C_{tr,50\text{-}5000})$	71 (-6) (-19)
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180$ mm, $e \geq 625$ mm, alternativ Stegräger $h = 240$ mm, $e \geq 625$ mm		
6	100	Hohlraumbedämpfung, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400$ mm)	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	50
7	27	Federschiene, $e \geq 417$ mm		
8	12,5	Gipsbauplatte GK, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$		

15	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 25			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	22	Trockenestrich aus zementgebundener Spanplatte ZSP oder Gipsfaserplatte GF, $m' \geq 29 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$	45
2	20	Trittschalldämmung Holzfaser, $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$	$(C_{1,50\text{-}2500})$	(5)
3	30	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800×800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w $(C_{50\text{-}5000})$ $(C_{tr,50\text{-}5000})$	67 (-7) (-19)
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180$ mm, $e \geq 625$ mm, alternativ Stegräger $h = 240$ mm, $e \geq 625$ mm		
6	100	Hohlraumbedämpfung, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400$ mm)	$L_{n,w} + C_{1,50\text{-}2500}$	50
7	27	Federschiene, $e \geq 417$ mm		
8	12,5	Gipsbauplatte GK, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$		

16	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 27			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	20	Trockenestrich aus zementgebundener Spanplatte ZSP oder Gipsfaserplatte GF, $m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	34 (16)
2	30	Trittschalldämmung Holzfasern, $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	80 (-19) (-34)
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
6	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200 \text{ mm}$, oder alternativ $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzplattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	50
7	65	Abhängung mit CD-Profil und Direktabhängern, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 30 \text{ Hz}$		
8	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

17	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 12			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	40 (11)
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	80 (-16) (-31)
5	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200 \text{ mm}$, oder alternativ $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzplattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)		
6	40	Abhängung mit CD-Profil und Direktabhängern, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 30 \text{ Hz}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	51
7	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

18	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 26 Zeile 2			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	46 (5)
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$		
3	40	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	68 (-7) (-20)
4	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	51

19	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 29 Zeile 1			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	46 (5)
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$		
3	80	Stahlbeton, $m' \geq 200 \text{ kg/m}^2$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	67 (-9) (-22)
4	/	PE-Folie (Rieselschutz)		
5	/	Verbindungsmitel z.B. Verbundschrauben, eingeklebte HBV-Schubverbinder		

6	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$	51	
20	Prüfaufbau Silent Timber Build 4				
	d in mm	Baustoff		in dB	
	1	65	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 130 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	30,6 /
	2	/	Kunststoffolie		
	3	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	71,6
	4	40	gebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$		
	5	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
	6	240	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$	ca. 52
	7	100	Mineralwollefüllung $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$		
8	27	Abhängung mit CD-Profil und Befestigungs-Clip, $e \geq 400 \text{ mm}$			
9	12,5	Gipskartonplatte GKB, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$			
21	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 9				
	d in mm	Baustoff		in dB	
	1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	46 (7)
	2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
	3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	76 (-13) (-28)
	4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
	5	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200 \text{ mm}$, oder alternativ $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzplattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$	53
6	27	Federschiene, $e \geq 417 \text{ mm}$			
7	12,5	Gipsbauplatte GK, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$			
22	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 28				
	d in mm	Baustoff		in dB	
	1	20	Trockenestrich aus zementgebundener Spanplatte ZSP oder Gipsfaserplatte GF, $m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	42 (11)
	2	10	Dämmung Holzfasern		
	3	30	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 400 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. $800 \times 800 \text{ mm}$ mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	75 (-16) (-31)
	4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
	5	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
	6	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200 \text{ mm}$, oder alternativ $d = 100 \text{ mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzplattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$	53
7	65	Abhängung mit CD-Profil und Direktabhängern, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 30 \text{ Hz}$			
8	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$			

23	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 27 Zeile 1			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	24 (29)
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	81 (-21) (-36)
4	120	Brettsperreholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement		
5	90	Abhängung mit CD-Profil und Direktabhänger, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 30 \text{ Hz}$		
6	75	Hohlraumbedämpfung $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattebefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	53
7	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

24	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 27 Zeile 5			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	22	Trockenestrich aus zementgebundener Spanplatte ZSP oder Gipsfaserplatte GF, $m' \geq 29 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	33 (20)
2	30	Trittschalldämmung Holzfasern, $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$, Restfeuchte $\leq 1,8\%$ (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	79 (-18) (-32)
4	120	Brettsperreholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement		
5	180	Abhängung mit CD-Profil und Direktabhänger, $e \geq 400 \text{ mm}$, $f_0 < 30 \text{ Hz}$		
6	120	Hohlraumbedämpfung $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40-50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattebefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	53
7	2 x 12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

25	Prüfaufbau Holz Forschung Austria			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	25	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten, $m' \geq 30 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	50 (6)
2	/	Trennschicht Kunststoff		
3	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 42 \text{ MN/m}^3$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	62 (-8) (-20)
4	60	Kiesschüttung 4/8, elastisch gebunden		
5	/	Rieselschutz		
6	140	Brettsperreholz	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	56

26	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 8			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	50 (7)
2	60	2x 30mm Trittschalldämmung Holzfasern, $s'_{ges} \leq 10 \text{ MN/m}^3$		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	71 (-11) (-24)
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegträger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
5	100	Hohlraumbedämpfung, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung		

		mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)		
6	27	Federschiene, $e \geq 417 \text{ mm}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	57
7	12,5	Gipsbauplatten, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$		

27	Prüfaufbau Silent Timber Build 3			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	33	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten, $m' \geq 44 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ $(C_{I,50-2500})$	45,2 /
2	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
3	12	Zwischenschicht aus Kunststoff		
4	20	Trittschalldämmung Mineralwolle	R_w $(C_{50-5000})$ $(C_{tr,50-5000})$	68,7
5	25	Holzwohle-Leichtbauplatte		
6	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
7	240	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$,		
8	100	Mineralwollefüllung $d = 100\text{mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	ca. 58
9	27	Abhängung mit CD-Profil und Befestigungs-Clip, $e \geq 400 \text{ mm}$		
10	12,5	Gipskartonplatte GKB, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$		

28	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 23			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	22	Trockenestrich aus Gipsbauplatten oder Holzwerkstoffplatten (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ $(C_{I,50-2500})$	56 (2)
2	25	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 15 \text{ MN/m}^3$		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R_w $(C_{50-5000})$ $(C_{tr,50-5000})$	63 (-11) (-25)
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
5	100	Hohlraumbedämpfung, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)		
6	27	Federschiene, $e \geq 417 \text{ mm}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	58
7	12,5	Gipsbauplatte, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$		

29	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 25 Zeile 18			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ $(C_{I,50-2500})$	50 (9)
2	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R_w $(C_{50-5000})$ $(C_{tr,50-5000})$	72 (-13) (-27)
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 180 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$, alternativ Stegräger $h = 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
5	/	Hohlraumbedämpfung $d = 200\text{mm}$, oder alternativ $d = 100\text{mm}$ und am Balken hochgezogen, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, , oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit $\rho = 40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlattenbefestigung im Abstand $e = 400 \text{ mm}$)		
6	35	Abhängung mit CD-Profil und Befestigungs-Clip, $e \geq 400 \text{ mm}$	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	59
7	12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		

30	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 26 Zeile 1			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$	56

			(C _{l,50-2500})	(3)
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	62 (-6) (-18)
3	120	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement	L _{n,w} + C _{l,50-2500}	59

31	Prüfaufbau Holz Forschung Austria			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	25	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten, $m' \geq 30 \text{ kg/m}^2$	L _{n,w} (C _{l,50-2500})	46 (13)
2	/	Trennschicht Kunststoff		
3	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 42 \text{ MN/m}^3$		
4	60	Kiesschüttung 4/8, elastisch gebunden	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	67 (-17) (-30)
5	/	Rieselschutz		
6	140	Brettsperrholz		
7	70	U-Direktabhängiger mit Lattung b x h = 60 x 60 mm, e \geq 625 mm	L _{n,w} + C _{l,50-2500}	59
8	60	Dämmung Mineralwolle, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$		
9	12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 9 \text{ kg/m}^2$		

32	Prüfaufbau AcuWood Haus F			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	/	Belag	L _{n,w} (C _{l,50-2500})	65* (-5)
2	55	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 115 \text{ kg/m}^2$		
3	90	40mm Trittschalldämmung EPS, $s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$ 50 mm EPS		
4	13	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	55* (-2) (-9)
5	/	PE-Folie		
6	140	Brettsperrholzelement, Brettstapeldecke (genagelt) oder flachkant verlegtes Brettschichtholzelement	L _{n,w} + C _{l,50-2500}	60*

* Werte mit Flanken und Fußbodenbelag ermittelt

33	Prüfaufbau AcuWood Haus A			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	9,5	Laminat mit 2,5mm integrierter Trittschalldämmschicht	L _{n,w} (C _{l,50-2500})	54* (6)
2	60	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 110 \text{ kg/m}^2$		
3	90	30mm Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 15 \text{ MN/m}^3$ 60 mm Zusatzdämmung		
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	55* (-4) (-14)
5	240	Balken aus Vollholz oder BSH b x h = 60 x 240 mm, e \geq 625 mm		
6	120	Mineralwolle, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$	L _{n,w} + C _{l,50-2500}	60*
7	22	Holzplatten b x h = 80 x 22 mm		
8	12,5	Gipskartonplatte GKB, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$		

* Werte mit Flanken und Fußbodenbelag ermittelt

34	Prüfaufbau AcuWood Haus B			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	10	Belag	L _{n,w} (C _{l,50-2500})	67* (-6)
2	65	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 130 \text{ kg/m}^2$		
3	/	Folie		
4	35	EPS, $s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	50* (0) (-5)
5	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$		
6	240	Balken aus Vollholz oder BSH b x h = 60 x 240 mm, e \geq 625 mm		
7	50	Mineralwolle, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$	L _{n,w} +	61*

8	22	Holzlaten b x h = 100 x 22 mm, e ≤ 500 mm	C _{1,50-2500}	
9	12,5	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, m' ≥ 10,5 kg/m ²		

* Werte mit Flanken und Fußbodenbelag ermittelt

35	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 24 Zeile 1			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, m' ≥ 120 kg/m ²	L _{n,w} (C _{1,50-2500})	54 (7)
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, s' ≤ 6 MN/m ³		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), m' ≥ 15 kg/m ²	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	63 (-8) (-21)
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH b x h = 60 x 180 mm, e ≥ 625 mm, alternativ Stegräger h = 240 mm, e ≥ 625 mm		
5	100	Hohlraumbedämpfung, 5 kPa s/m ² ≤ r ≤ 50 kPa s/m ² (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit ρ = 40-50 kg/m ³ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlatenbefestigung im Abstand e = 400 mm)		
6	24	Holzlaten b x h = 48 x 24 mm, e ≥ 400 mm	L _{n,w} + C _{1,50-2500}	61
7	12,5	Gipsbauplatte GK, m' ≥ 8,5 kg/m ²		

36	Prüfaufbau AcuWood Haus E			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	11	Parkett	L _{n,w} (C _{1,50-2500})	61* (0)
2	60	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, m' ≥ 125 kg/m ²		
3	50	20 mm + 30 mm EPS	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	53* (-1) (-8)
4	/	PE-Folie		
5	240	Brettschichtholz	L _{n,w} + C _{1,50-2500}	61*

* Werte mit Flanken und Fußbodenbelag ermittelt

37	Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ Tab. 24 Zeile 7			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	22	Trockenestrich aus zementgebundener Spanplatte ZSP oder Gipsfaserplatte GF, m' ≥ 29 kg/m ²	L _{n,w} (C _{1,50-2500})	55 (7)
2	20	Trittschalldämmung Mineralwolle, s' ≤ 30 MN/m ³		
3	60	gebund./ungebundene Schüttung, ρ ≥ 1500 kg/m ³ , Restfeuchte ≤ 1,8% (lose Schüttung gesichert mit Pappwaben, Sandmatten oder Lattengitter, Feldgröße ca. 800x800 mm mit Rieselschutzfolie)	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	61 (-10) (-23)
4	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), m' ≥ 15 kg/m ²		
5	180	Balken aus Vollholz oder BSH b x h = 60 x 180 mm, e ≥ 625 mm, alternativ Stegräger h = 240 mm, e ≥ 625 mm	L _{n,w} + C _{1,50-2500}	62
6	100	Hohlraumbedämpfung, 5 kPa s/m ² ≤ r ≤ 50 kPa s/m ² (Mineral-, Jute-, Hanf-, Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfaserdämmplatten, oder alternativ Zellulosefasereinblasdämmung mit ρ = 40-50 kg/m ³ und zusätzlicher Rieselschutzfolie mit Holzlatenbefestigung im Abstand e = 400 mm)		
7	24	Holzlaten b x h = 48 x 24 mm, e ≥ 400 mm		
8	12,5	Gipsbauplatte GK, m' ≥ 8,5 kg/m ²		

38	Prüfaufbau Silent Timber Build 1/ AcuWood			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	18	Gipsfaserplatte	L _{n,w} (C _{1,50-2500})	68 /
2	10	Holzwohleplatte		
3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), m' ≥ 15 kg/m ²	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀) (C _{tr,50-5000})	54 /
4	180	Balken aus Vollholz oder BSH b x h = 120 x 180 mm, e ≥ 625 mm		

5	100	Mineralwolleauflage, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 10 \text{ kPa s/m}^2$		
6	24	Holzplatten $b \times h = 48 \times 24 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$	$L_{n,w} +$	ca.
7	12,5	Gipskartonplatte GKB, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$	$C_{I,50-2500}$	68

39	dataholz.eu Aufbau gdrtxa02b-05			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	25	Trockenestrich	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	38
2	20	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$		/
3	60	lose Schüttung, $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$		
4	/	Rieselschutz	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	78
5	22	OSB		/
6	240	Balken aus Vollholz $b \times h = 80 \times 240 \text{ mm}$, $e \geq 838 \text{ mm}$		/
7	200	Mineralwolle [040; ≥ 30 ; $\geq 1000^\circ\text{C}$]		
8	/	Rieselschutz	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	ca.
9	27	Federschiene		54
10	2 x 18	Gipsplatte GKF		

40	dataholz.eu Aufbau tdmnxs01-01			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zementestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	38
2	40	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 6 \text{ MN/m}^3$		/
3	120	Splittschüttung Splitt 5/8, dauerelastisch gebunden	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	77
4	/	Rieselschutz		/
5	147	Brettsper Holz		$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$

41	dataholz.eu Aufbau gdrnxa07b-04/05 oder gdrnxa08b-04/05			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zementestrich oder Calciumsulfatestrich	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	41
2	/	Trennschicht Kunststoff		/
3	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$		
4	40	lose Schüttung, $\rho \geq 1800 \text{ kg/m}^3$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	70
5	/	Rieselschutz		/
6	18	OSB oder alternativ Spanplatte mit $d = 19 \text{ mm}$		/
7	220	Balken aus Vollholz $b \times h = 80 \times 220 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$		
8	100	Zellulose [040; E] oder alternativ Mineralwolle [040; ≥ 30 ; $\geq 1000^\circ\text{C}$]	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	ca.
9	24	Holzschalung Fichte $b \times h = 24 \times 100 \text{ mm}$, $a = 400 \text{ mm}$		49
10	27	Federschiene, zwischen Schalung angeordnet		
11	2x 12,5	Gipsplatte GKF, alternativ Gipsfaserplatte mit $2 \times d = 12,5 \text{ mm}$		

42	dataholz.eu Aufbau gdmnxa01a-00			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	50	Zement- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$)	44
2	/	Trennschicht Kunststoff		/
3	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$		
4	50	Schüttung elastisch gebunden, $m' \geq 75 \text{ kg/m}^2$	R_w ($C_{50-5000}$) ($C_{tr,50-5000}$)	79
5	/	Rieselschutz		/
6	134	Brettsper Holzelement, mind. 5 lagig und Decklage mind. 26 mm, alternativ Brettstapelelement		/
7	70	Holzlattung Fichte $b \times h = 40/50 \text{ mm}$ auf Schwingbügeln		
8	50	Mineralwolle [040; ≥ 16 ; $< 1000^\circ\text{C}$]	$L_{n,w} +$ $C_{I,50-2500}$	ca.
9	12,5	Gipsplatte GKF oder alternativ Gipsfaserplatte		59

43	dataholz.eu Aufbau gdmnxn01a-00			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	60	Zementestrich, $m' \geq 144 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w}$	45
2	/	Trennschicht Kunststoff	$(C_{1,50-2500})$	/
3	30	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$	R_w	75
4	60	Schüttung elastisch gebunden, $m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$	$(C_{50-5000})$	/
5	/	Rieselschutz	$(C_{tr,50-5000})$	/
6	150	Brettsperrholz	$L_{n,w} +$	ca.
7	12,5	Gipsplatte GKF oder Gipsfaserplatte	$C_{1,50-2500}$	50

44	Prüfaufbau Silent Timber Build 5			
	d in mm	Baustoff		in dB
1	10	Parkett	$L_{n,w}$	44
2	80	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 190 \text{ kg/m}^2$	$(C_{1,50-2500})$	/
3	/	PE-Folie	R_w	/
4	17	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 9 \text{ MN/m}^3$	$(C_{50-5000})$	/
5	20	EPS, $\rho \geq 20 \text{ kg/m}^3$	$(C_{tr,50-5000})$	/
6	100/120	Stahlbeton, $m' \geq 265 \text{ kg/m}^2$	$L_{n,w} +$	ca.
7	120/100	Brettstapeldecke	$C_{1,50-2500}$	47

1.2. Klassifikation der Decken bezüglich $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ - AP02 (HDI)

Bei den geplanten Messungen bot sich die Möglichkeit die Spektrumanpassungswerte $C_{1,50-2500}$ für Frequenzen unter 100 Hz, deren Bedeutung im Holzbau noch immer diskutiert wird, ohne großen Aufwand zu erfassen und zu untersuchen. Durch die Hörversuche sollte belegt werden, dass Schwachstellen einer Konstruktion in diesen Bereichen tatsächlich wahrnehmbar sind und in einem akustischen Klassifikationssystem berücksichtigt werden müssen.

Da die gewählten Standardaufbauten entsprechend vertafelt bzw. geprüft wurden, waren in der Regel auch die zugehörigen $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ Werte bekannt. Daraus ließen sich dann durch Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt die $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ Werte kalkulieren. Die vorhandenen Schallschutzniveaus BASIS, BASIS+ und Komfort, die im Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) definiert werden, werden für dieses Projekt als Trittschalldklassen für die schalltechnische Klassifikation der Deckentypen (Bauteilen mit ähnlichen akustischen Eigenschaften) angesetzt, siehe Tabelle 2.

Bauteil / Schallschutzniveau	BASIS = DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT
Wohnungstrenndecke - Luftschall	$R'_w \geq 54 \text{ dB}$	$R'_w \geq 57 \text{ dB}$	$R'_w \geq 60 \text{ dB}$
Wohnungstrenndecke - Trittschall	$L'_{n,w} \leq 53/50 \text{ dB}^{1)}$	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$ $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$ $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 47 \text{ dB}$

¹⁾ Sonderregelung für Deckenkonstruktionen, die der DIN 4109-33 zuzuordnen sind, ansonsten $L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$

Tabelle 2: Schallschutzklassen nach Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019)

Um die Praxistauglichkeit der gewählten Standardfälle besser einschätzen zu können und gleichzeitig Kontakte zu möglichen Referenzprojekten für die anstehenden Messungen zu erhalten, wurden die Mitglieder der benannten Verbände in einer selbst generierten Umfrage befragt, welche der 44 Aufbauten in ihren Betrieben ausgeführt werden. Anhand der Umfrageergebnisse haben sich die Projektpartner, Verbände und Praxisvertreter der projektbegleitenden Arbeitsgruppe unter Beachtung der Häufigkeit und Praxisrelevanz der ausgewählten Deckenkonstruktionen sowie der gleichmäßigen Verteilung innerhalb der festgelegten Schallschutzklassen gemeinsam auf den folgenden Bauteilkatalog als gewünschte Messobjekte geeinigt. Von den unter 1.1 abgebildeten Standardaufbauten wurden Deckentyp 1, 2, 3, 5, 8, 9, 13, 15, 24, 25, 26, 30, 38, 41 und 44 ausgewählt. Als 16. Aufbau wurde die nachfolgend dargestellte Kombination aus Deckentyp 33 und 34 gebildet, da dies entsprechend der Umfragerückmeldungen einem praxisgerechteren Konsens entspricht.

33/ 34	Prüfaufbau AcuWood Haus A / B	
	d in mm	Baustoff
1	60	Zement-, Magnesia- oder Calciumsulfatestrich, $m' \geq 110 \text{ kg/m}^2$
2	30	30mm Trittschalldämmung EPS, $s' \leq 15 \text{ MN/m}^3$

3	22	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$
4	240	Balken aus Vollholz oder BSH $b \times h = 60 \times 240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$
5	50	Mineralwolle, $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$
6	22	Holzplatten $b \times h = 80 \times 22 \text{ mm}$
7	12,5	Gipskartonplatte GKB, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$
$L_{n,w} + C_{l,50-2500} = \text{ca. } 61 \text{ dB}$		

1.3. Messungen, Aufnahmen und Befragungen vor Ort - AP03

1.3.1 Vorbereitung und Vorgehensweise (HDI)

Für die Interaktion mit Betrieben und Probanden haben die Projektpartner zunächst ein allgemeines Informationsschreiben sowie eine Einverständniserklärung erarbeitet. Das Informationsschreiben sollte potentiell Mitwirkende über den Nutzen des Projektes, den Ablauf der Messungen und die Teilnahmebedingungen aufklären. In der Einverständniserklärung wurden auch die datenschutzrechtlichen Belange zur Nutzung der Kontaktdaten der Teilnehmer im Rahmen des Projektes geklärt. Die Akquise, die Kommunikation mit potentiellen Studienteilnehmern sowie Probanden und die Organisation der Messtermine wurden vom Holzbau Deutschland Institut geleitet.

Ursprünglich war geplant, die 16 Messobjekte über die laut Umfrage ausführenden Unternehmen zu beziehen. Allerdings gestaltete sich dieses Vorgehen als schwierig, da die Betriebe auf Nachfrage oftmals nur Bauprojekte mit entfernt ähnlichen Deckenaufbauten vorweisen konnten, die schalltechnisch nicht mehr in den Bauteilkatalog mit den 16 Decken passten. Zum anderen haben einige auch die Mitarbeit im Forschungsprojekt aus Angst vor schlechten Messergebnissen (schlechtere vorhandene Schalldämmwerte als vertraglich vereinbart) und daraus resultierenden Rechtsstreitigkeiten mit den Eigentümern gescheut. Außerdem war die Auftragslage Mitte bis Ende 2020 u.a. durch die reduzierte Mehrwertsteuer derart hoch, dass die Betriebe die zur Teilnahme nötige Zu- und Mitarbeit (Bereitstellung Planungsunterlagen, Terminabstimmung, Einstellung Arbeiten während der Messdauer) zeitlich einfach nicht leisten konnten.

Der größte Faktor, der bei der Akquise von Messobjekten behindert hat, war allerdings der Ausbruch des Corona-Virus. Die Angst vor Ansteckung hat die Bereitwilligkeit zur Studienteilnahme in Privathaushalten trotz der Vergütung von 500 € deutlich sinken lassen. Des Weiteren wurde dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik durch die Lockdown-Maßnahmen der Zugang zu Deckenbauteilen in privaten Räumlichkeiten und die Reisetätigkeit zu den Messobjekten stark erschwert.

Um die 16 Feldmessungen trotzdem in einem noch tolerierbaren Zeitraum abschließen zu können, wurde nach den ersten Messungen, in Rücksprache mit der projektbegleitenden Arbeitsgruppe, von der im Antrag genannten, zeitaufwendigen Praxis abgewichen die Auswahl der Messobjekte anhand der 16 vordefinierten Deckentypen vorzunehmen. Stattdessen wurde sich darauf geeinigt auch vom Bauteilkatalog abweichende Aufbauten zuzulassen, wenn diese zeitnah verfügbar sind und die gewünschte akustische Varianz der Deckenqualitäten sicherstellen. Dieses Vorgehen erschien den Projektpartnern sinnvoll, da die Entwicklung eines psychoakustischen Prognoseverfahrens das Hauptziel des Projektes darstellt und für die statistische Auswertung der Messdaten eine breite Streuung über den Wertebereich von $L'_{n,w} (+ C_{l,50-2500})$ benötigt wird, d.h. es muss eine gewisse Anzahl von sehr guten, guten, mittleren, schlechten und sehr schlechten Decken abgebildet werden, um ein aussagekräftiges Verfahren hervorbringen zu können. Eine gleichmäßige Verteilung der verschiedenen Konstruktionsarten (siehe Grafik 1b) oder die Praxishäufigkeit der Messobjekte ist dabei zweitrangig.

Deshalb wurden die eingegangenen, aber bislang aussortierten Umfragerückmeldungen der Betriebe erneut betrachtet - unabhängig vom Bauteilkatalog - und für alle übermittelten Aufbauten durch Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt Schätzwerte für die Trittschalldämmwerte einschließlich Spektrumanpassungswert angegeben. Mithilfe dieser Schätzwerte konnten aus den gesammelten Angeboten gezielt neue Messobjekte entsprechend der benötigten Einzahlwerte ausgewählt werden – die direkten Ansprechpartner waren aufgrund der Befragung bekannt.

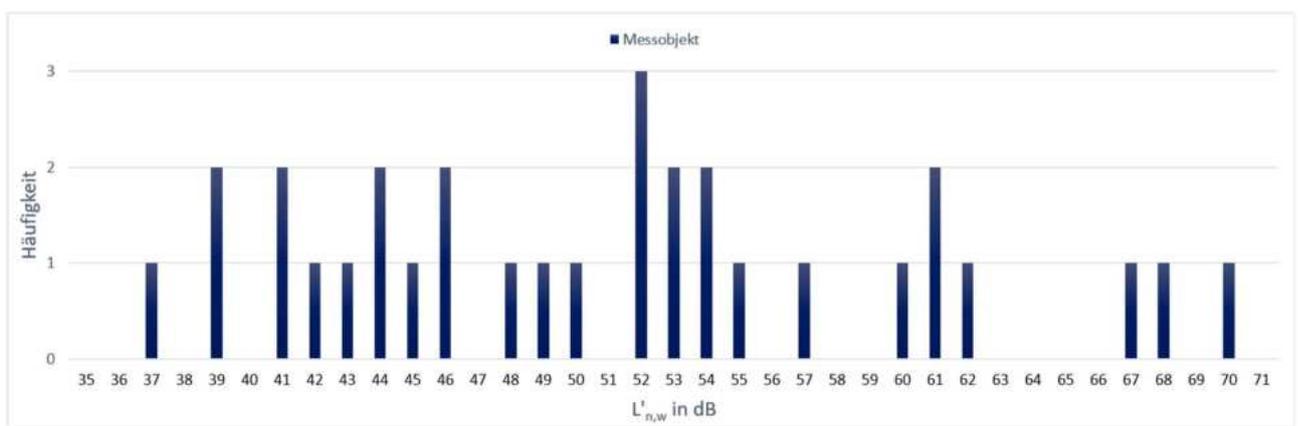
Mit diesem Vorgehen konnte der Großteil der noch fehlenden Messobjekte abgedeckt werden. Defizite zeigten sich nur bei akustisch besonders hochwertigen Decken. Hier musste das Holzbau Deutschland Institut mithilfe der projektbeteiligten Verbände und den Praxisvertretern nochmals eine explizierte Recherche nach Referenzen durchführen. Schlussendlich konnten die 16 Feldmessungen erfolgreich mit der erforderlichen Streuung über den gewünschten Wertebereich von $L'_{n,w} (+ C_{l,50-2500})$ abgeschlossen werden, siehe Grafik 2 und Grafik 3.

Trotz des Strategiewechsels haben die zuvor benannten Komplikationen allerdings dazu geführt, dass das Auffinden von Referenzgebäuden, die Vereinbarung von Messterminen und die Durchführung der Feldmessungen mit 10 anstatt 4 Monaten trotzdem deutlich länger gedauert haben, als ursprünglich im Zeitplan vorgesehen. Die Projektpartner haben zum Ausgleich eine halbjährliche, kostenneutrale Verlängerung beantragt und genehmigt bekommen. Außerdem musste entgegen des Projektantrages

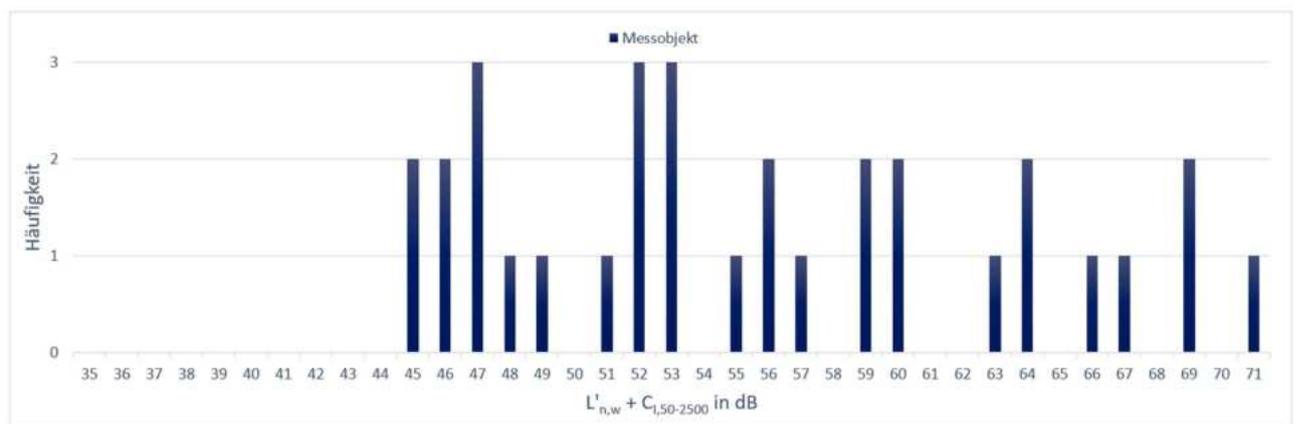
ergänzend zu den Einfamilienhäusern auch auf Decken in Mehrfamilienhäusern zurückgegriffen werden. Bedingt durch die bestehenden normativen Regelungen findet man im Mehrfamilienhausbau eher hochwertige Decken, da dort der erhöhte Schallschutz einzuhalten ist, während im Einfamilienhaus auf Grund der geringeren schalltechnischen Anforderungen niedrigere Qualitäten gebaut werden. Um die gesamte Bandbreite an Trittschalldämmwerten abdecken zu können, sind somit zwingend Referenzen aus beiden Bereichen notwendig gewesen. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass das Verhältnis von Ein- zu Mehrfamilienhäusern ausgewogen ist, siehe Grafik 1a.

Haustyp	Anzahl	Deckentyp	Anzahl
Einfamilienhaus (EFH)	7	Holz-Beton-Verbund	1
Mehrfamilienhaus (MFH)	8	Holzbalken	11
Doppelhaushälfte (DHH)	1	Holzmassiv	4
	16		16

Grafik 1a und 1b: Verteilung der gemessenen Decken



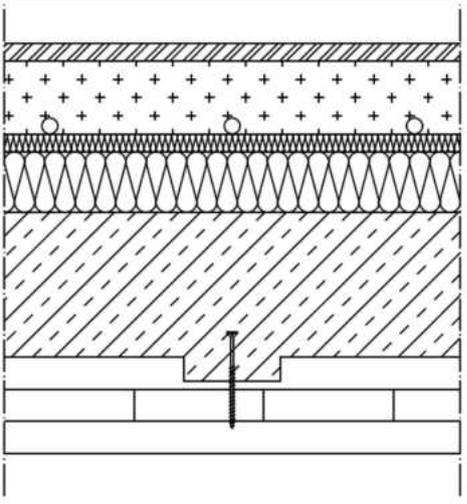
Grafik 2: Histogramm zur $L'_{n,w}$ - Verteilung

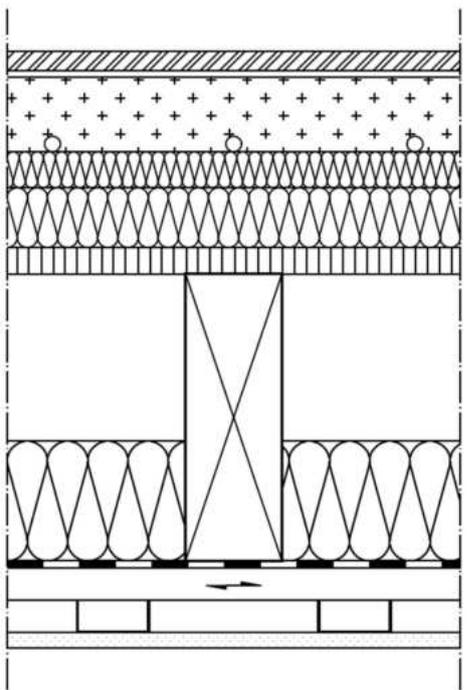


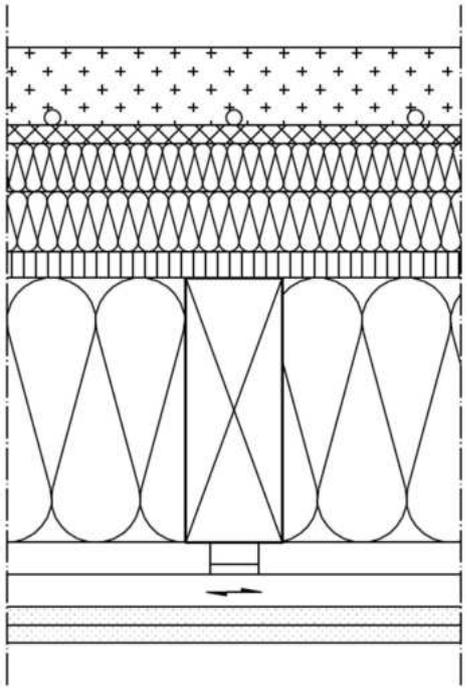
Grafik 3: Histogramm zur $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ - Verteilung

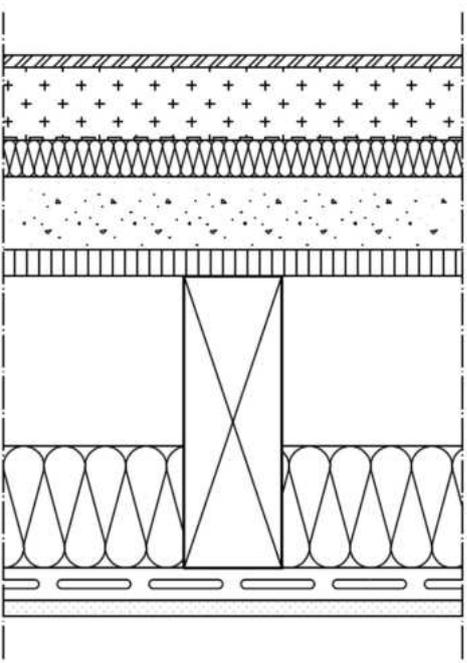
1.3.2 Aufbauten der vermessenen Decken (HDI)

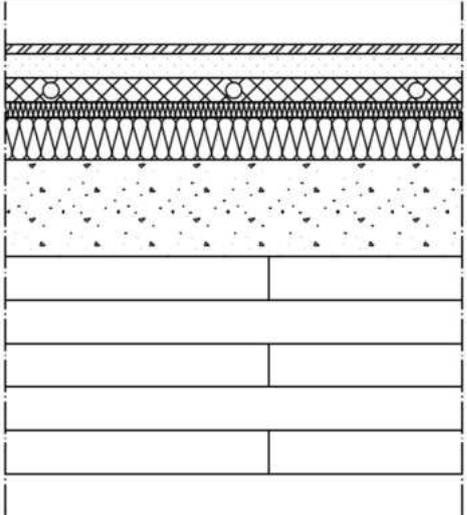
Im Folgenden werden nun die Aufbauten der 16 vermessenen Decken vorgestellt. Diese werden zusammen mit Informationen über das Messdatum und den akustischen Kennwerten $L'_{n,w}$ sowie $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ dargestellt. In jedem Gebäude wurden 2 Räume mit identischem Deckenaufbau untersucht.

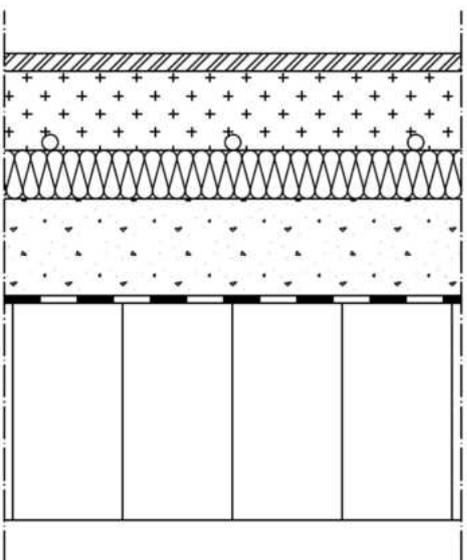
Haus 1		MFH		Messung am 22.10.2020
	1	15 mm	Fertigparkett	
	2	60 mm	Flies-Heizestrich	
	3	15 mm	Tackerplatte EPS	
	4	50 mm	Trittschalldämmung Mineralwolle, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$	
	5	120 mm	Stahlbeton	
	6	80 mm	Holzmassivdecke mit Kerven und Tellerkopfschrauben	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 39 / 46 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 47 / 53 \text{ dB}$	

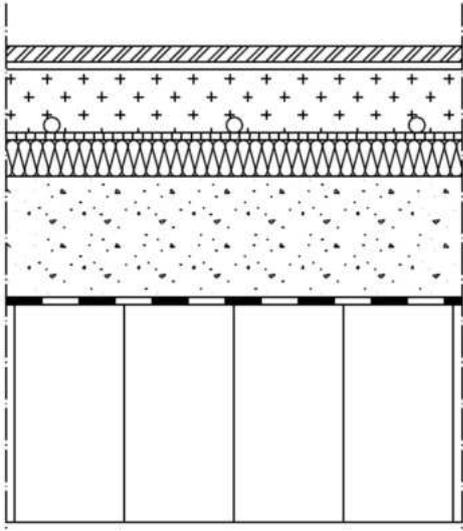
Haus 2		EFH		Messung am 02.12.2020
	1	16 mm	Eichendiele 2-Schicht	
	2	2 mm	Toleranzausgleich / Kleber	
	3	62 mm	Heizestrich	
	4	30 mm	Trittschalldämmung EPS, $s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$	
	5	50 mm	Wärmedämmung EPS	
	6	22 mm	Holzwerkstoffplatte (Spanplatte, OSB oder BFU-Platte)	
	7	240 mm	Balken aus Vollholz oder BSH $b/h = 80/240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$	
	8	100 mm	Mineralwolle	
	9	/	Folie	
	10	27 mm	Wandprofile UD 28/27 an Direktabhängiger	
	11	27 mm	Deckenprofil CD 60/27	
	12	12,5 mm	Gipskartonplatte GKB	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 53 / 54 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 53 / 55 \text{ dB}$	

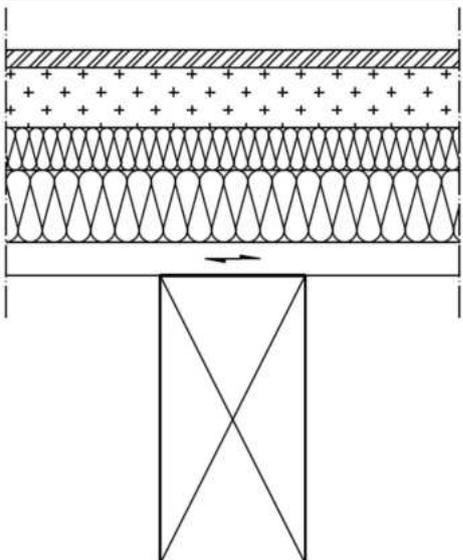
Haus 3		MFH		Messung am 09.12.2020
	1	65mm	Zementestrich mit Fußbodenheizung	
	2	/	Pappplatten mit Tackersystem für die Fussbodenheizung	
	3	40mm	Trittschalldämmung Mineralwolle Knauf TPT 01, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$	
	4	ca. 50mm	EPS Installationsebene	
	5	22mm	OSB	
	6	220mm	Balken mit Mineralfaserfüllung (Knauf Insulation)	
	7	/	Regupol QJH.F 220 Abhängesystem $f_0 \leq 20 \text{ Hz}$ und CD-Profil	
	8	2x15 mm	Knauf Diamant (GKFI), $m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 43 / 42 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 47 / 45 \text{ dB}$	

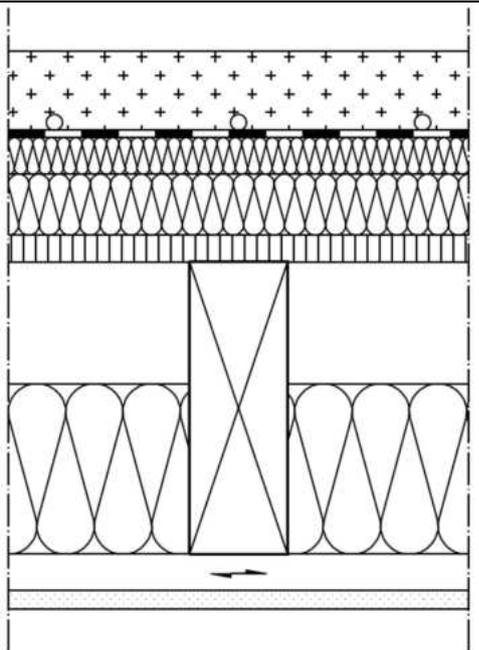
Haus 4		MFH		Messung am 02.02.2021
	1	10 mm	Fliesen oder Parkett	
	2	60 mm	Zementestrich auf Noppenbahn	
	3	30 mm	Trittschalldämmung mineralisch, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$	
	4	60 mm	Split 8-12 mm (gem. Kröncke)	
	5	22 mm	OSB	
	6	240 mm	Balken aus Vollholz $b/h = 80/240 \text{ mm}$, $e \geq 625 \text{ mm}$	
	7	100 mm	Gefachdämmung	
	8	27 mm	Federschiene	
	9	12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatte GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 44 / 41 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 56 / 53 \text{ dB}$	

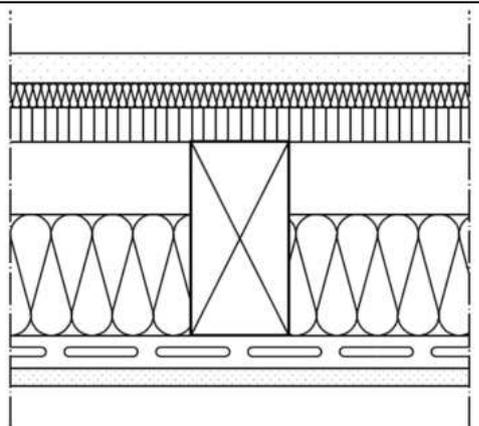
Haus 5		EFH		Messung am 08.12.2020
	1	8 mm	Oberbelag Vinyl incl. Folie als Trennlage	
	2	20 mm	Gipsfaserplatte als Trockenestrich incl. Papiertrennlage	
	3	20 mm	Wolf Bavaria Fußbodenheizsystem als Kartonage	
	4	12,5 mm	Wolf Bavaria PhoneStar	
	5	35 mm	Pavatex Isolair	
	6	80 mm	lose Kalksplittschüttung	
	7	180 mm	Holzmassivdecke	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 57 / 53$ dB		$L'_{n,w} + C_{l,50-2500} = 59 / 57$ dB	

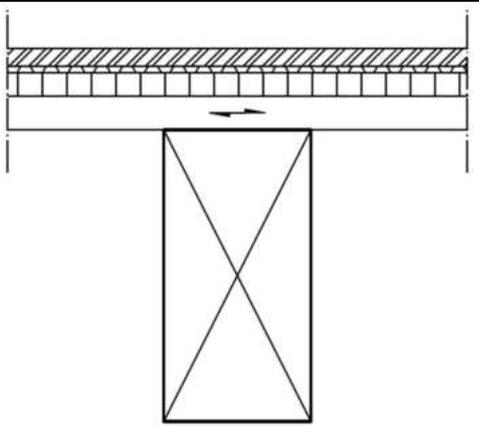
Haus 6		MFH		Messung am 29.01.2021
	1	15 mm	Belag	
	2	65 mm	Heizestrich (Calciumsulfat)	
	3	40 mm	Trittschall- und Ausgleichsdämmung, Isover EP1, $s' \leq 7$ MN/m ³	
	4	80 mm	Gebundene Splittschüttung Köhnke K102	
	5	/	Rieselschutz	
	6	180 mm	Brettstapeldecke	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 45 / 45$ dB		$L'_{n,w} + C_{l,50-2500} = 49 / 46$ dB	

Haus 7		MFH		Messung am 21.04.2021
	1	13 mm	Eiche Fertigparkett	
	2	2 mm	Kleber	
	3	53 mm	Zement-Heizestrich	
	4	2 mm	Tackerplatte (Flipfix-Platte)	
	5	30 mm	Trittschalldämmung Mineralwolle EP1, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$	
	6	100 mm	Gebundene Splittschüttung Köhnke K102, $\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$	
	7	1 mm	PE-Folie als Rieselschutz	
	8	180 mm	Brettstapeldecke	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 48 / 49 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{l,50-2500} = 51 / 52 \text{ dB}$	

Haus 8		EFH		Messung am 10.05.2021
	1	15 mm	Fliesen oder Parkett	
	2	50 mm	Zementestrich inkl. Faserbewehrung	
	3	35 mm	Trittschalldämmung EPS	
	4	60 mm	Wärmedämmung EPS	
	5	28 mm	Fasebretter b/d = 14/2,8 cm, C24	
	6	240 mm	Sichtbare Balkenlage (DUO Massivholzbalken) b/d = 12/24 cm, C24, e < 75 cm	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 67 / 70 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{l,50-2500} = 69 / 71 \text{ dB}$	

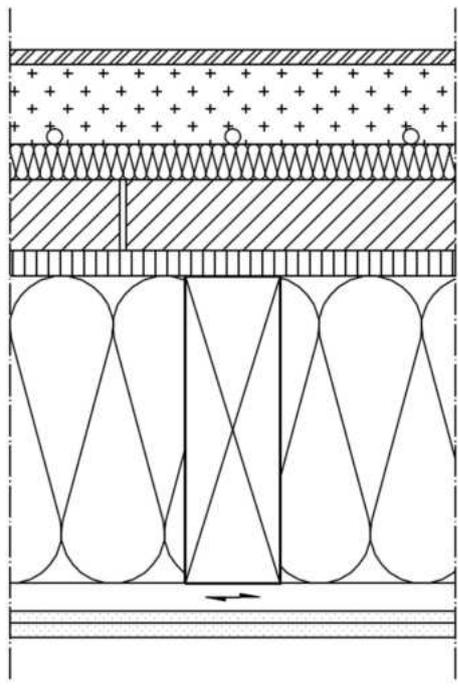
Haus 9		EFH		Messung am 22.06.2021
	1	60 – 65mm	Calciumsulfatestrich mit Fußbodenheizung	
	2	/	Folie	
	3	30 mm	EPS-Trittschallplatte /Tackerplatte	
	4	50 mm	EPS Grunddämmung	
	5	22 mm	OSB-Platte	
	6	240 mm	Balken, e = 625 mm	
	7	140 mm	Mineralwollgedämmung zwischen Balken	
	8	30 mm	Holzlatte	
	9	15 mm	Gipskartonplatte GKB, $m' \geq 8,5 \text{ kg/m}^2$	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 60 / 61 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 64 / 64 \text{ dB}$	

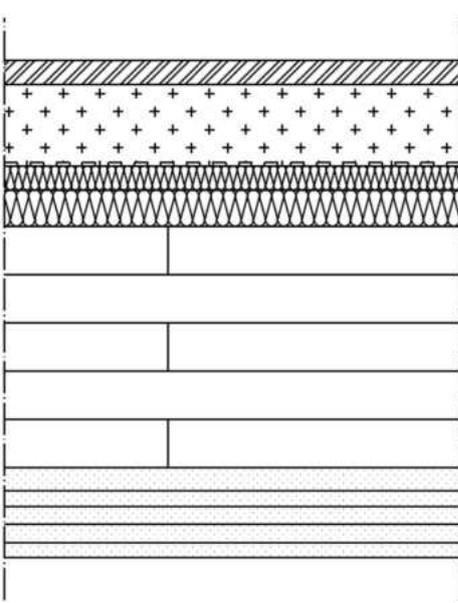
Haus 10		DHH		Messung am 21.06.2021
	1	25 mm	Knauf Trockenunterboden	
	2	20 mm	EPS	
	3	28 mm	Spanplatte	
	4	160 mm	Balken b/h = 8/16cm, e = 62,5cm	
	5	100 mm	Mineralwollgedämmung zwischen den Balken	
	6	27 mm	Knauf Federschiene	
	7	15 mm	Gipskartonplatte	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 68 / 55 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 69 / 63 \text{ dB}$	

Haus 11		EFH		Messung am 11.05.2021
	1	/	Laminat	
	2	3 mm	Trittschallmatte	
	3	19 mm	Spanplatte	
	4	/	Brettbohlen-Dielung mit Intarsien	
	5	/	sichtbare Balkenlage	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 61 / 62 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 66 / 67 \text{ dB}$	

Haus 12		MFH	Messung am 11.05.2021
	1	/	Belag
	2	70 mm	ZE-Estrich
	3	40 mm	Mineralfaser Trittschalldämmung TPT 01 Knauf, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$
	4	70 mm	Fülldämmung EPS
	5	22 mm	OSB
	6	220 mm	Balkenlage $b/h = 10/22 \text{ cm}$, $e = 62,5 \text{ cm}$ mit Mineralfaserfüllung
	7	/	VF Abhänger optimiert Knauf mit CD- Profil
	8	18 mm	Knauf Diamant
	9	18 mm	Knauf GKF
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 37 / 39 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{l,50-2500} = 46 / 45 \text{ dB}$

Haus 13		MFH	Messung am 12.05.2021
	1	/	Belag
	2	60 mm	ZE-Estrich
	3	40 mm	Mineralfaser Trittschalldämmung TPT 01 Knauf, $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$
	4	70 mm	Fülldämmung EPS
	5	22 mm	OSB
	6	220 mm	Balkenlage $b/h = 10/22 \text{ cm}$, $e = 62,5 \text{ cm}$ mit Mineralfaserfüllung
	7	/	VF Abhänger optimiert Knauf mit CD- Profil
	8	2x15 mm	Knauf Diamant
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 52 / 41 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{l,50-2500} = 47 / 48 \text{ dB}$

Haus 14		EFH		Messung am 12.07.2021
	1	12 mm	Belag	
	2	68 mm	Anhydritestrich, Heizestrich	
	3	30 mm	Trittschalldämmung EPS, $s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$	
	4	60 mm	Gehwegplatten auf Geficell-Unterlegbahn TD	
	5	22 mm	Spanplatte (Living Board)	
	6	260 mm	Balkenlage $b/h = 8/26 \text{ cm}$, $e \leq 62,5 \text{ cm}$ mit Glasfaserdämmung Isover	
	7	24 mm	Lattung $b/h = 4,8/2,4 \text{ cm}$, $e = 41 \text{ cm}$	
	8	9,5 mm	GKB	
	9	12,5 mm	GKF	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 52 / 46 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 60 / 56 \text{ dB}$	

Haus 15		MFH		Messung am 10.06.2021
	1	20 mm	Eichenparkett	
	2	60 -70 mm	Zementestrich	
	3	/	Noppenbahn EPS	
	4	20 mm + 30mm	Mineralische Trittschalldämmung	
	5	200 mm	Massivholzdecke CLT	
	6	20 mm	Massivbau Rigipsplatte	
	7	12,5 mm	Silentboard	
	8	2x15 mm	Diamantboard	
	9	12,5 mm	Diamantboard	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 44 / 50 \text{ dB}$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 52 / 52 \text{ dB}$	

Haus 16		EFH		Messung am 19.07.2021
	1	65 mm	Heizestrich	
	2	20 mm	Trittschalldämmung EPS	
	3	70 mm	EPS-Platte	
	4	20 mm	OSB-Platte	
	5	240 mm	Balkenlage b/h = 8/24 cm mit Dämmung	
	6	/	Direktschwingabhänger auf CD-Profil	
	7	12,5 mm	Diamant Gipskartonplatte	
Raum 1 / Raum 2	$L'_{n,w} = 52 / 54$ dB		$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 60 / 59$ dB	

1.3.3 Messergebnisse (IBP)

1.3.3.1 Norm-Trittschallpegel Messungen

Die Messung der Trittschallpegel wurde in Anlehnung an DIN EN ISO 16283-2:2020 durchgeführt. Zum Teil waren die Räume zum Zeitpunkt der Messung möbliert, deshalb wurde die Anzahl der Anregepositionen abweichend von den Anforderungen der DIN EN ISO 16283-2:2020 auf drei reduziert. Die räumliche Mittelung der sich einstellenden Schalldruckpegel geschah durch Mikrofone an festen Positionen. Die Anzahl der Mikrofone im Senderraum betrug pro Anregeposition drei, sodass die Anzahl der gemittelten Messungen neun betrug. Die Messdauer betrug 60 s, die Auswertung erfolgte in Terzen.

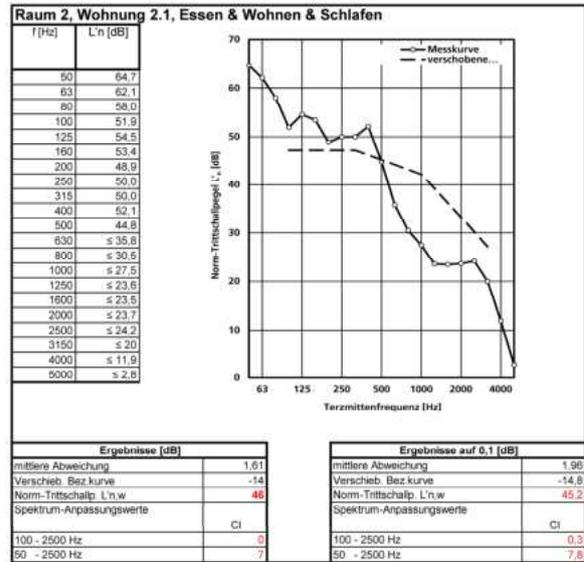
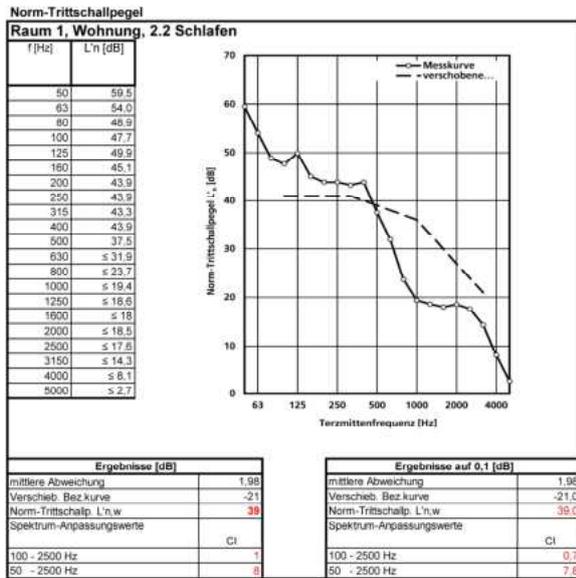
Zur Bestimmung des Norm-Trittschallpegels wurde ein Norm-Hammerwerk als Anregungsquelle verwendet. Der Norm-Trittschallpegel wurde entsprechend folgender Beziehung ermittelt.

$$L'_n = L'_i + 10 \log(A/A_0)$$

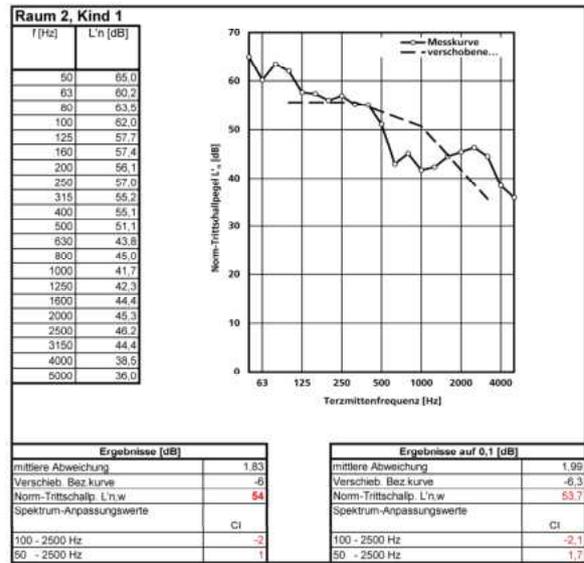
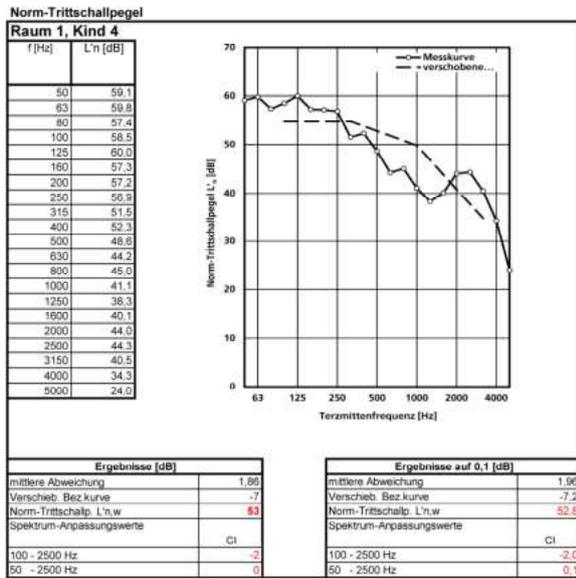
Dabei bedeuten:	L'_n	=	Norm-Trittschallpegel in dB
	L'_i	=	energetisch gemittelter Trittschallpegel im Empfangsraum in dB
	A	=	Äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum in m ²
	A_0	=	Äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche in m ² , $A_0 = 10$ m ²

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Norm-Trittschallpegel Messungen in den Häusern – jeweils für beide Räume – dargestellt.

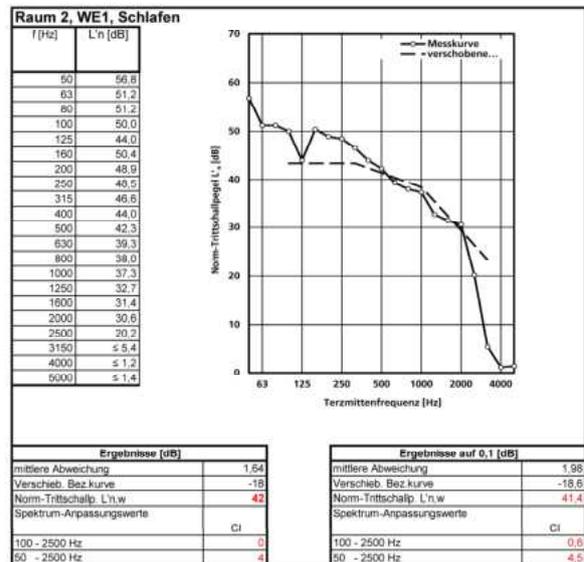
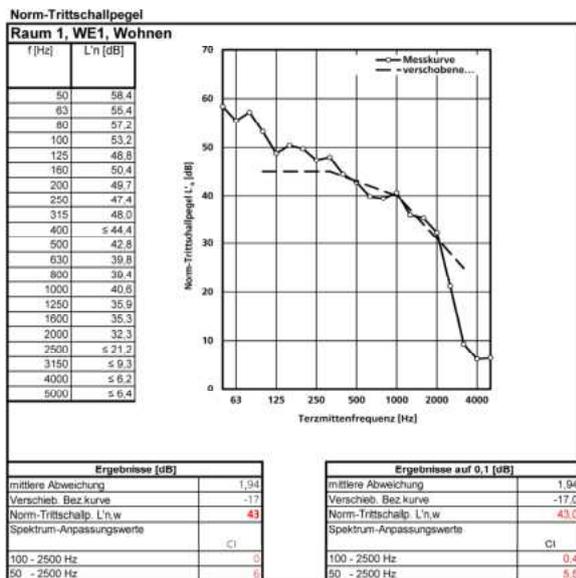
Haus 1:



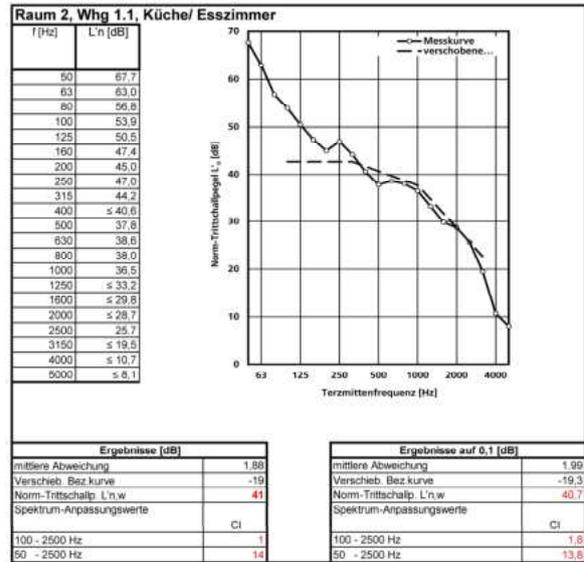
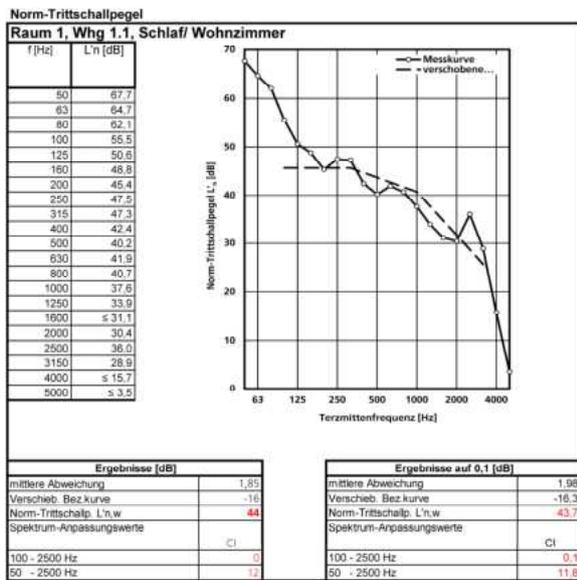
Haus 2:



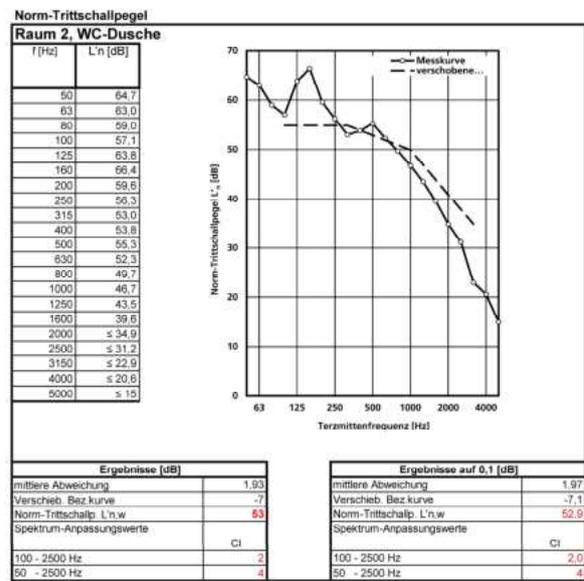
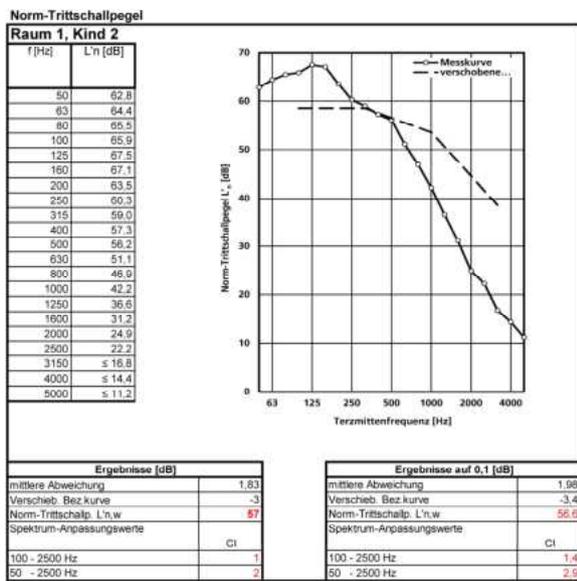
Haus 3:



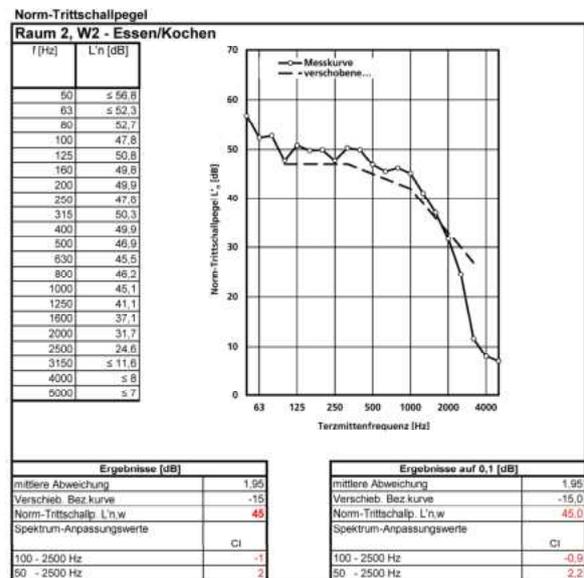
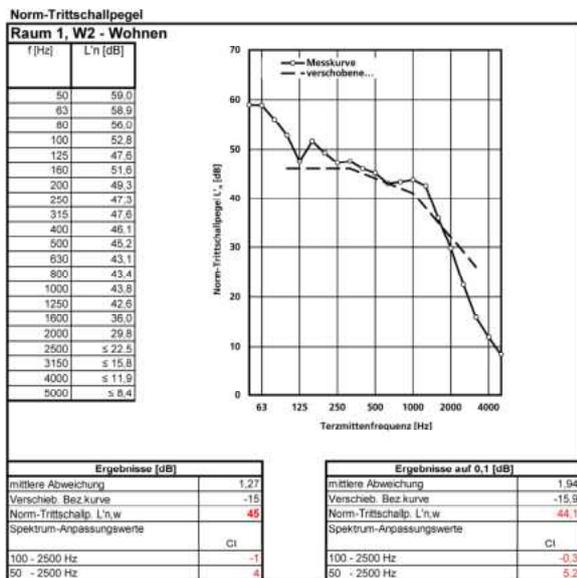
Haus 4:



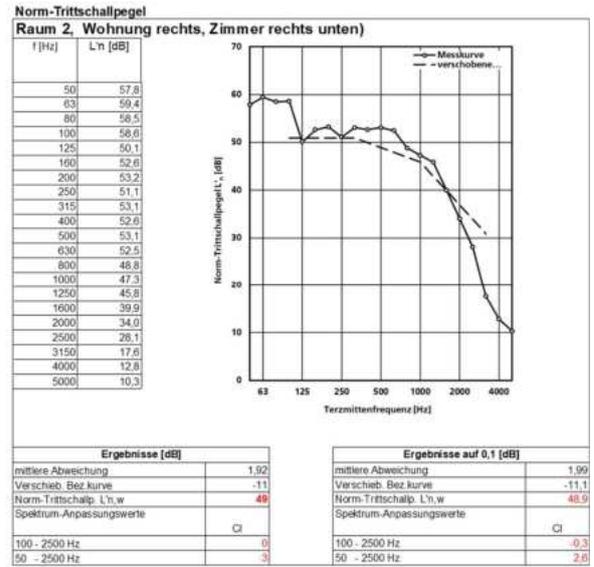
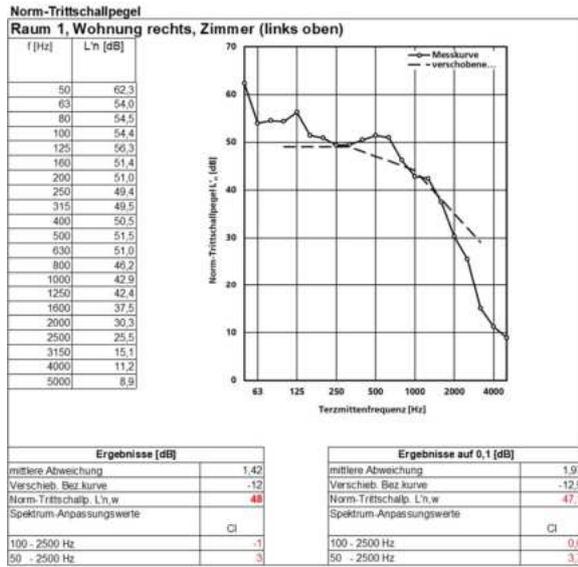
Haus 5:



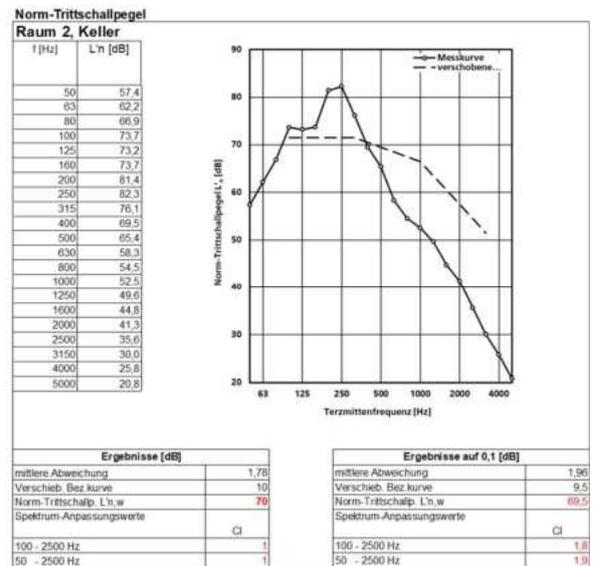
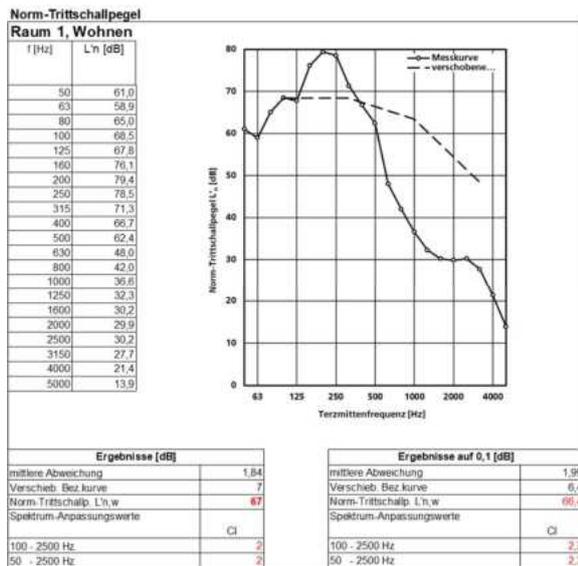
Haus 6:



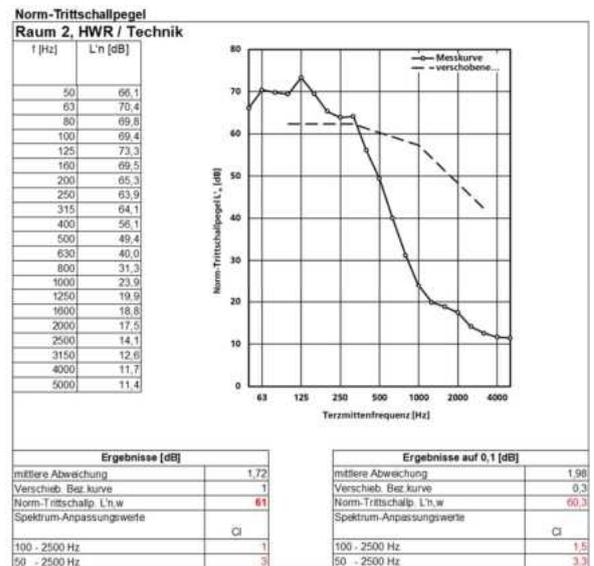
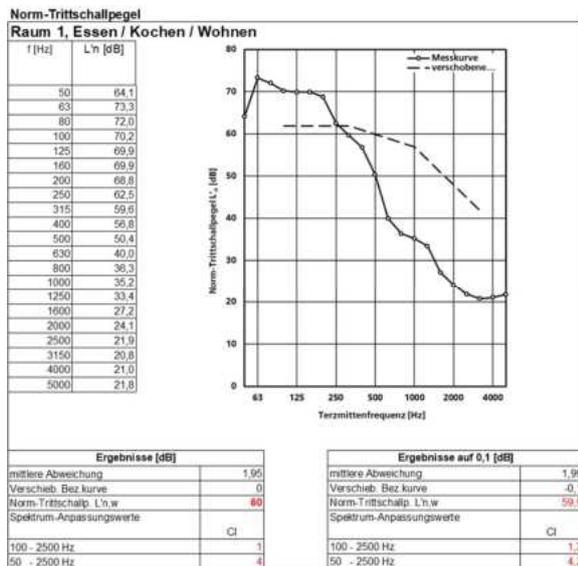
Haus 7:



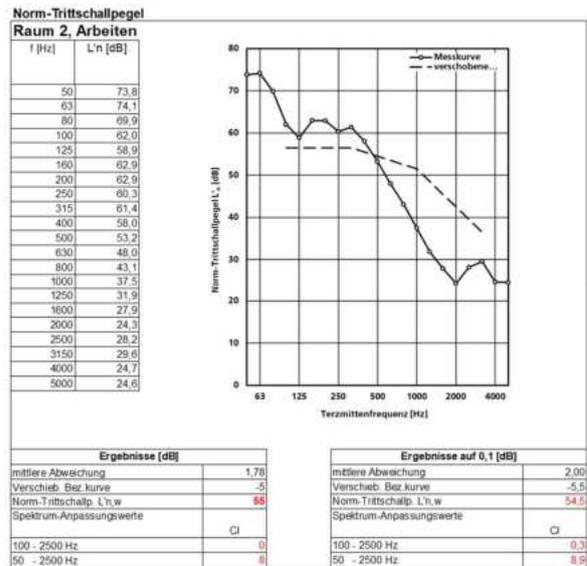
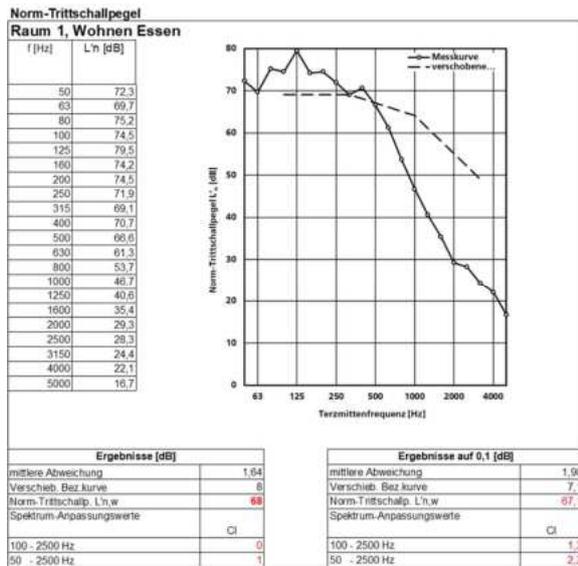
Haus 8:



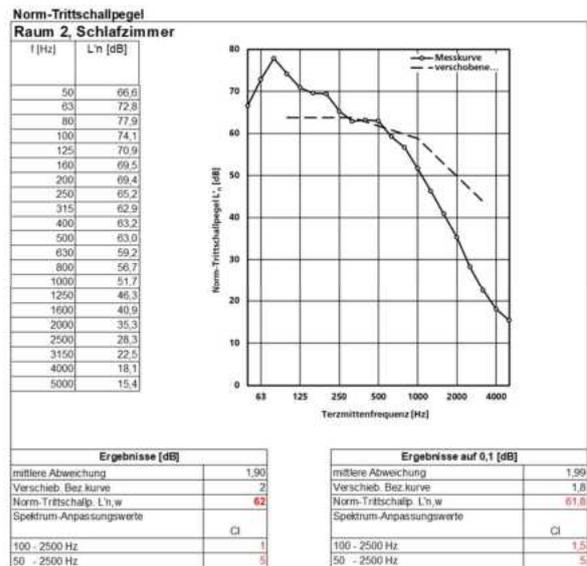
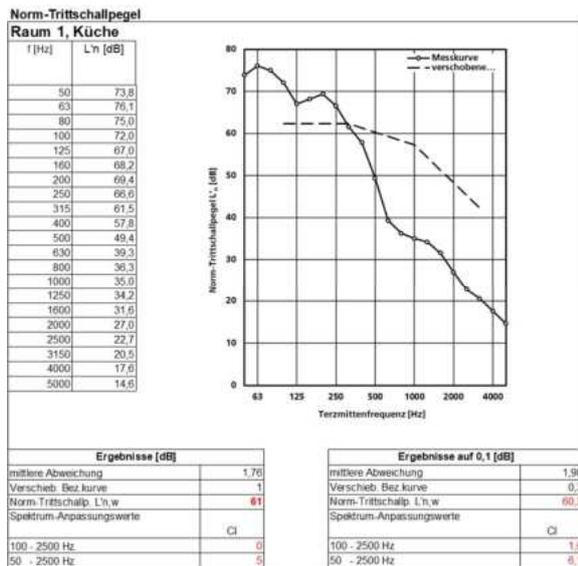
Haus 9:



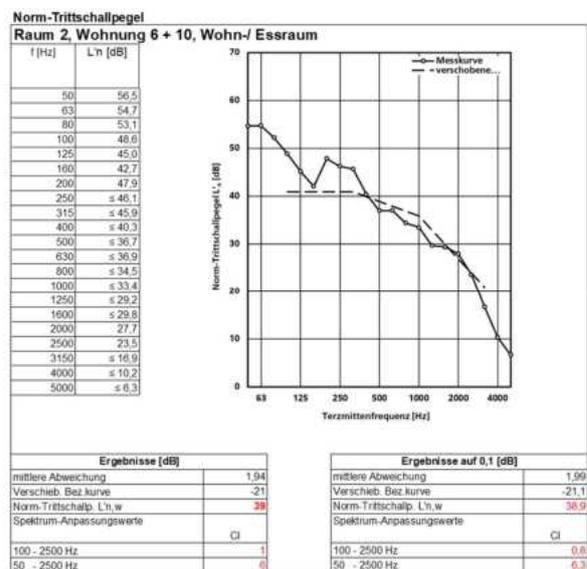
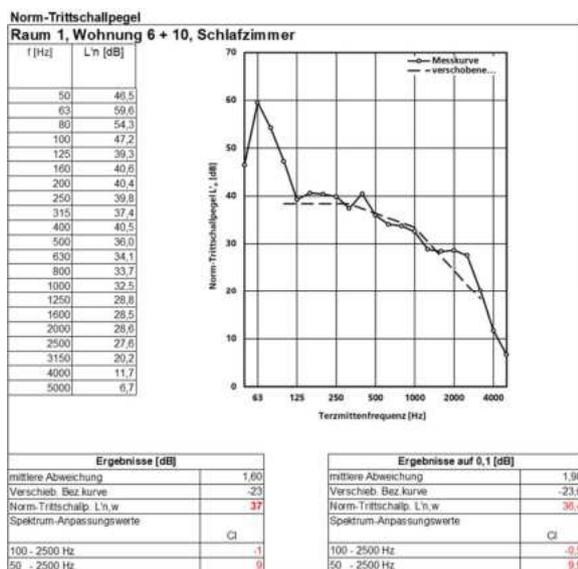
Haus 10:



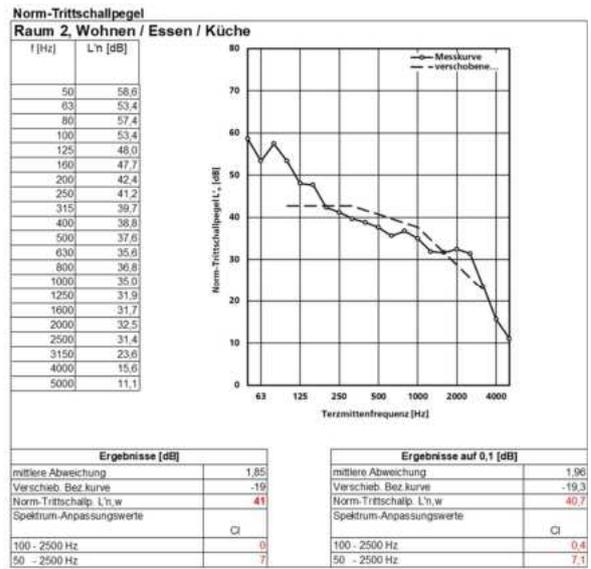
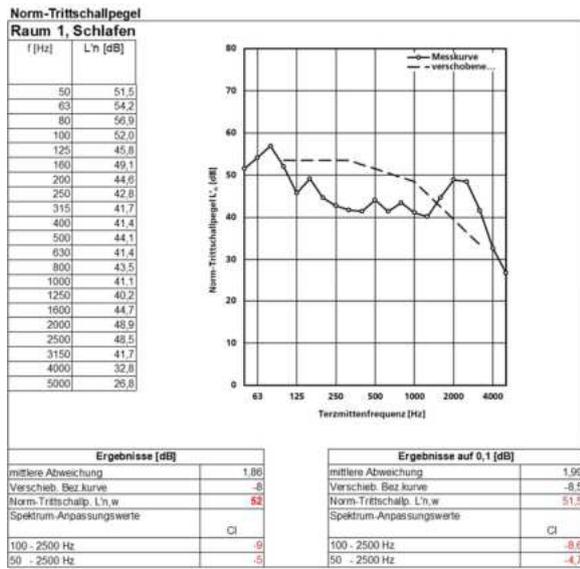
Haus 11:



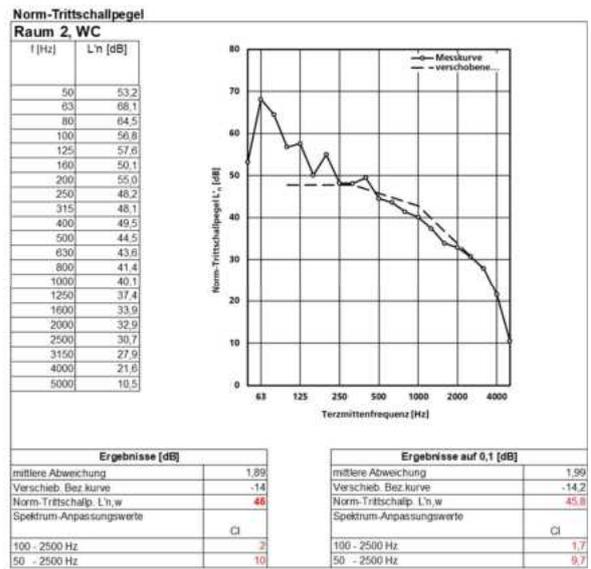
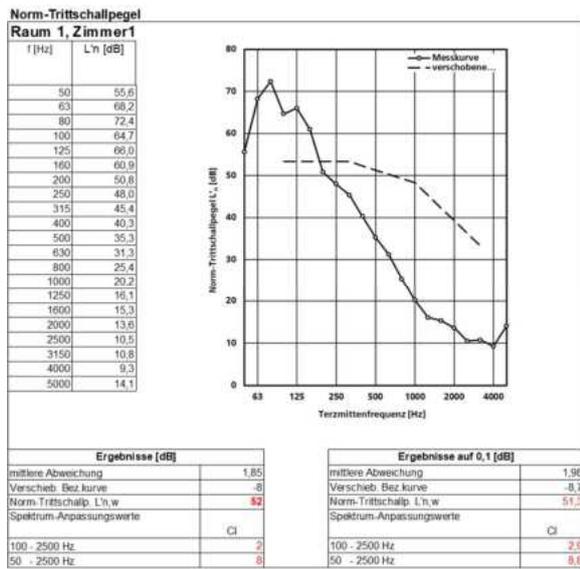
Haus 12:



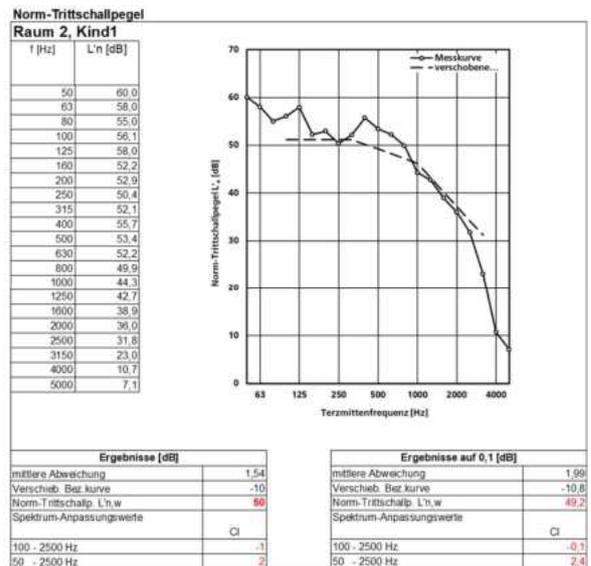
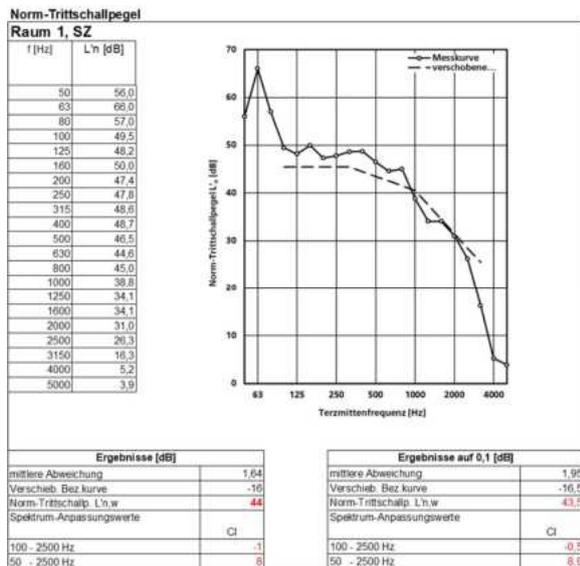
Haus 13:



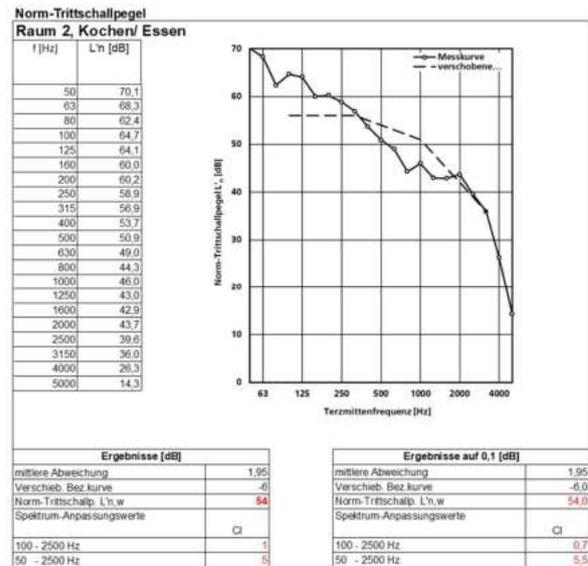
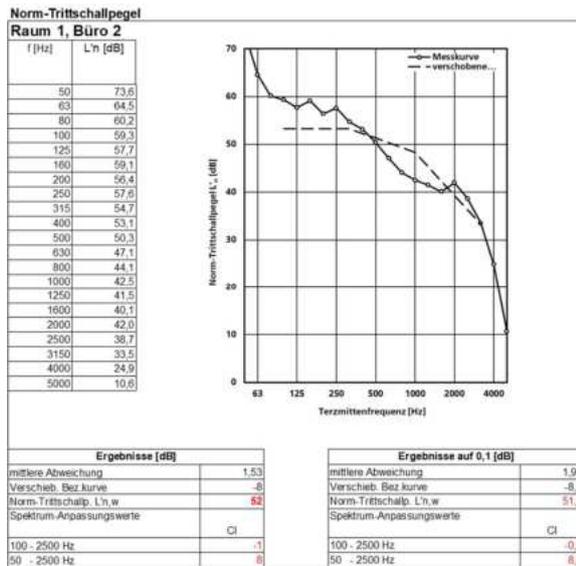
Haus 14:



Haus 15:



Haus 16:



1.3.3.2 Messungen mit dem Japanischen Gummiball

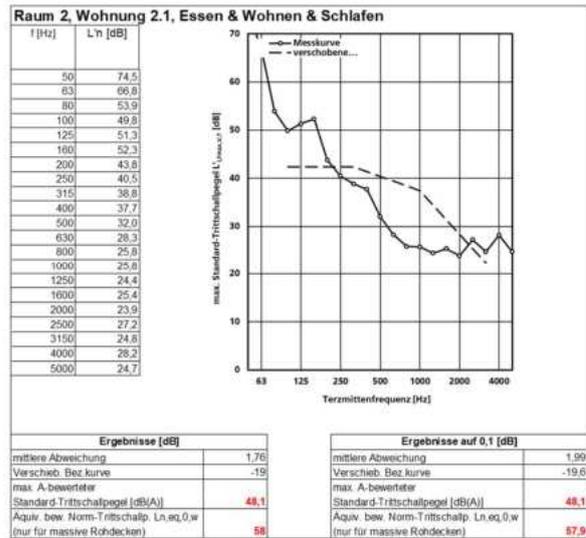
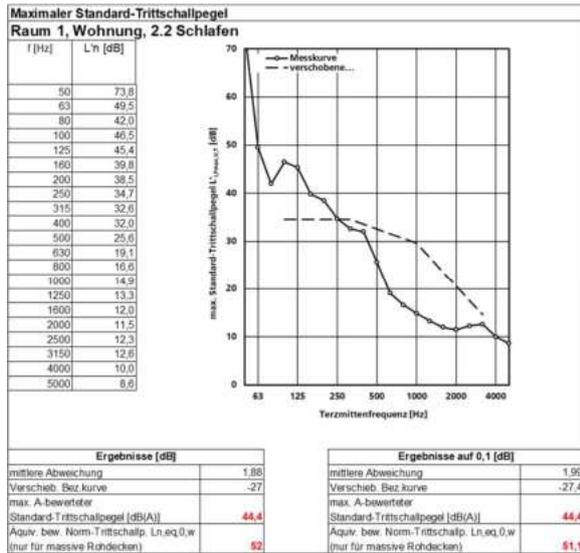
Zusätzlich zur Bestimmung des Norm-Trittschallpegels wurde mittels des Japanischen Gummiballs der maximale Standard-Trittschallpegel in Anlehnung an DIN EN ISO 16283-2:2020 ermittelt. Die Anzahl der Anregepositionen wurde ebenfalls auf drei reduziert. Der Japanische Gummiball wurde aus einer Höhe von 1 m auf die zu untersuchende Deckenkonstruktion senkrecht fallen gelassen. Der sich im Empfangsraum einstellende maximale Schalldruckpegel wurde pro Anregepositionen an 3 festen Mikrofonpositionen gemessen. Der maximale Standard-Trittschallpegel wurde entsprechend folgender Beziehung bestimmt:

$$L'_{i,Fmax,V,T} = L'_{i,Fmax} + 10 \log \frac{V}{V_0} - 10 \log \left[\frac{1 - C_0^{-1} \left(C_0^{(1-C_0)^{-1}} - C_0^{-(1-C_0)^{-1}} \right)}{1 - C^{-1} \left(C_0^{(1-C_0)^{-1}} - C_0^{-(1-C_0)^{-1}} \right)} \right]$$

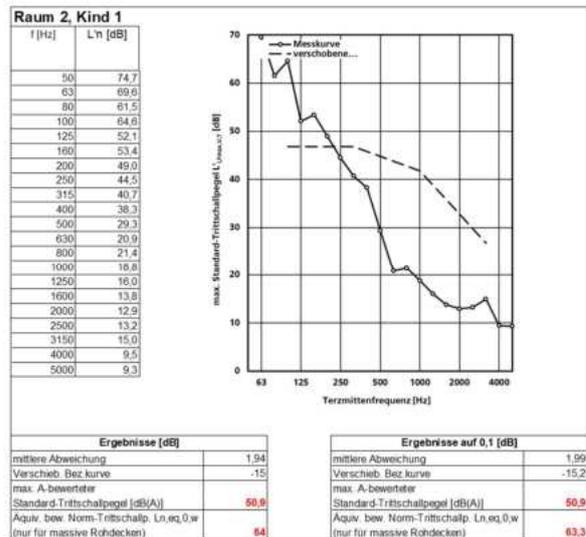
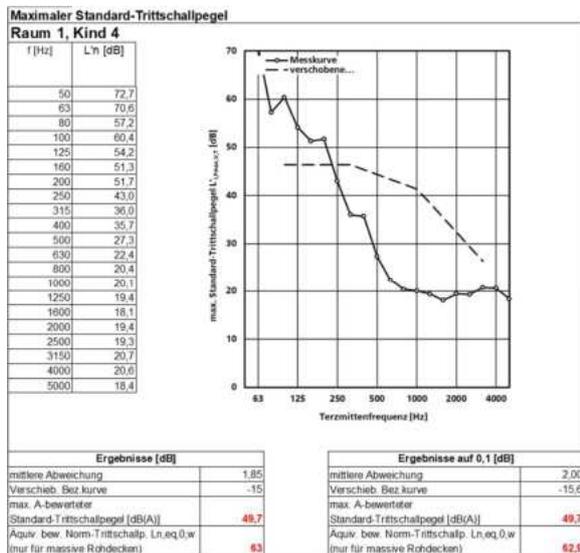
- Dabei bedeuten:
- $L'_{i,Fmax,V,T}$ = korrigierter maximaler Trittschallpegel in dB
 - $L'_{i,Fmax}$ = energetisch gemittelter maximaler Trittschallpegel in dB
 - V = Volumen im Empfangsraum in m^3
 - V_0 = Bezugsvolumen in m^3 , $V_0 = 50 m^3$
 - C_0 = $(T_0/1,7275)$, T_0 = Bezugs-Nachhallzeit in s, $T_0 = 0,5$ s
 - C = $(T/1,7275)$, T = Nachhallzeit im Empfangsraum in s

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Messungen mit dem Japanischen Gummiball in den Häusern – jeweils für beide Räume – dargestellt.

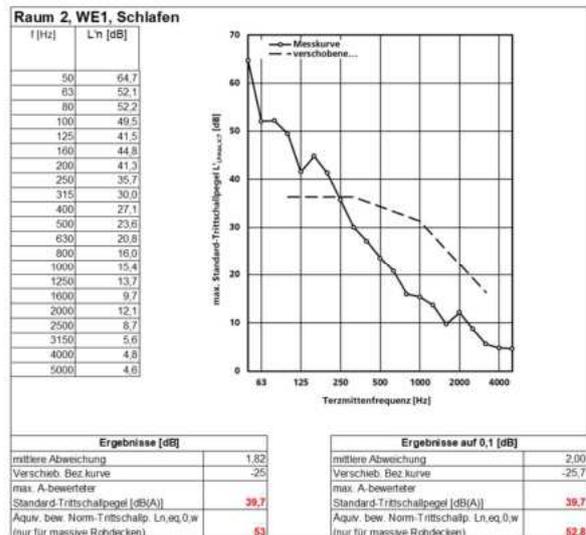
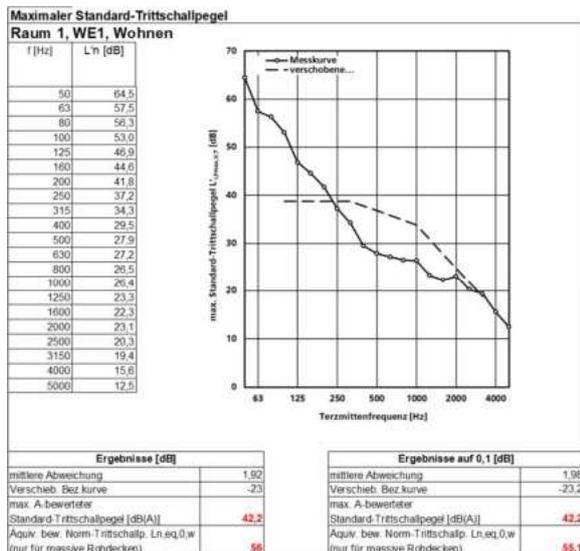
Haus 1:



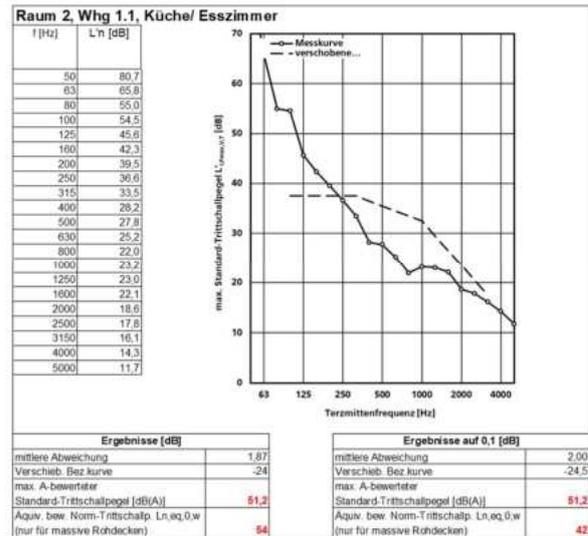
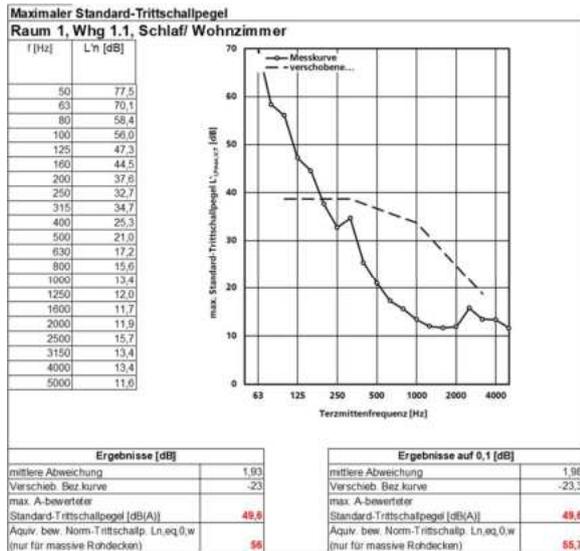
Haus 2:



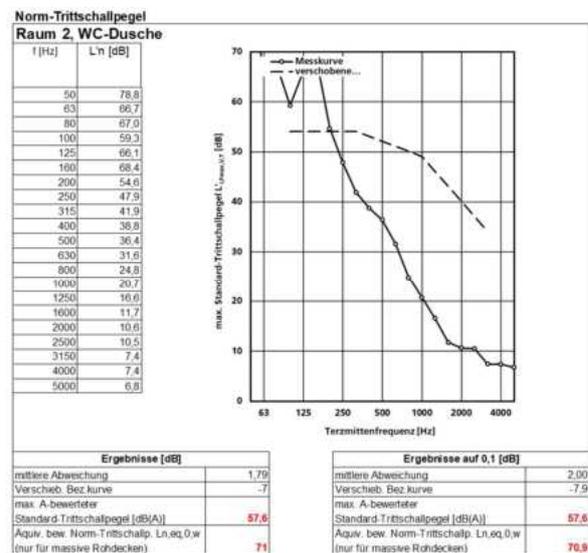
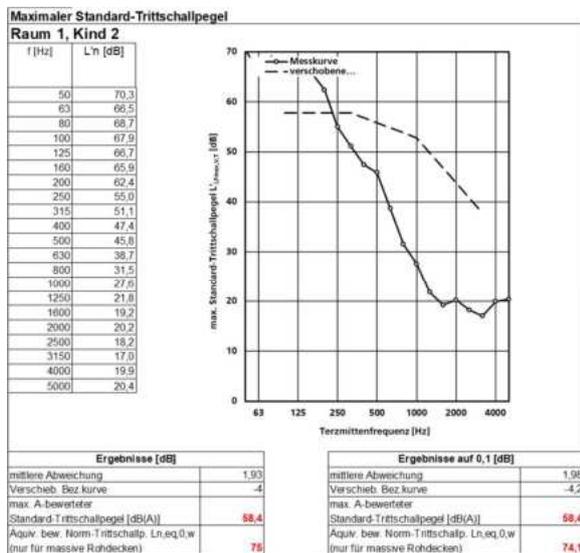
Haus 3:



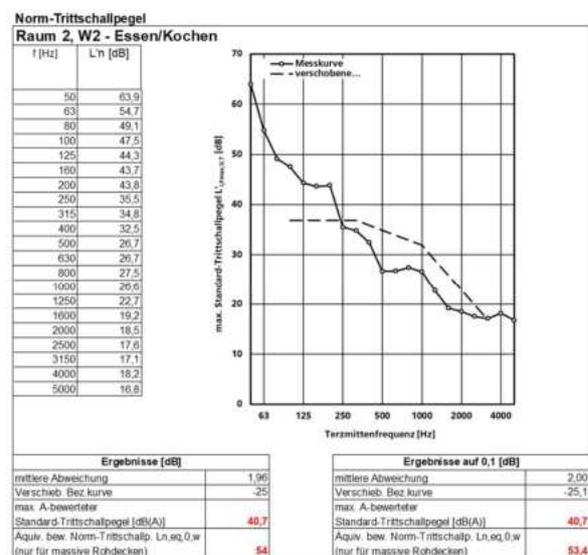
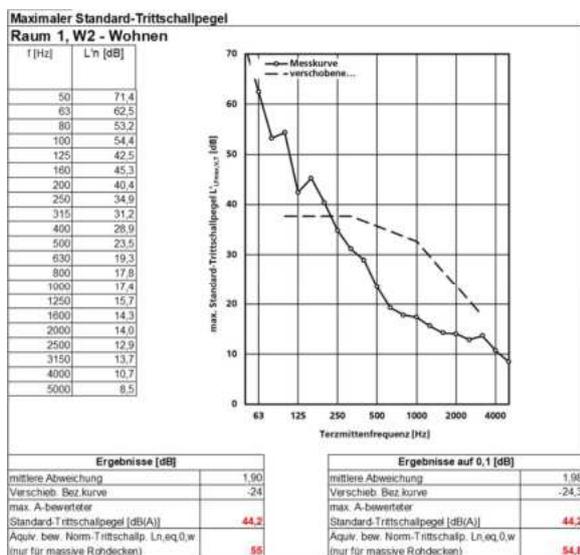
Haus 4:



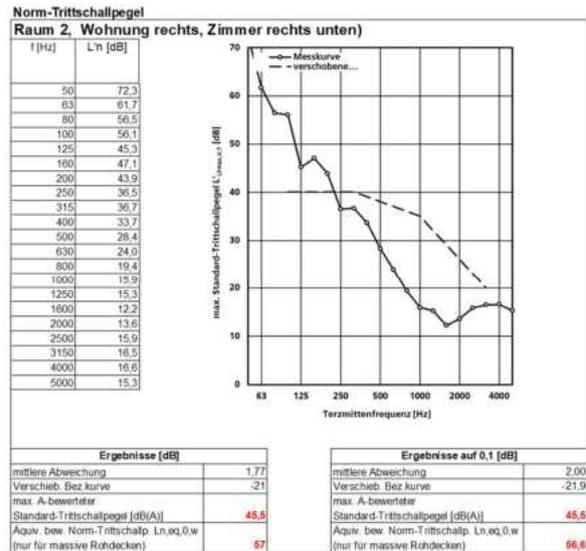
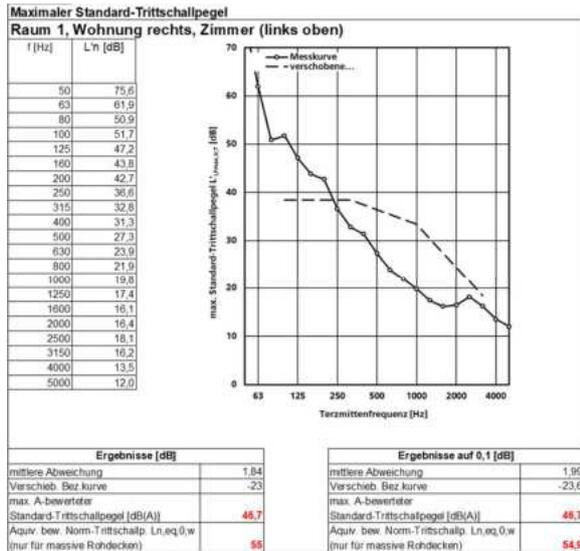
Haus 5:



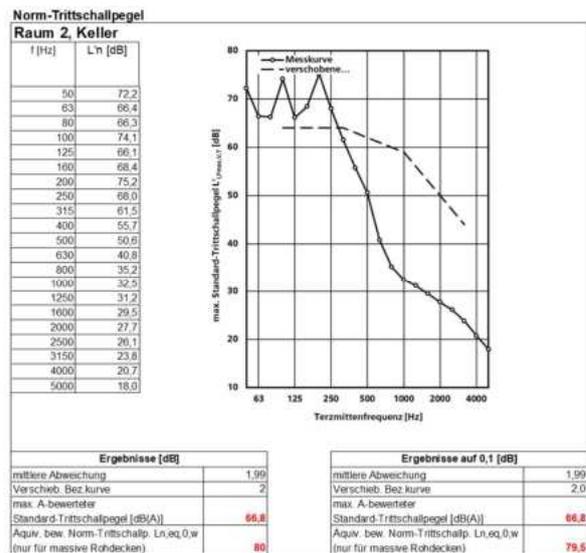
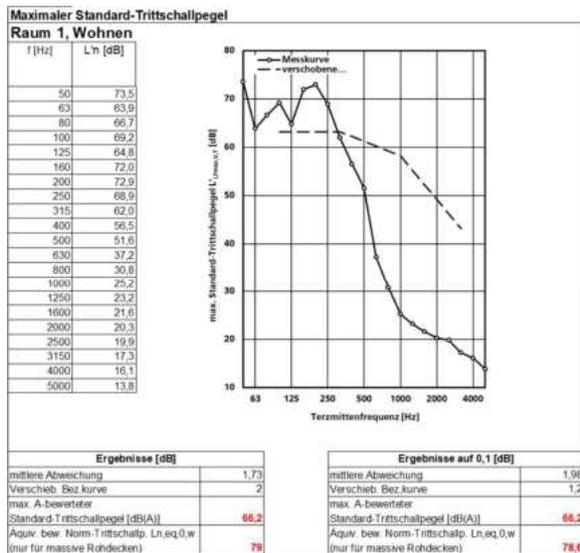
Haus 6:



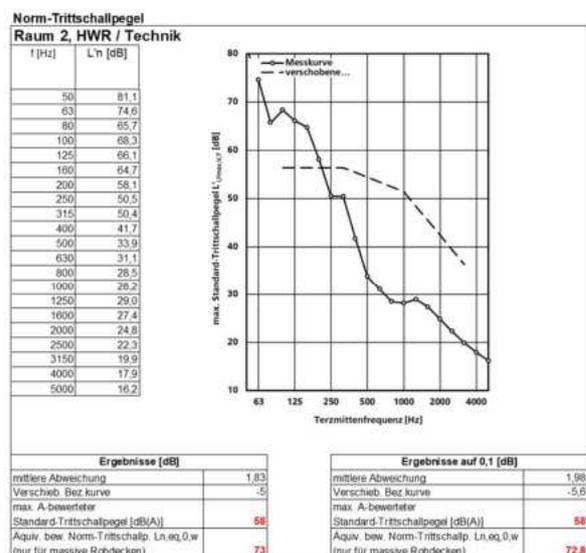
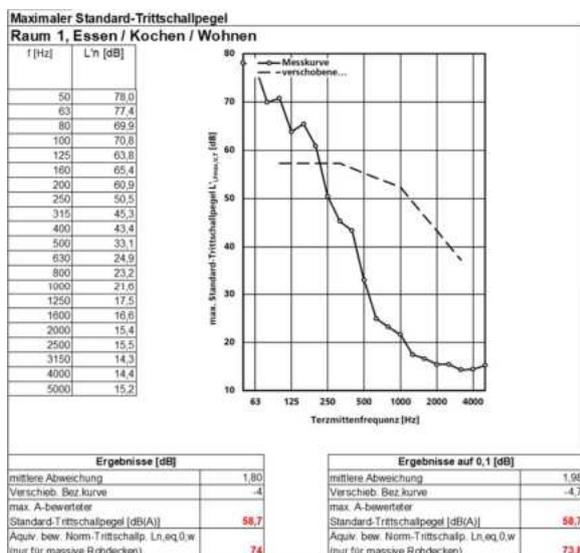
Haus 7:



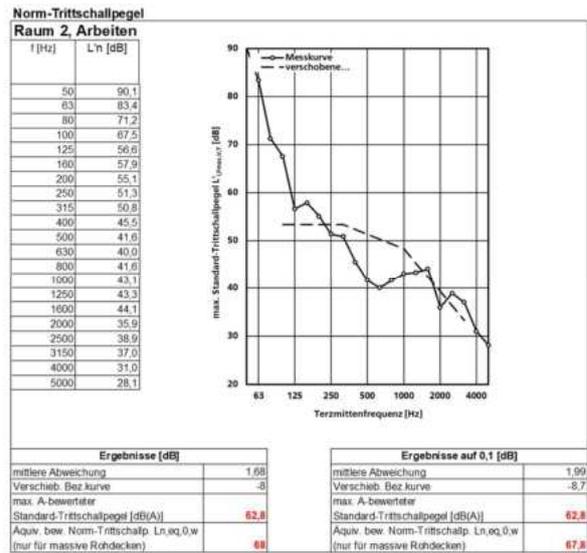
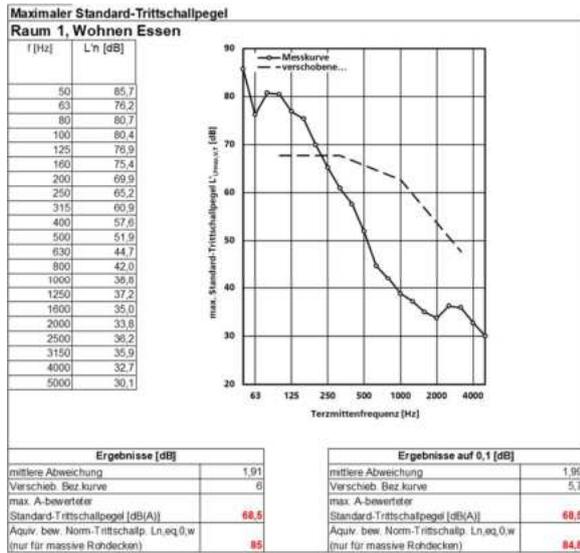
Haus 8:



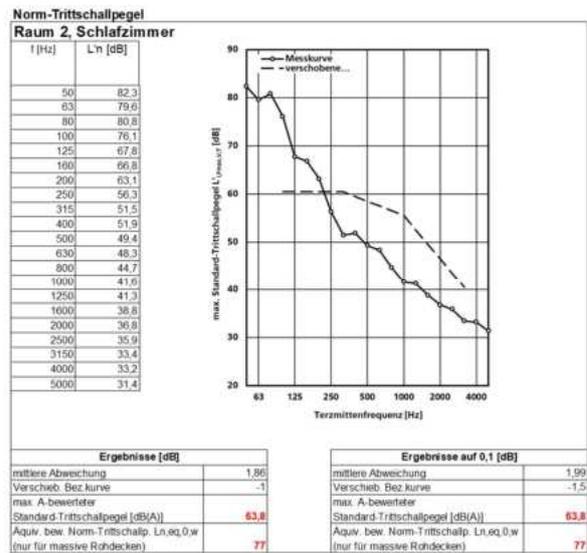
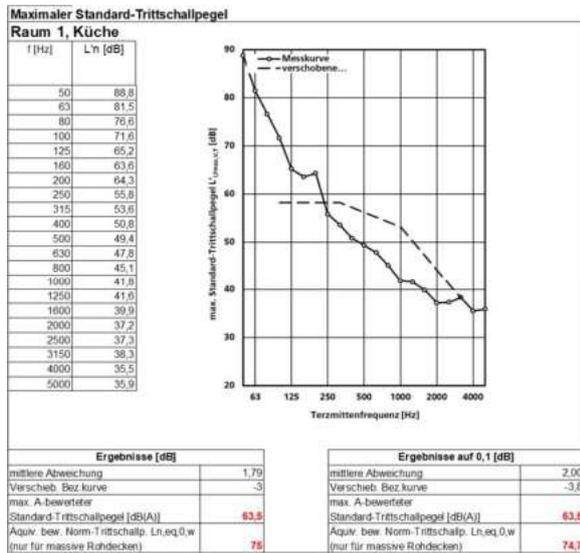
Haus 9:



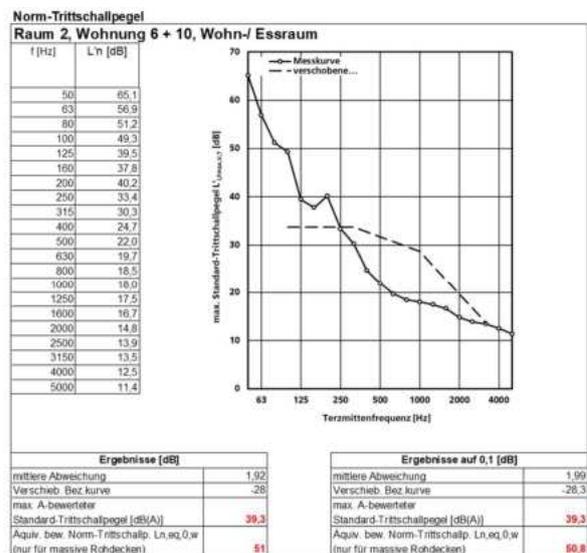
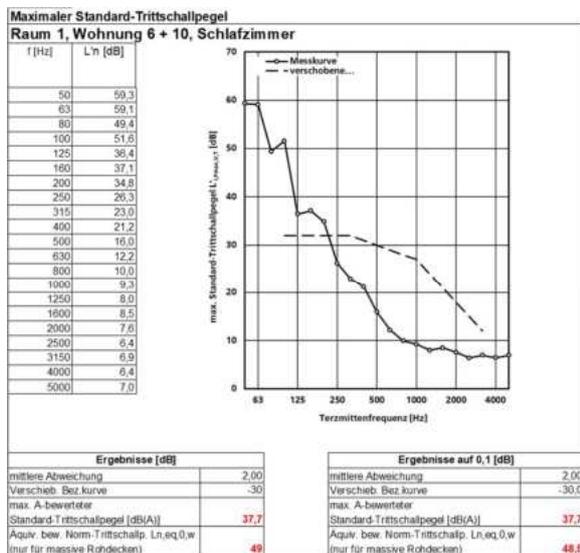
Haus 10:



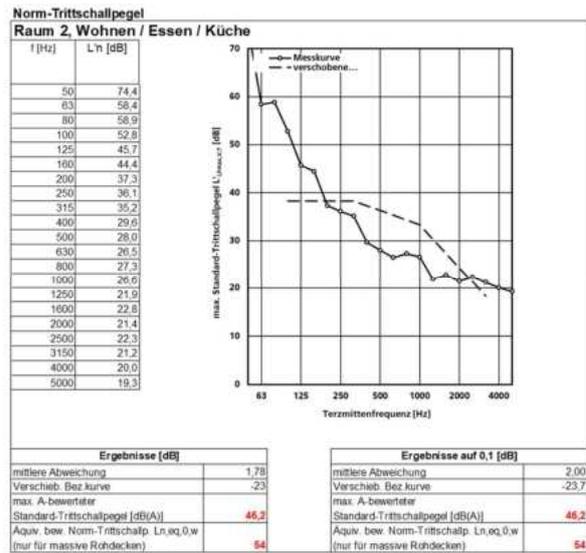
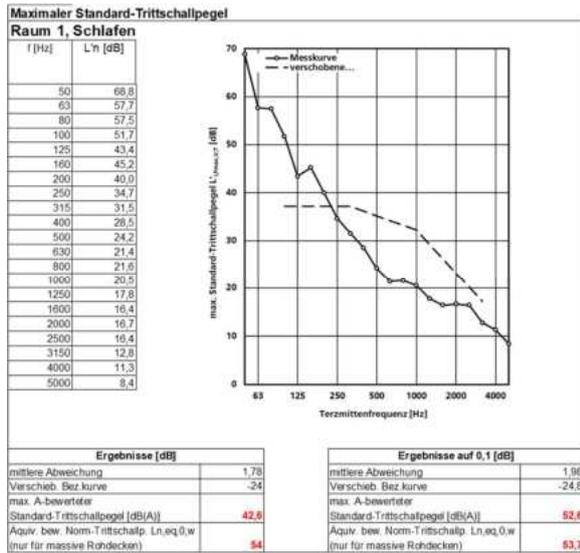
Haus 11:



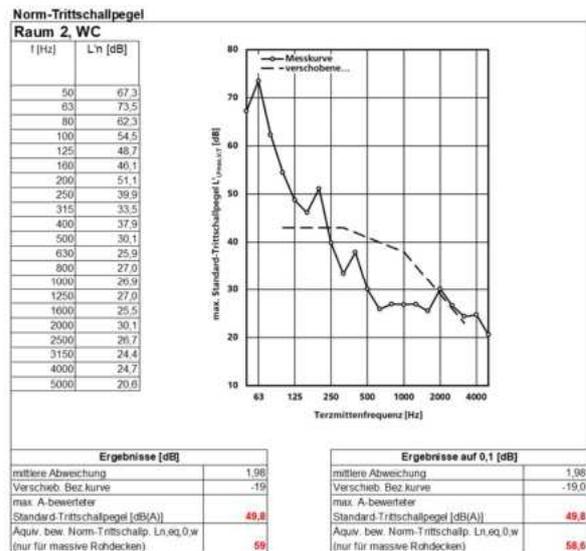
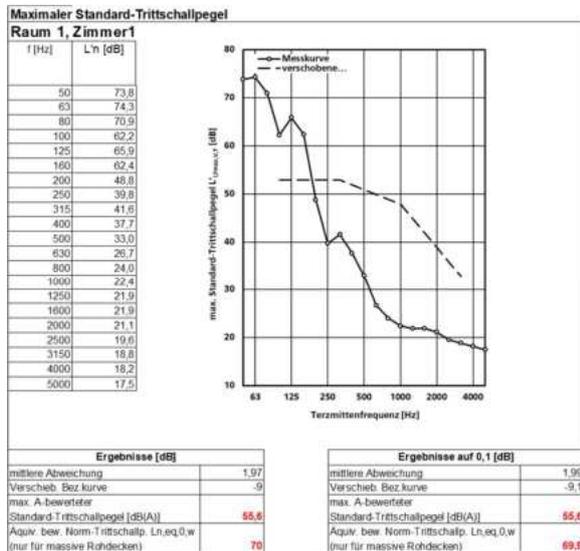
Haus 12:



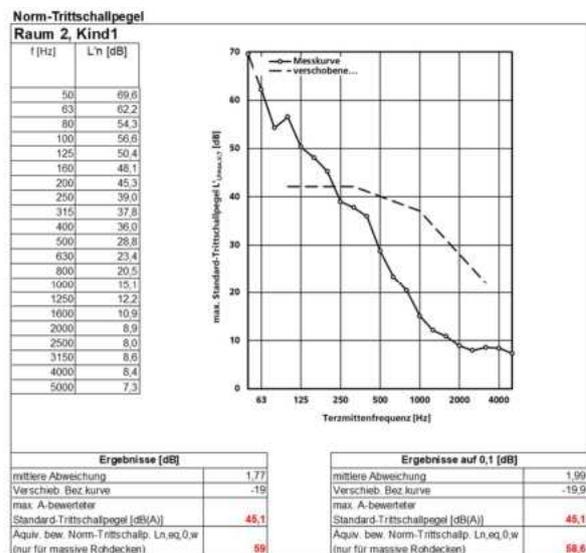
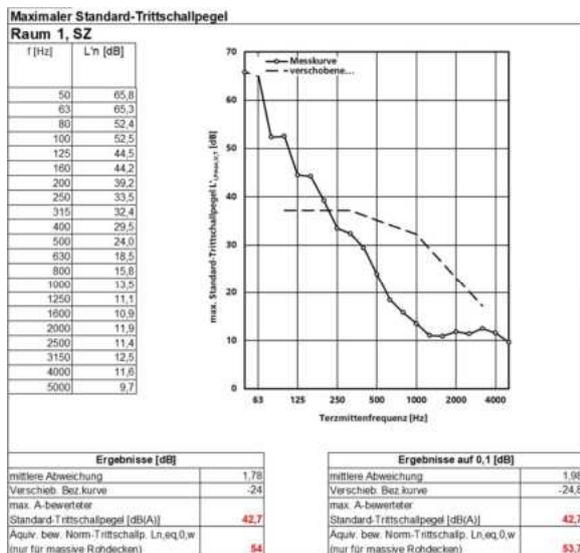
Haus 13:



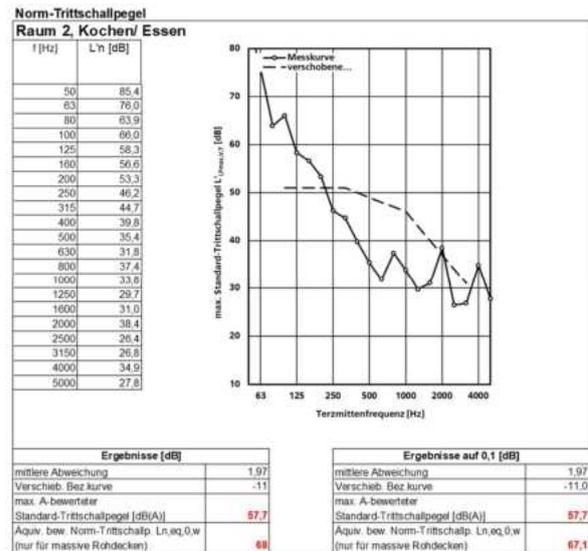
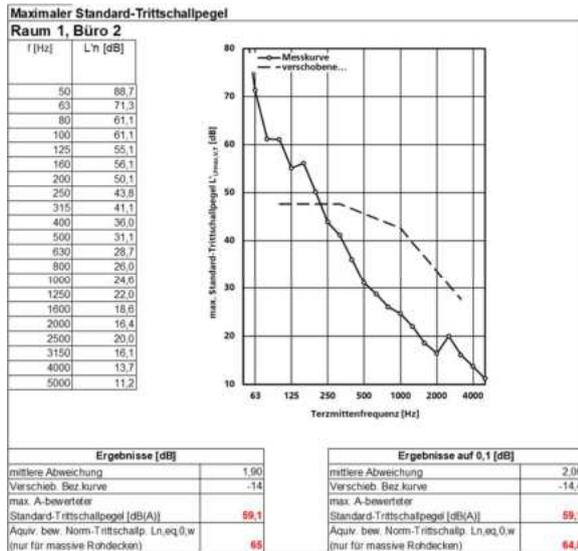
Haus 14:



Haus 15:



Haus 16:



1.3.3 Messungen mit dem Geher

Zur Erzeugung der Gehgeräusche lief in jedem Haus die gleiche, männliche erwachsene Person im Senderaum. Wenn möglich, ging die Person eine Acht mit einer Länge von ca. 2 m laufend an drei Positionen im Raum. Es wurden die Gehgeräusche bei der Verwendung von Anzugschuhen, Sportschuhen und Socken im Empfangsraum aufgezeichnet. Pro Schuhwerk ging die männliche Person einmal im normalen Gehtempo (ca. 80-100 Schritte pro Minute), einmal mit einer Geschwindigkeit von 120 Schritten pro Minute, also in schnellerem Gehtempo. Das entstehende Geräusch im Empfangsraum wurde an drei festen Mikrofonpositionen aufgenommen. Die Messzeit betrug pro Gehposition 60 s, ausgewertet wurde in Terzen. Die Quelle Geher ist nicht genormt, als Anhaltspunkt wurden die Geräusche als A-bewertete Standard-Schalldruckpegel entsprechend folgender Beziehung ausgewertet:

$$L'_{nT,A} = L'_{i,A} - 10\log(T/T_0)$$

- Dabei bedeuten:
- $L'_{nT,A}$ = A-bewerteter Standard-Schalldruckpegel in dB(A)
 - $L'_{i,A}$ = A-bewerteter Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB(A)
 - T = Nachhallzeit im Empfangsraum in s
 - T_0 = Bezugs-Nachhallzeit im Empfangsraum in s, $T_0 = 0,5s$

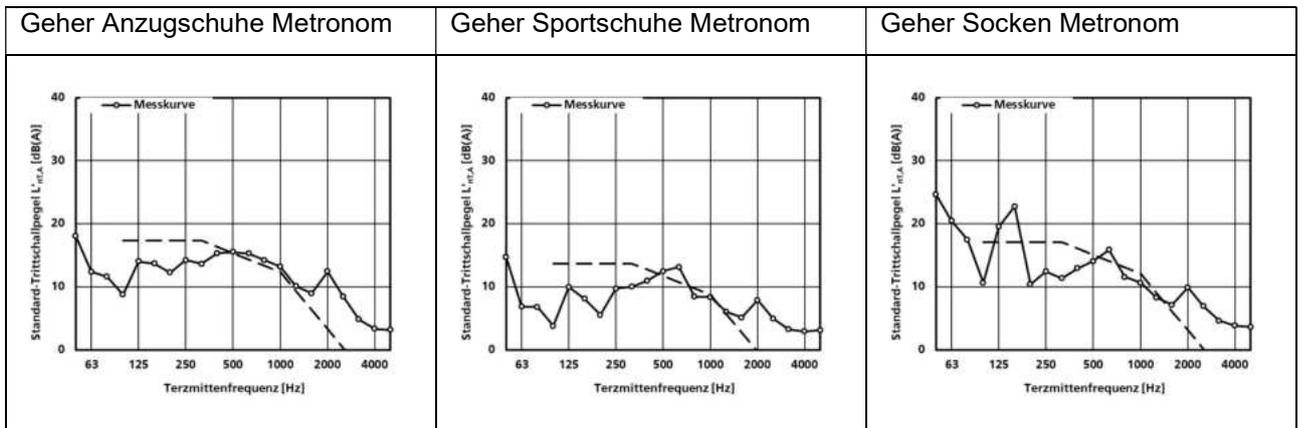
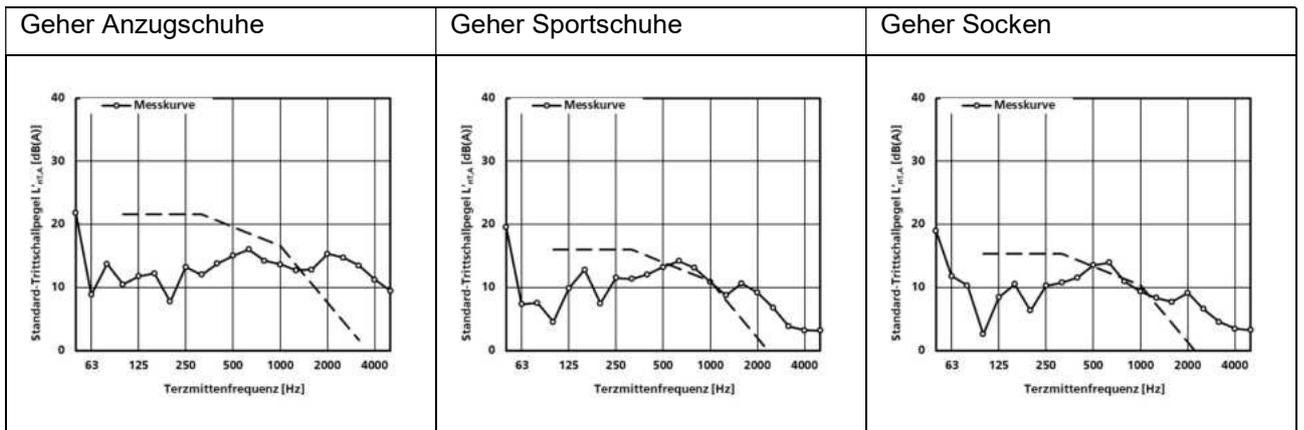
Der Geher stellt im Gegensatz zur Messung mit dem Normhammerwerk oder Japanischen Gummiball keine genormte Quelle dar. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Messungen mit dem Geher in den Häusern – jeweils für beide Räume und jeweils für Anzugsschuhe, Sportschuhe und Socken in sowohl normalem als auch schnellerem Gehtempo– dargestellt.

Haus 1, Raum 1:

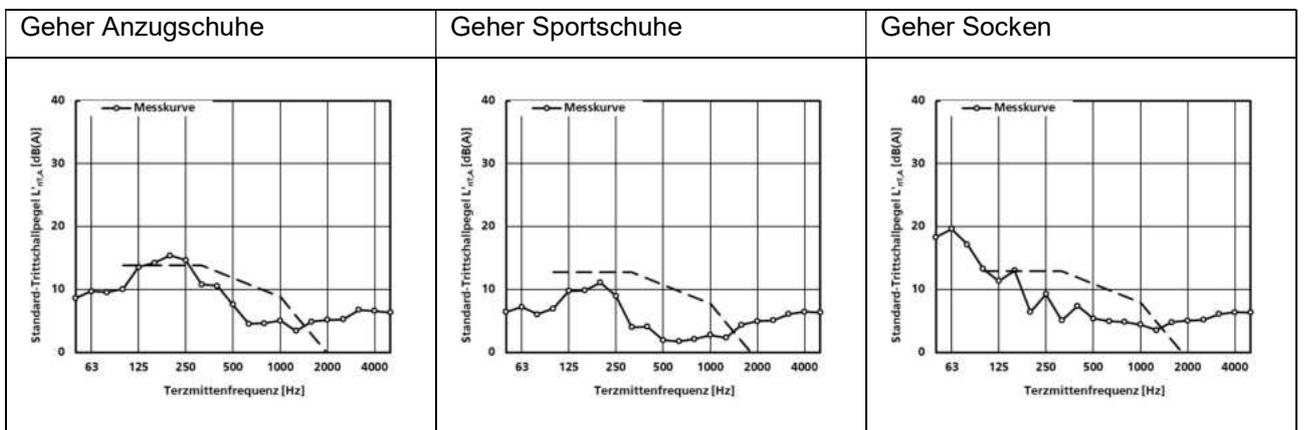


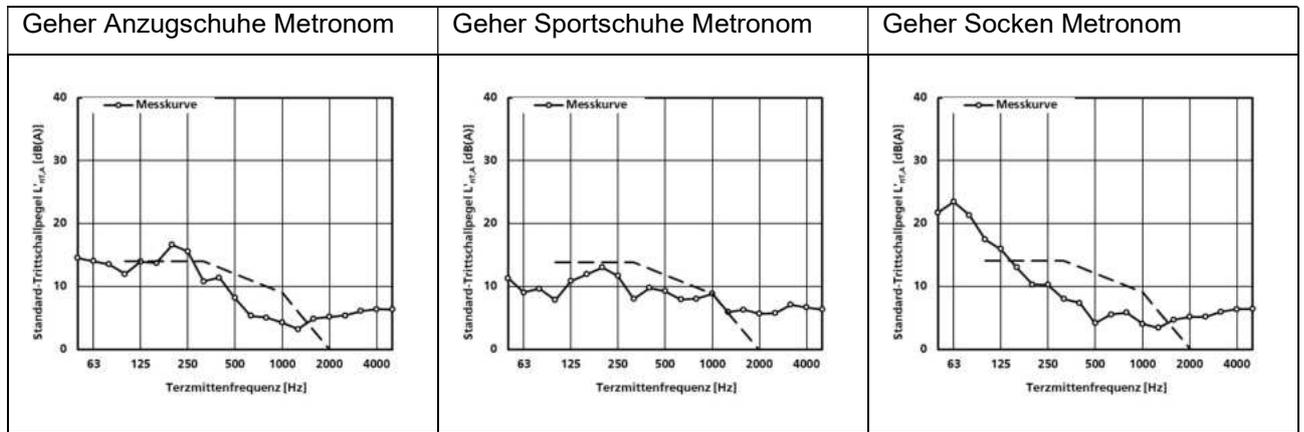


Haus 1, Raum 2:

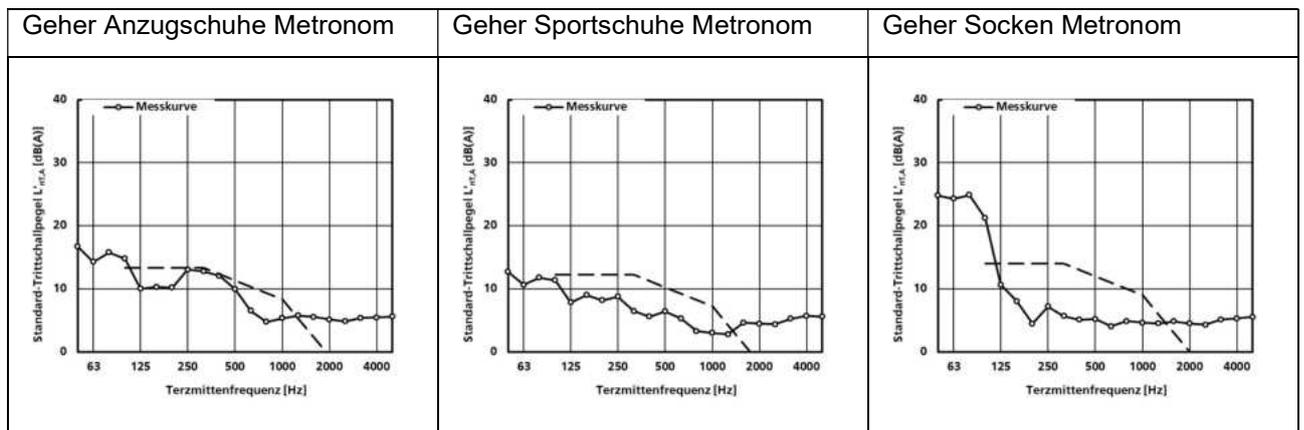
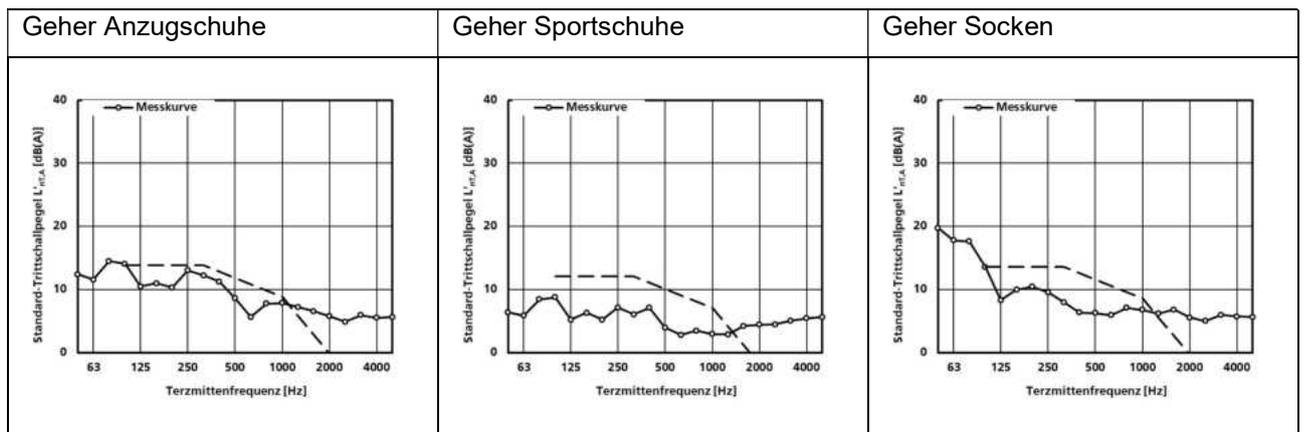


Haus 2, Raum 1:





Haus 2, Raum 2:

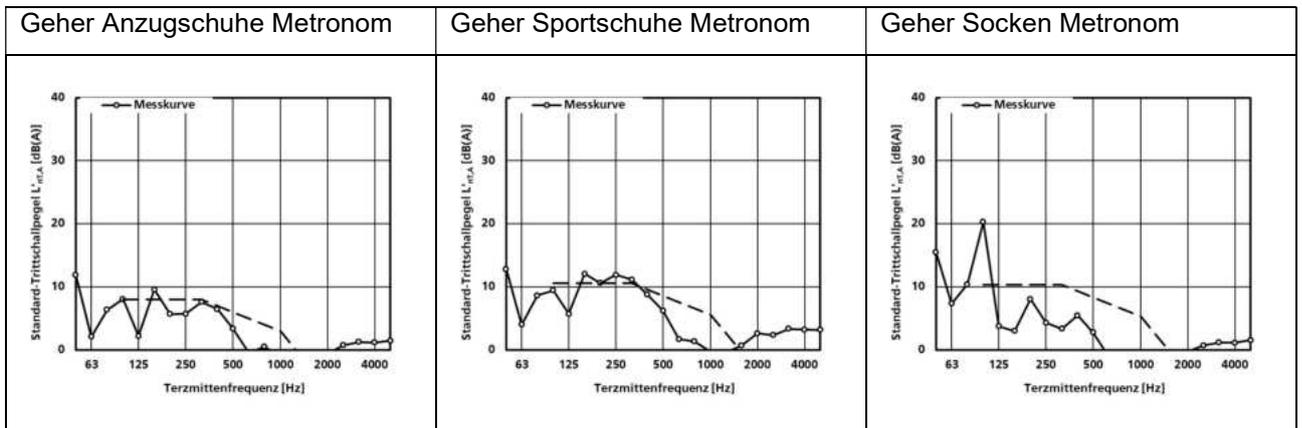
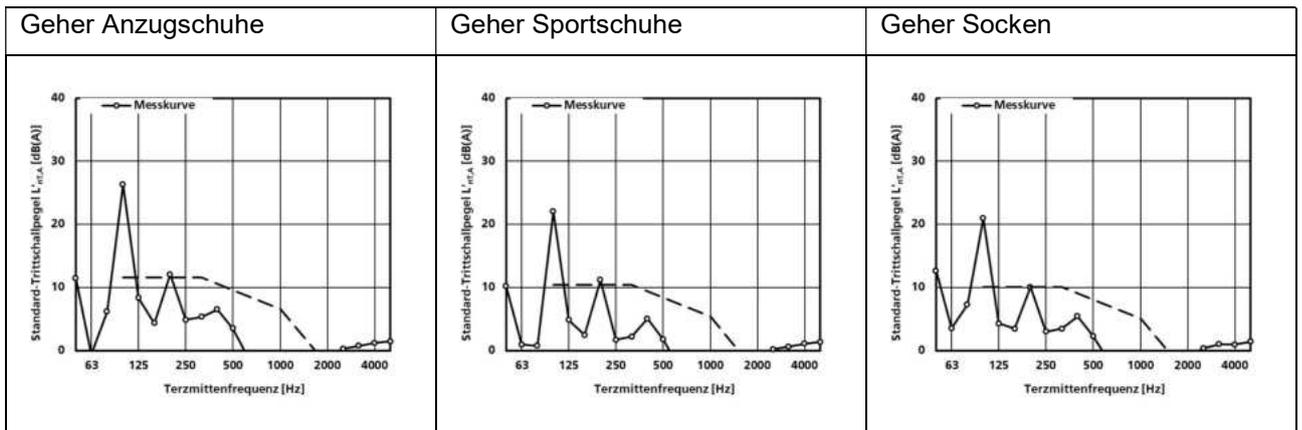


Haus 3, Raum 1:



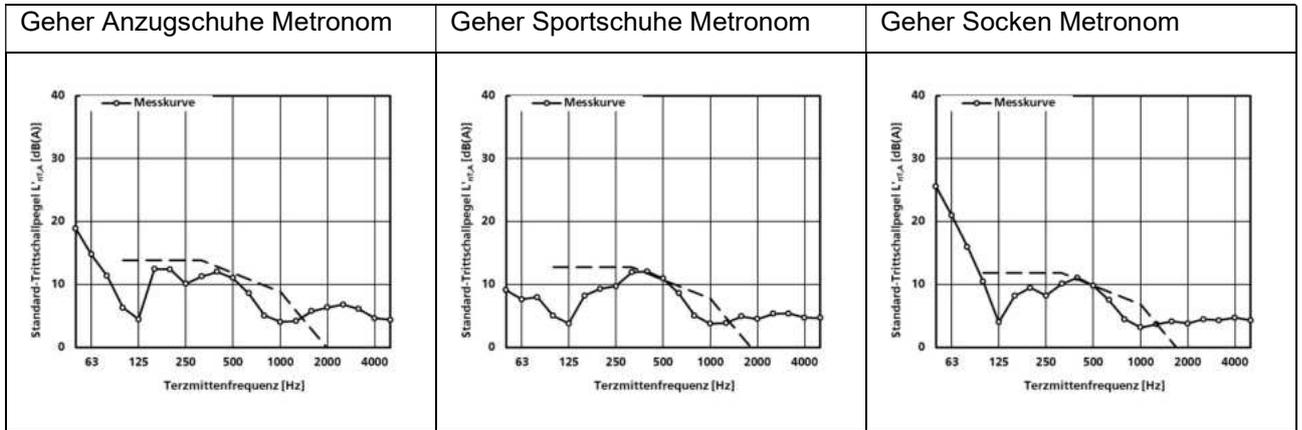


Haus 3, Raum 2:

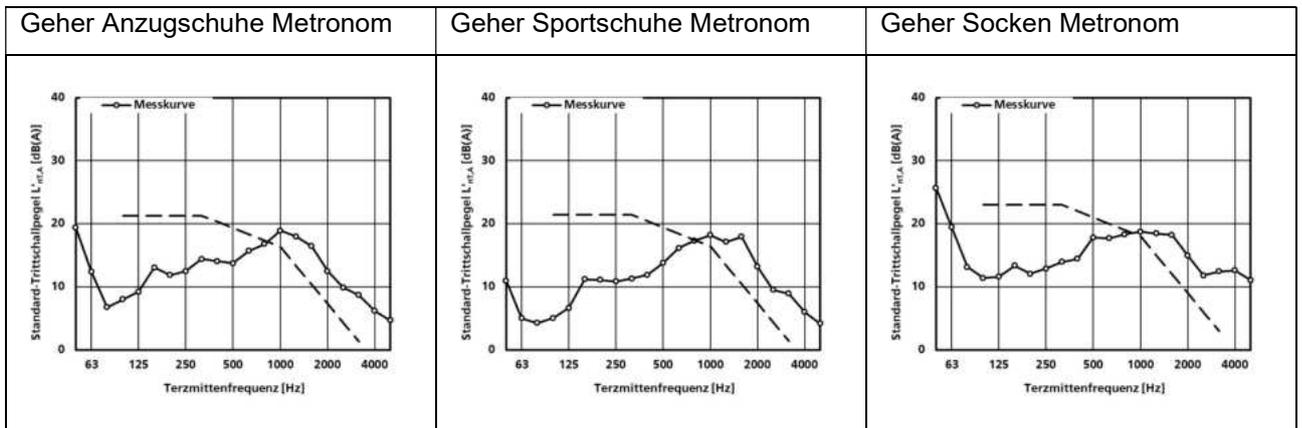


Haus 4, Raum 1:

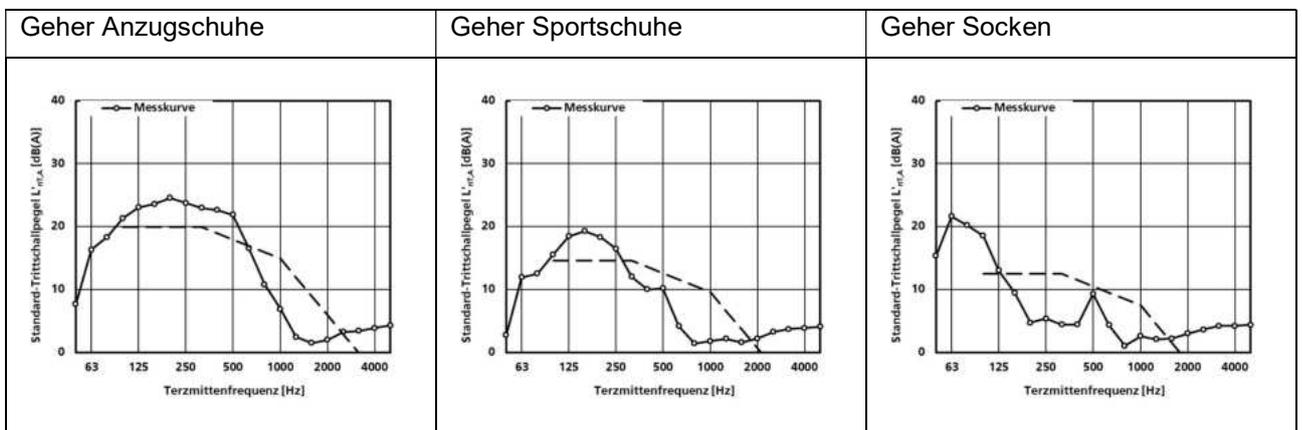


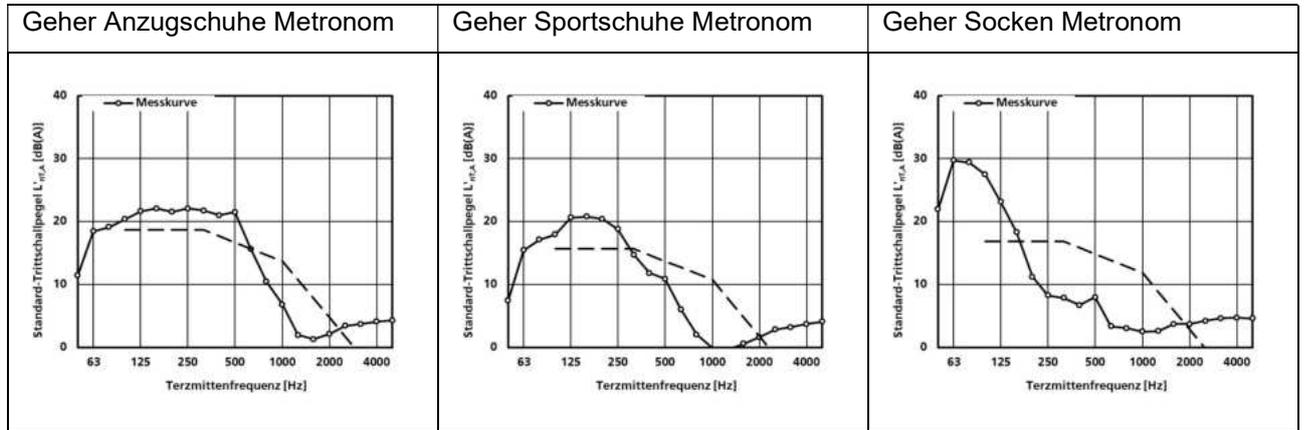


Haus 4, Raum 2:

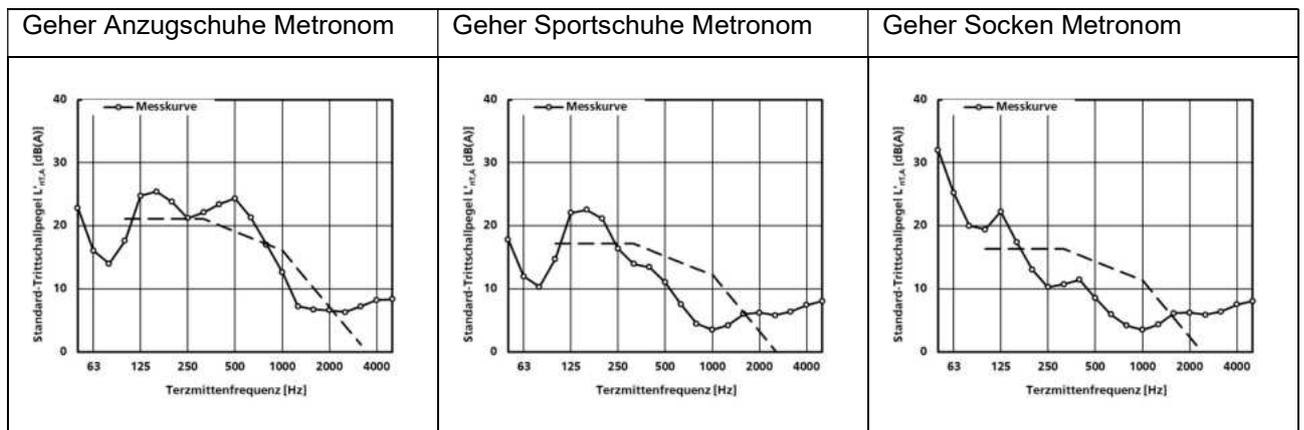
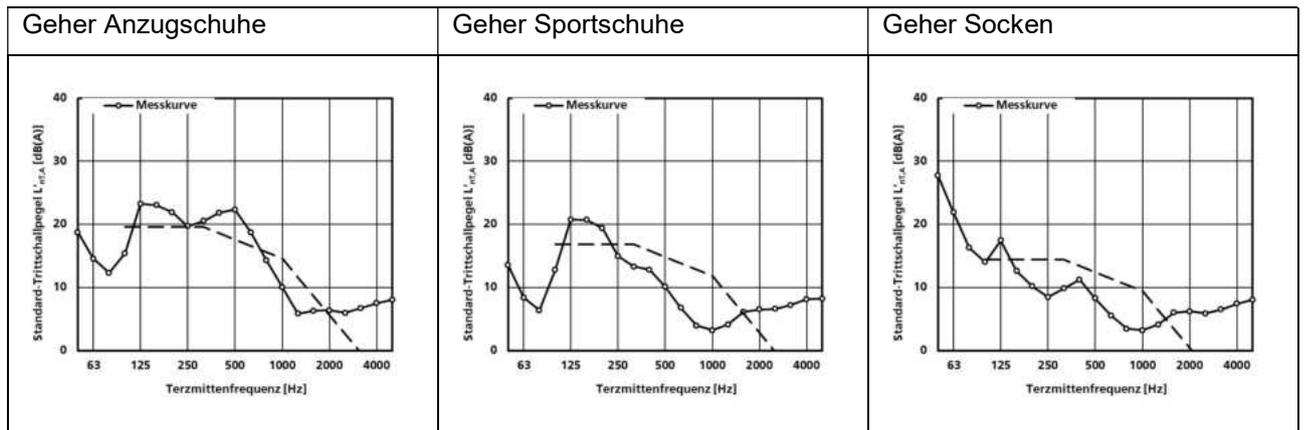


Haus 5, Raum 1:



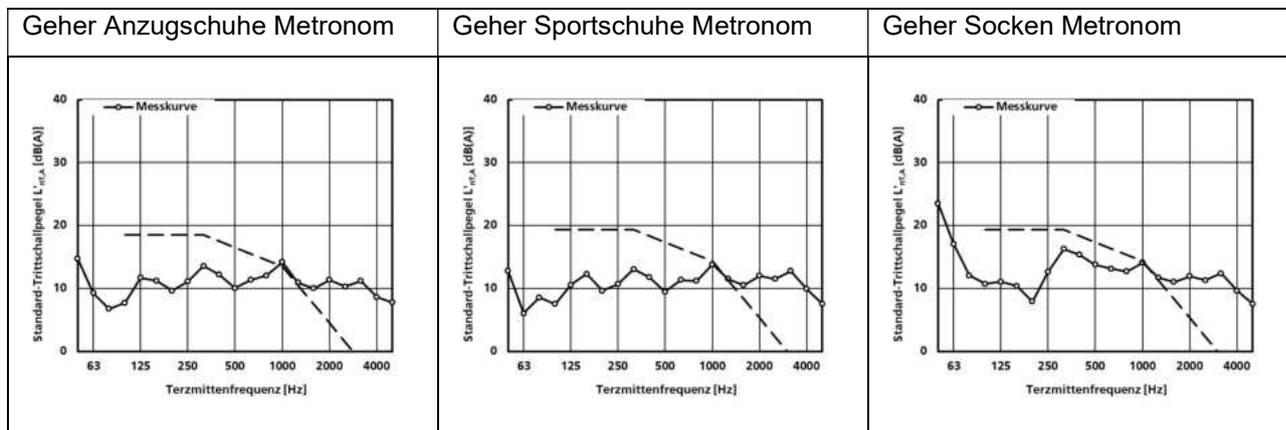


Haus 5, Raum 2:

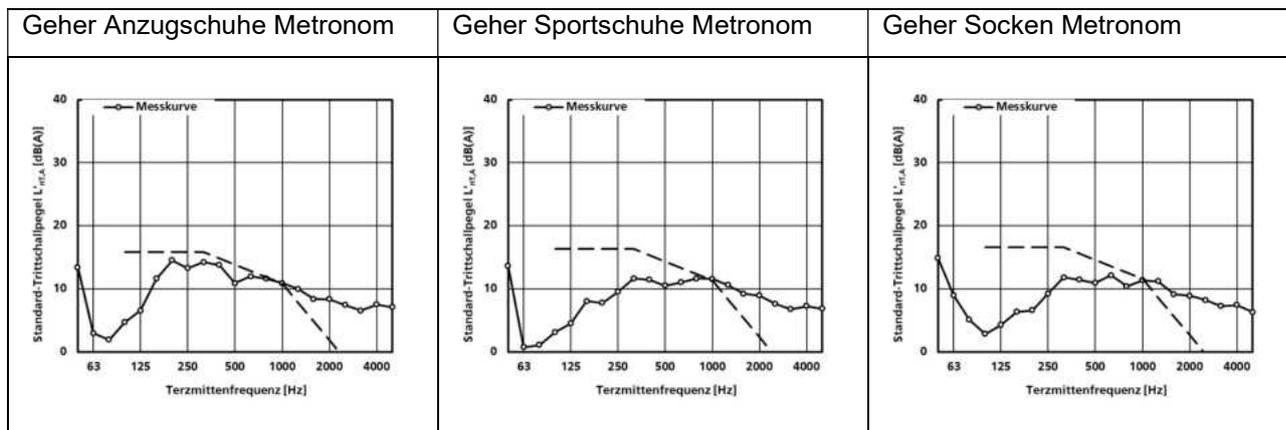
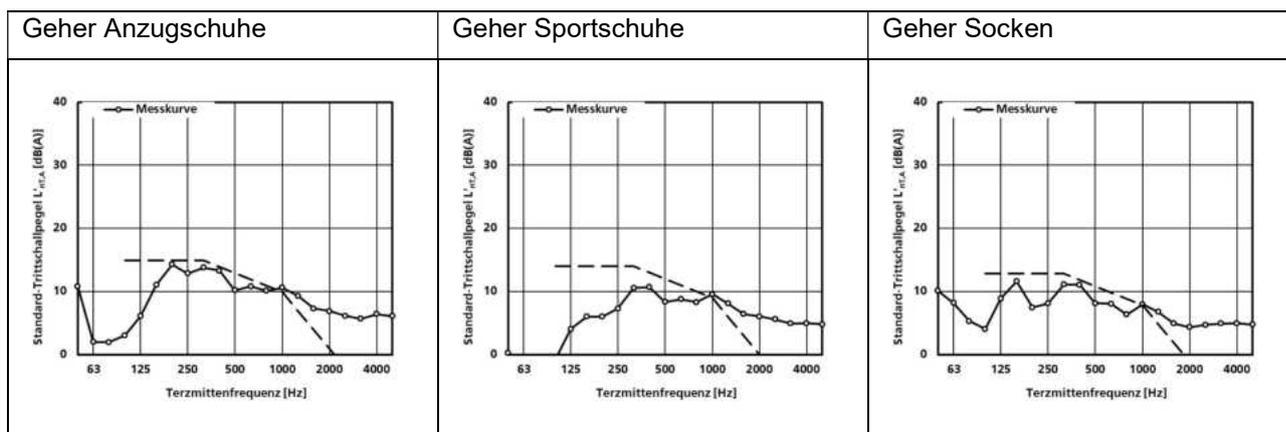


Haus 6, Raum 1:

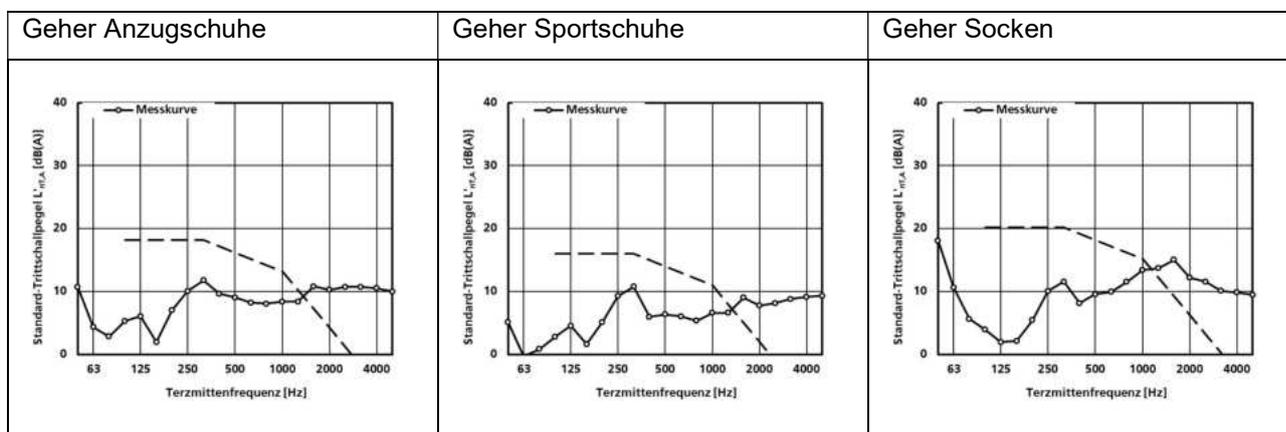


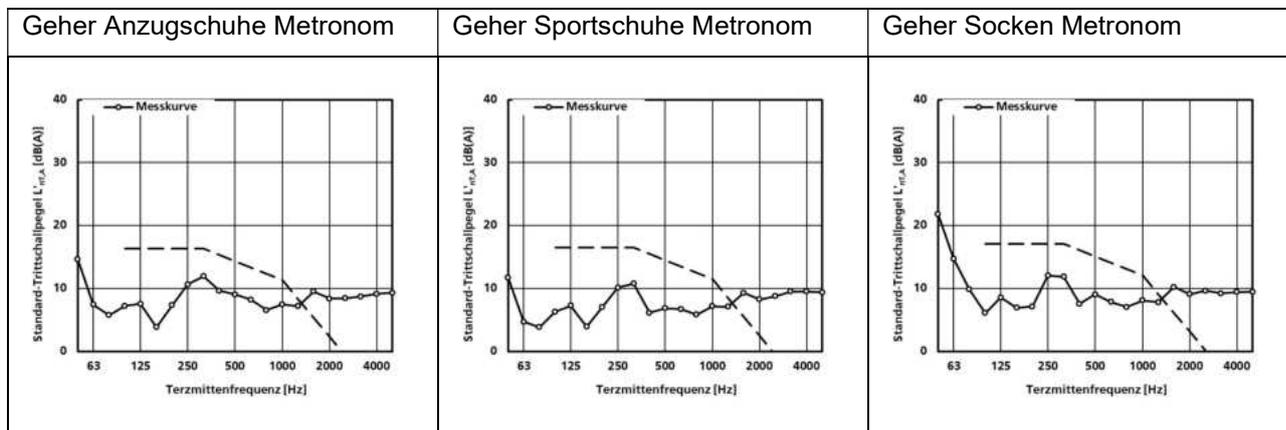


Haus 6, Raum 2:

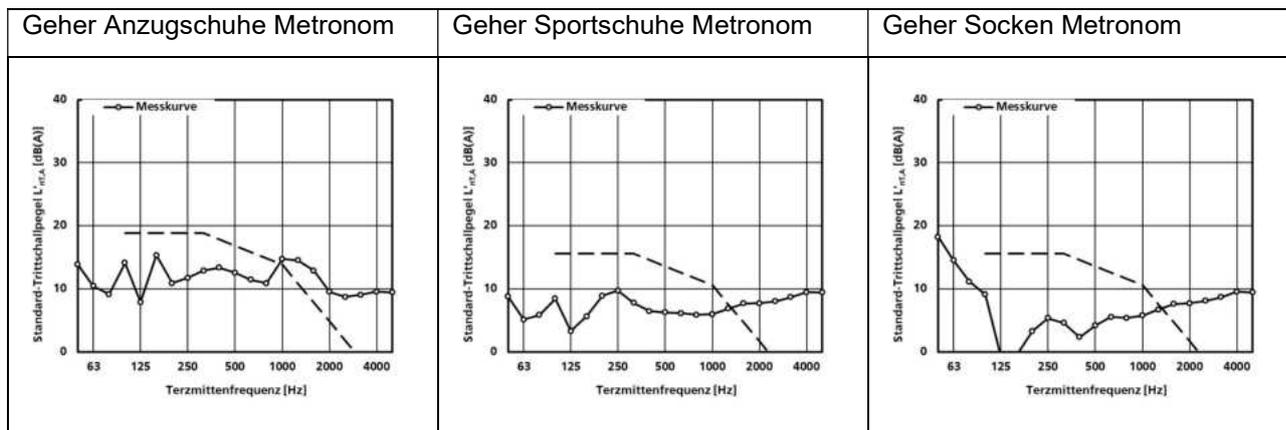
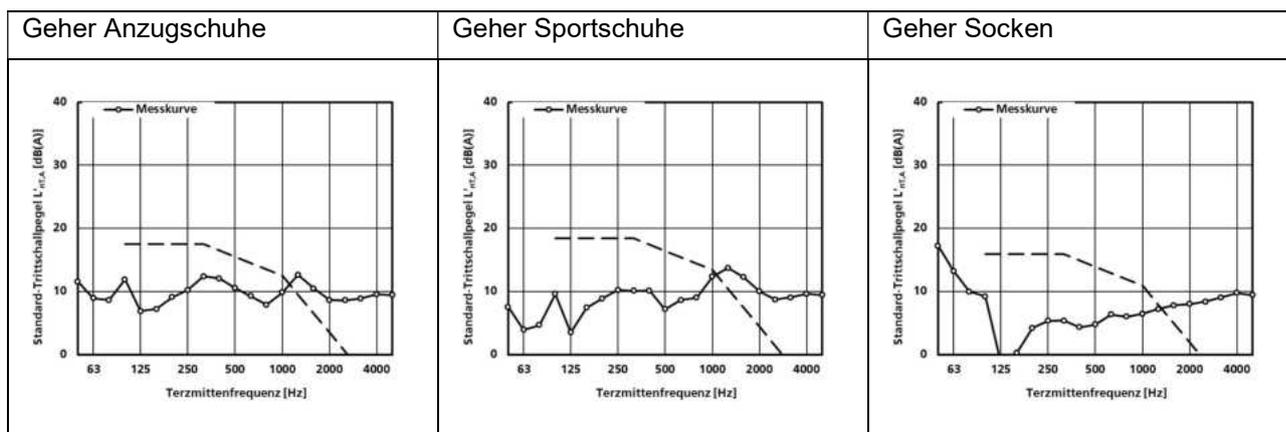


Haus 7, Raum 1:

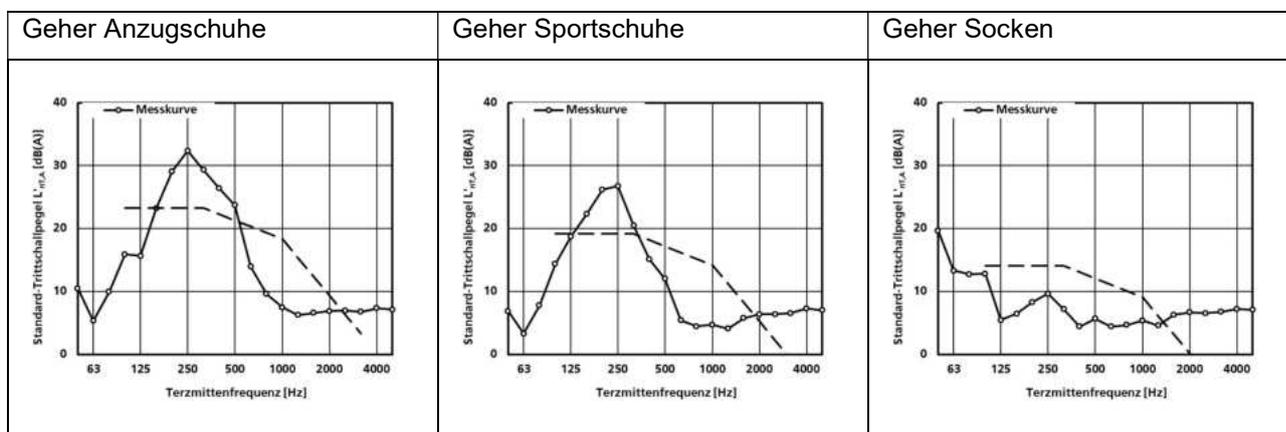


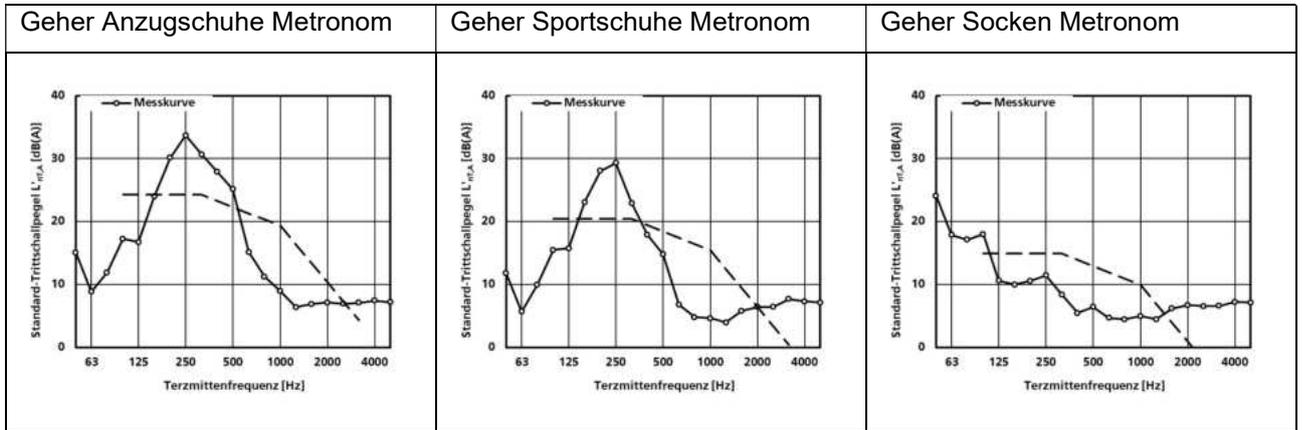


Haus 7, Raum 2:

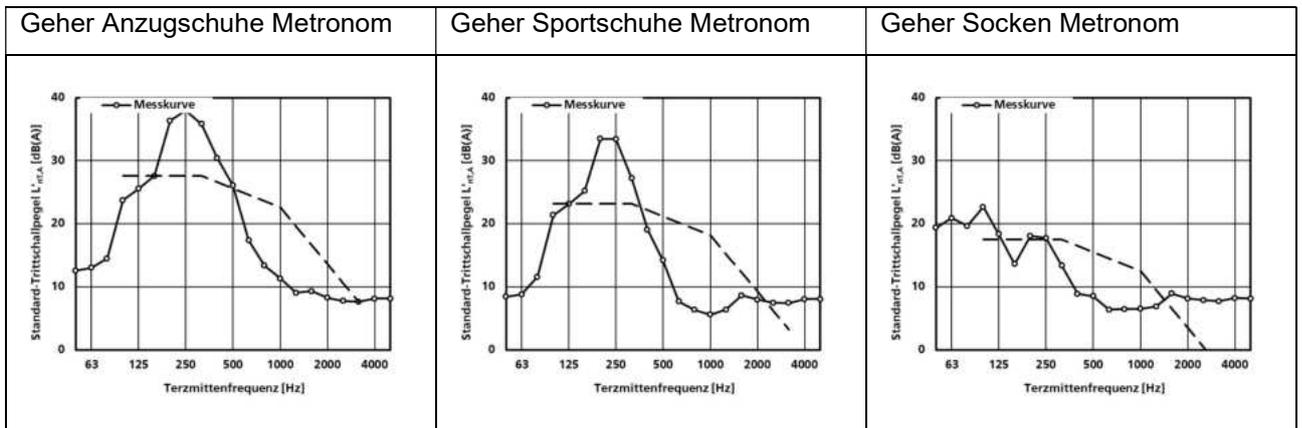


Haus 8, Raum 1:





Haus 8, Raum 2:

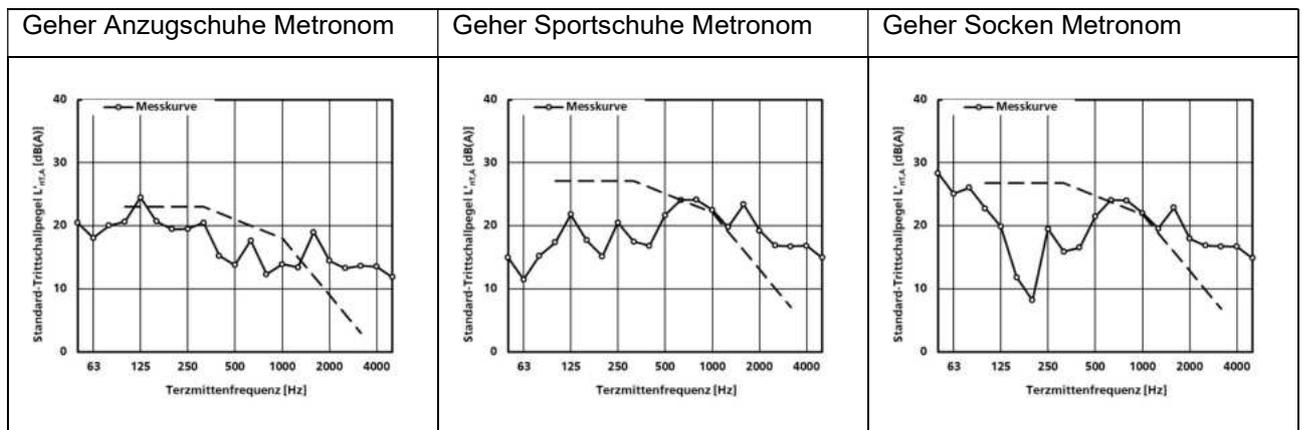


Haus 9, Raum 1:



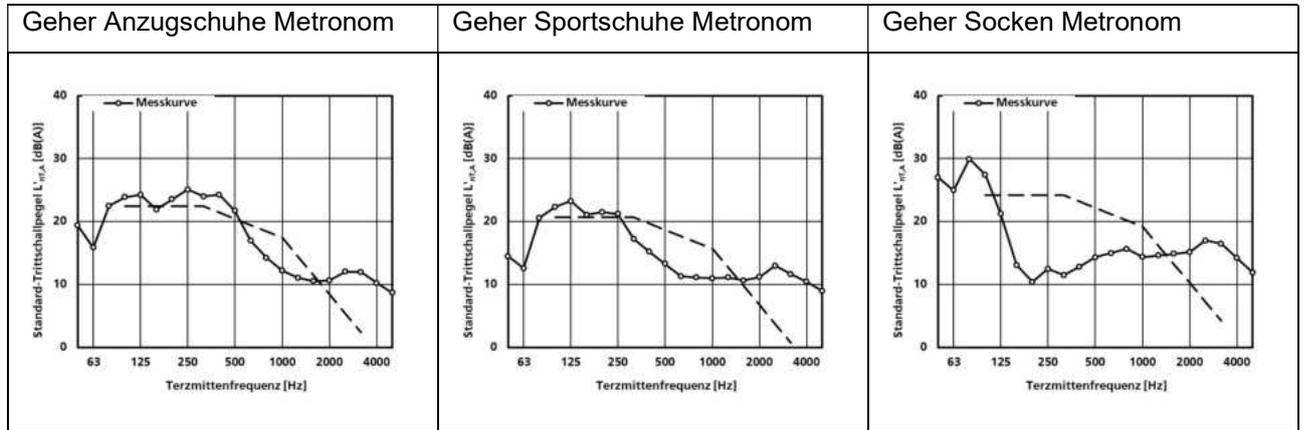


Haus 9, Raum 2:

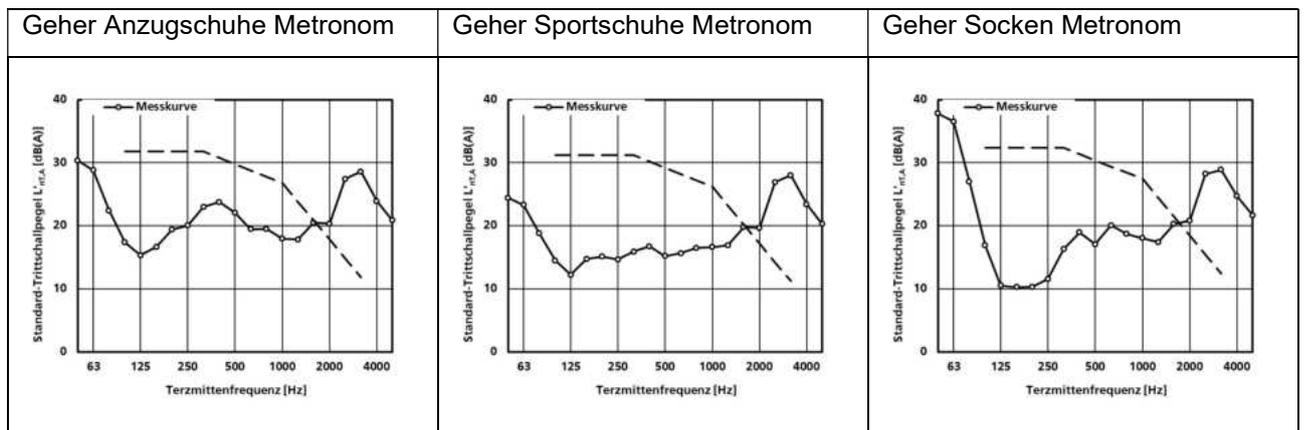
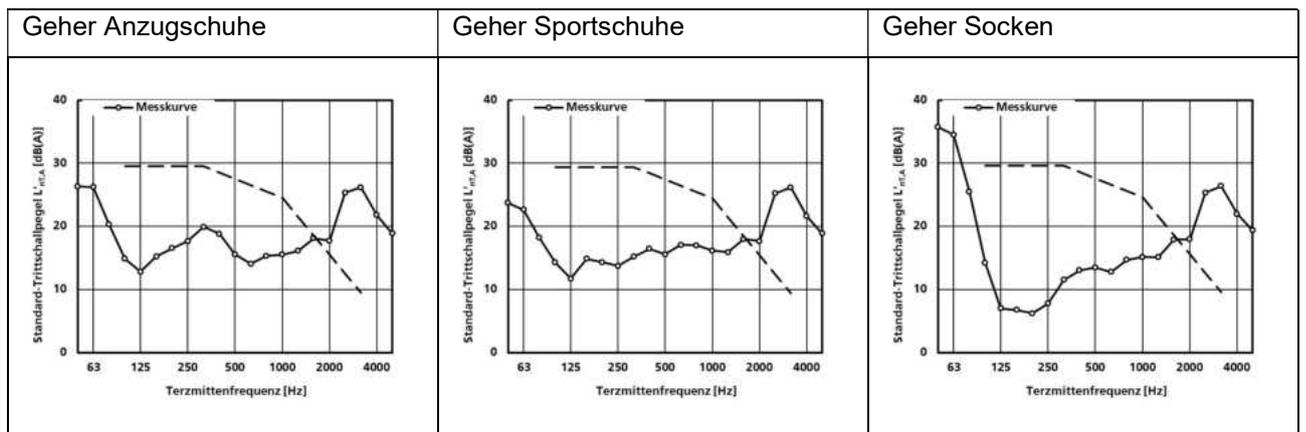


Haus 10, Raum 1:



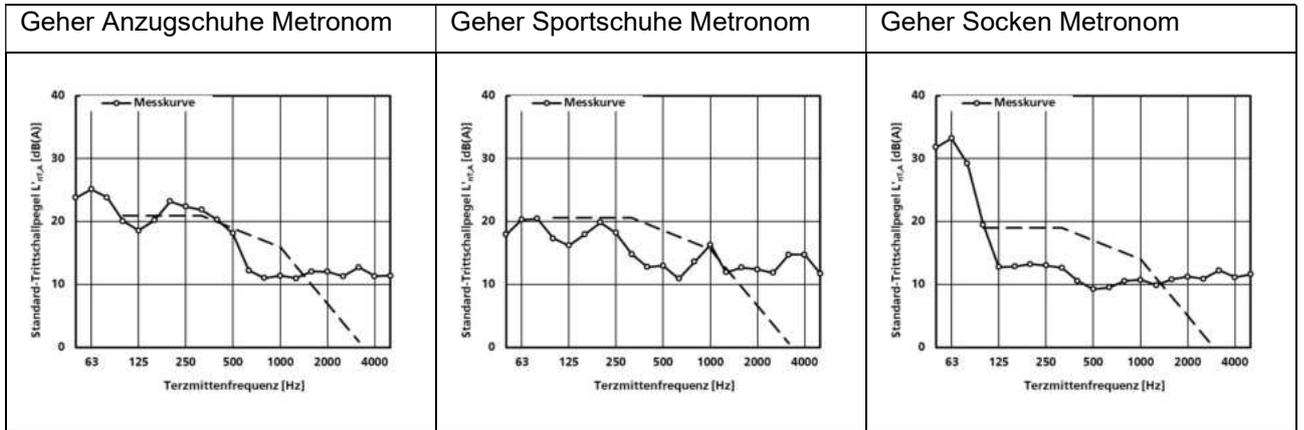


Haus 10, Raum 2:

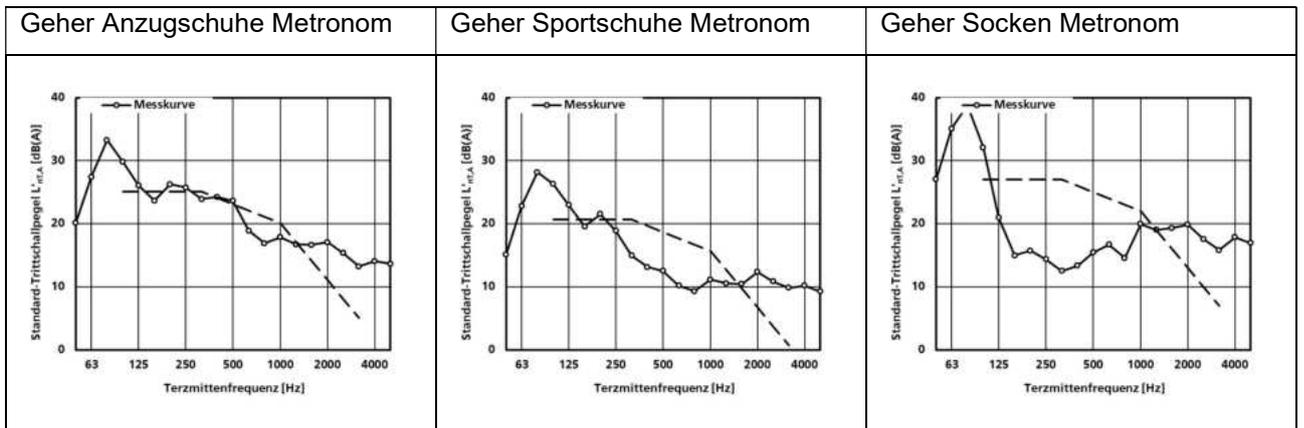
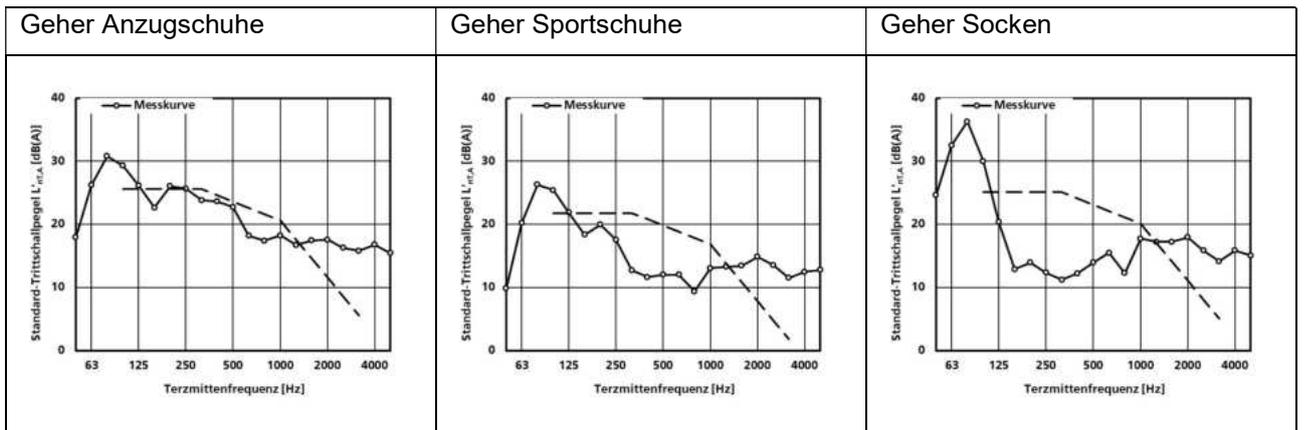


Haus 11, Raum 1:

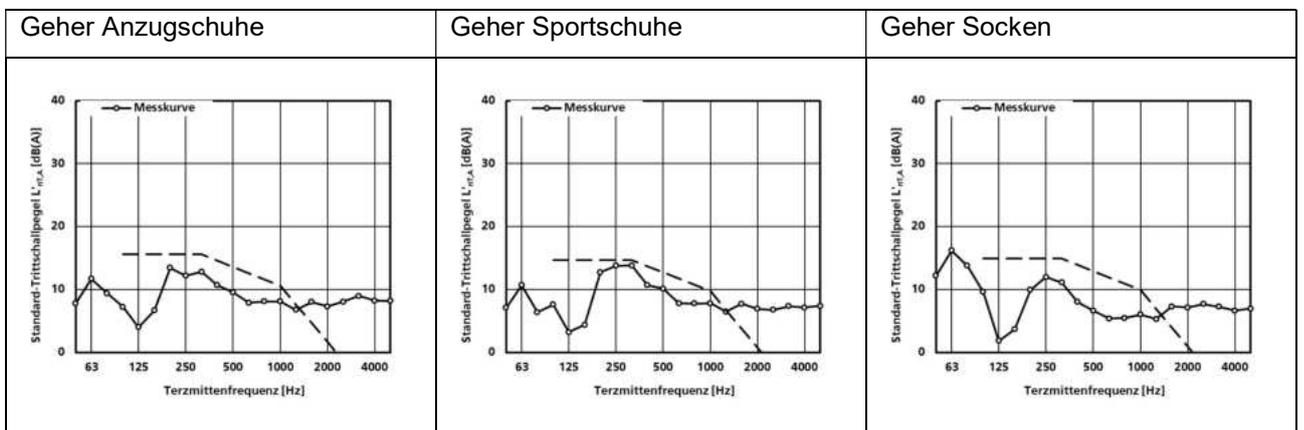


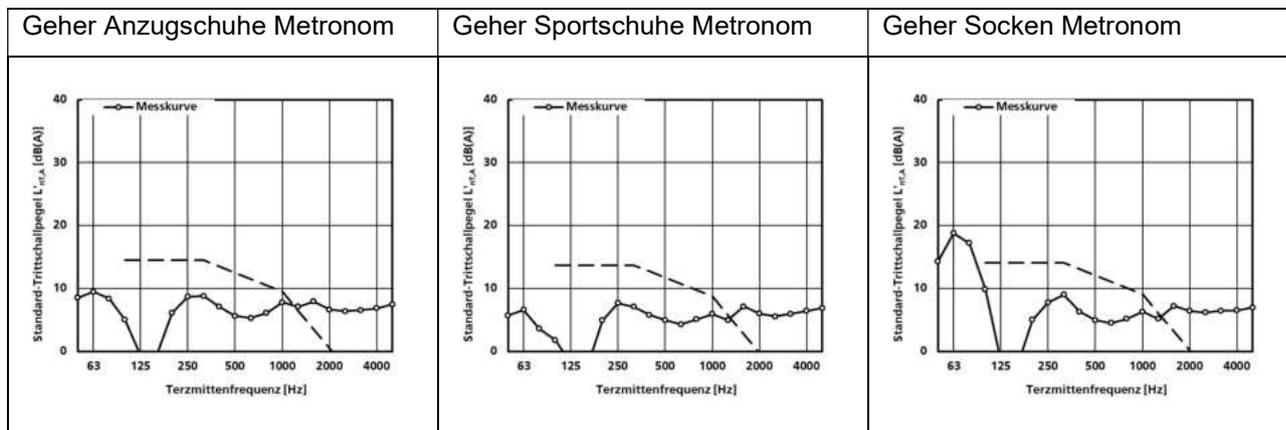


Haus 11, Raum 2:

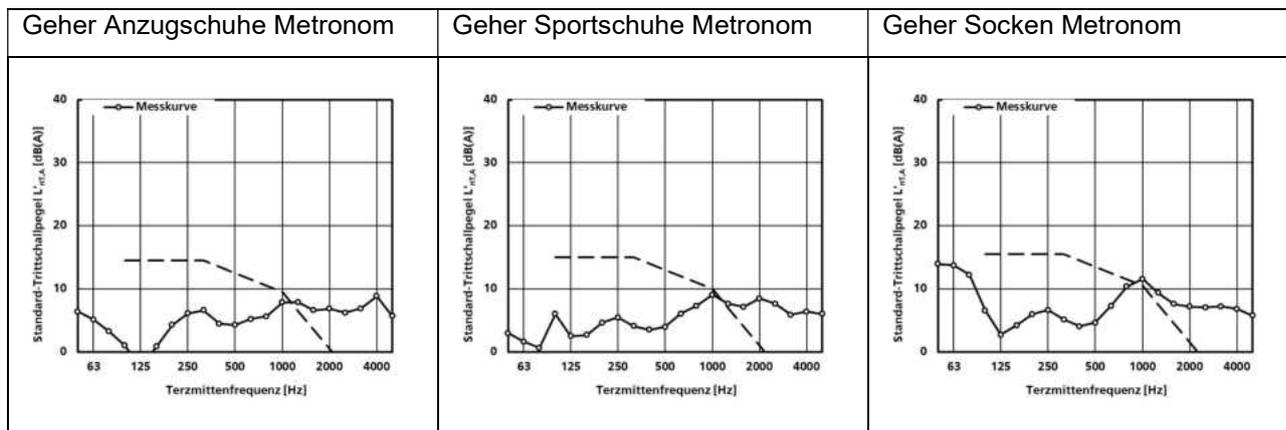
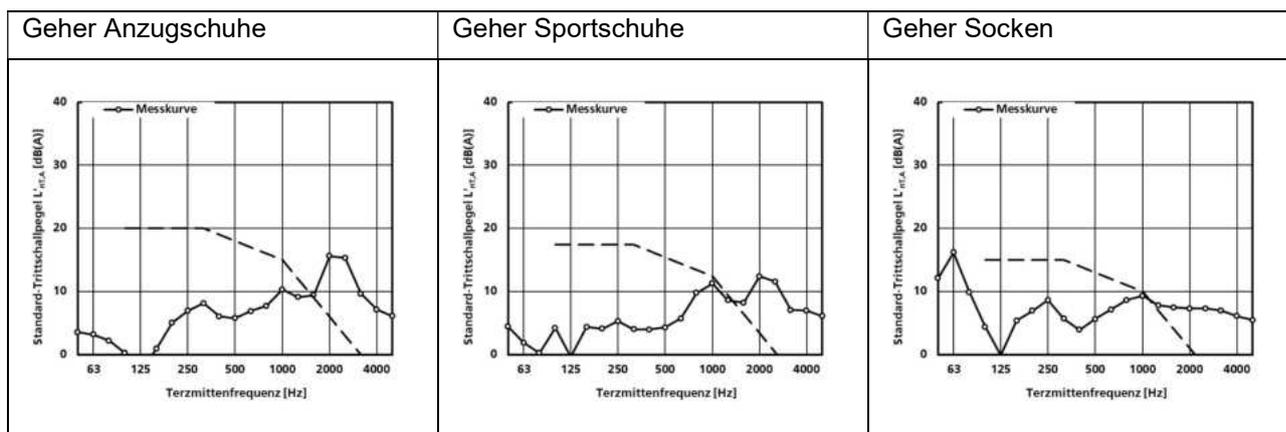


Haus 12, Raum 1:

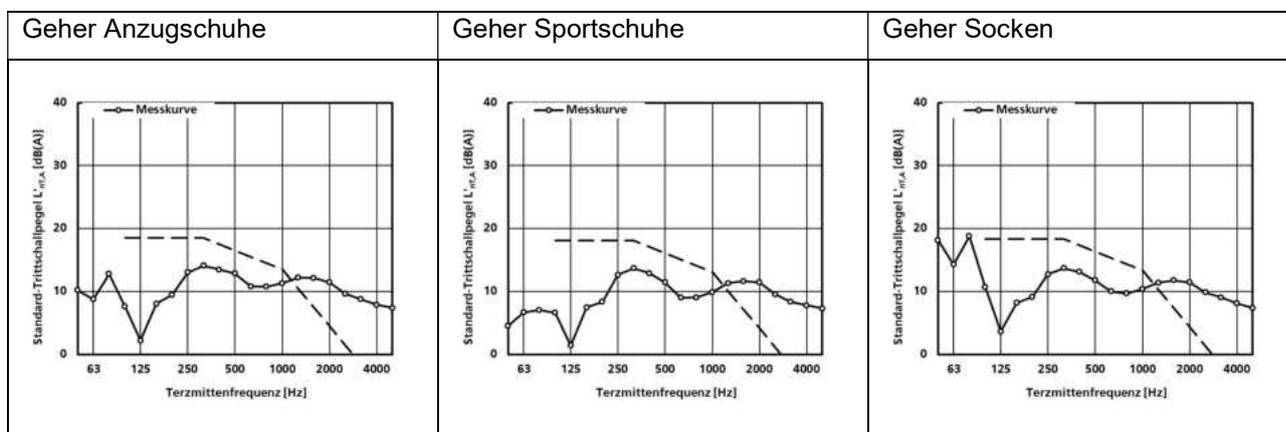


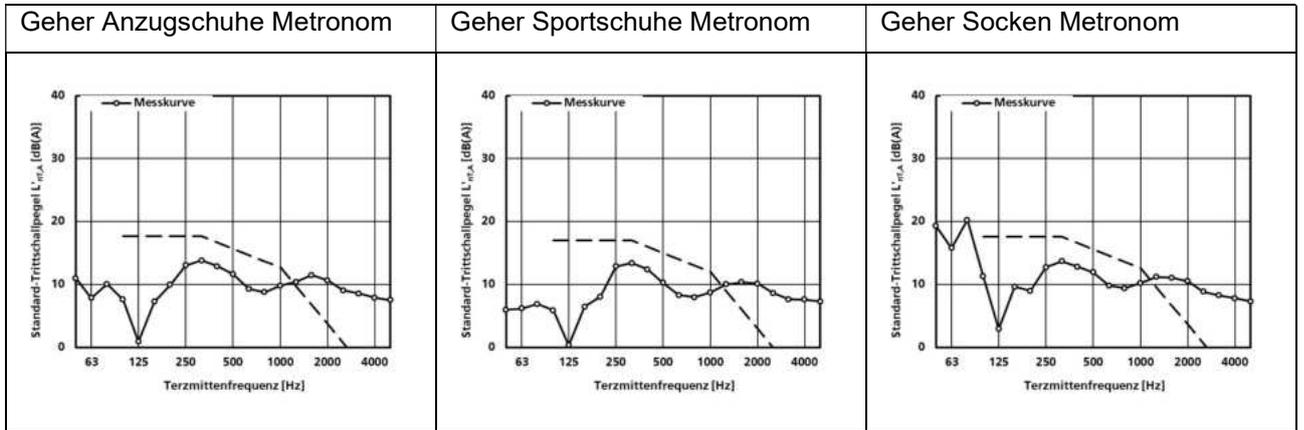


Haus 12, Raum 2:

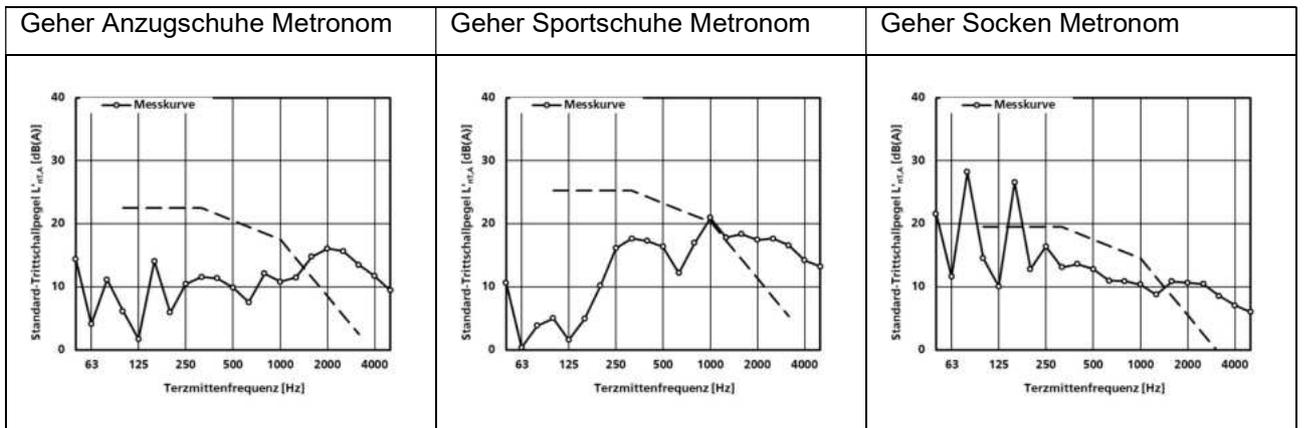


Haus 13, Raum 1:

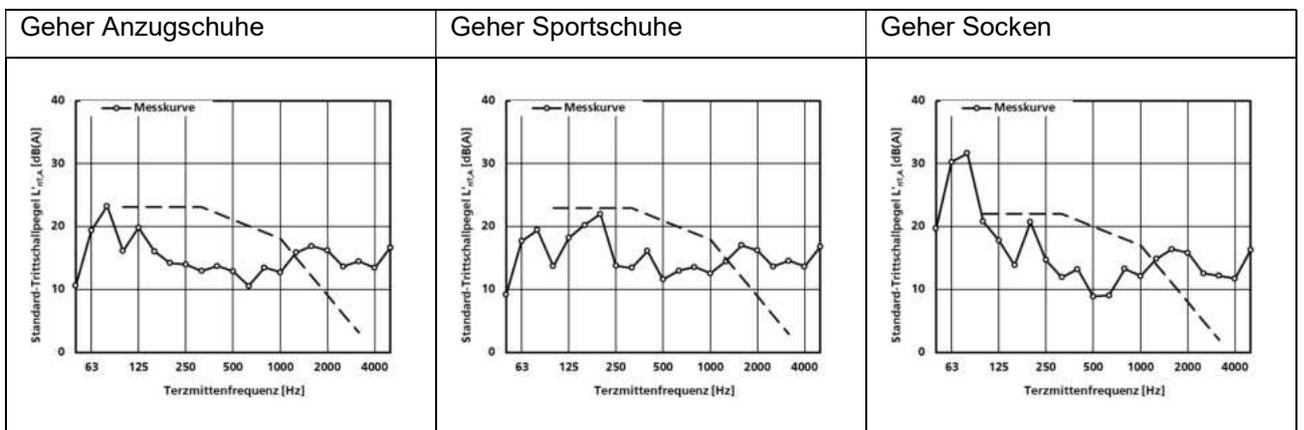


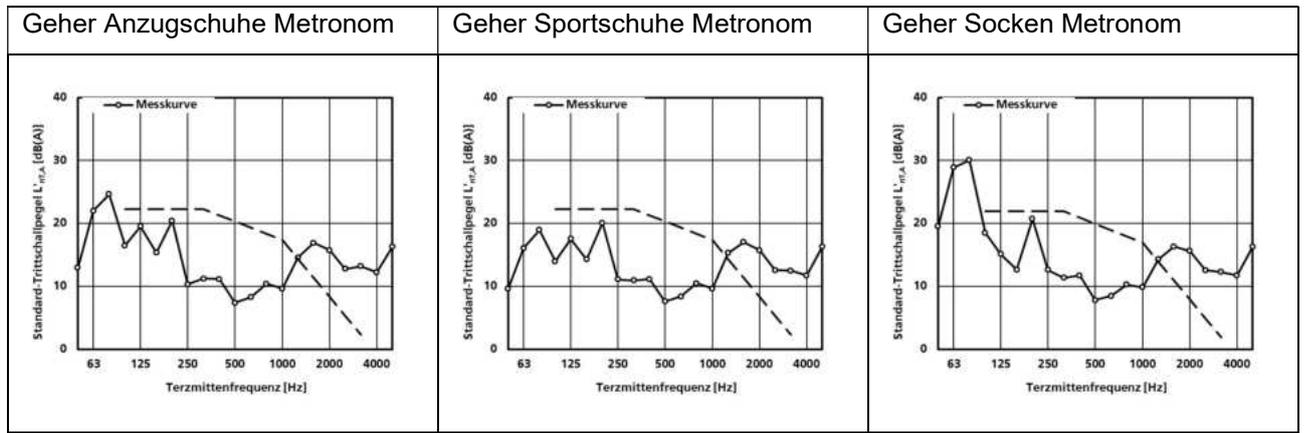


Haus 13, Raum 2:

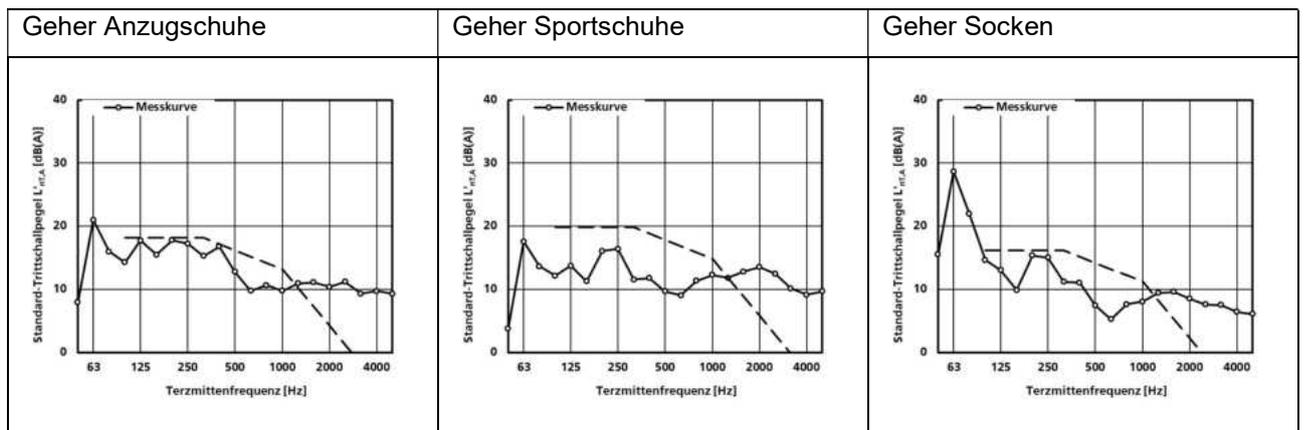


Haus 14, Raum 1:

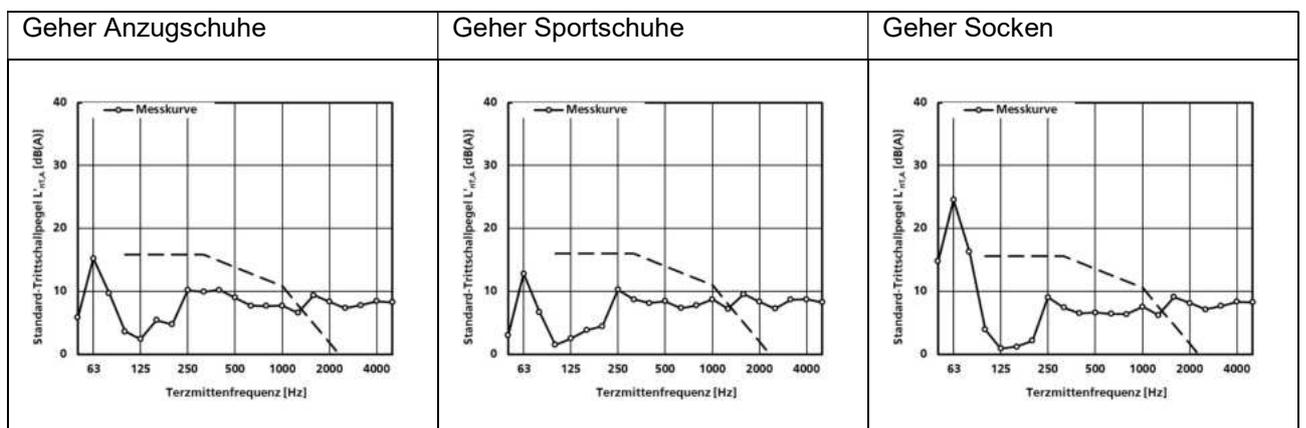


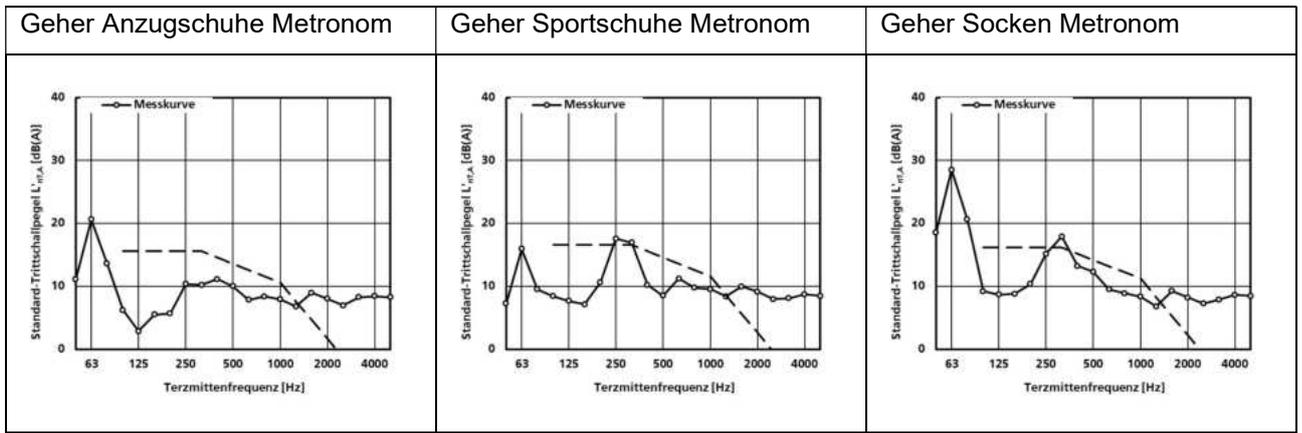


Haus 14, Raum 2:

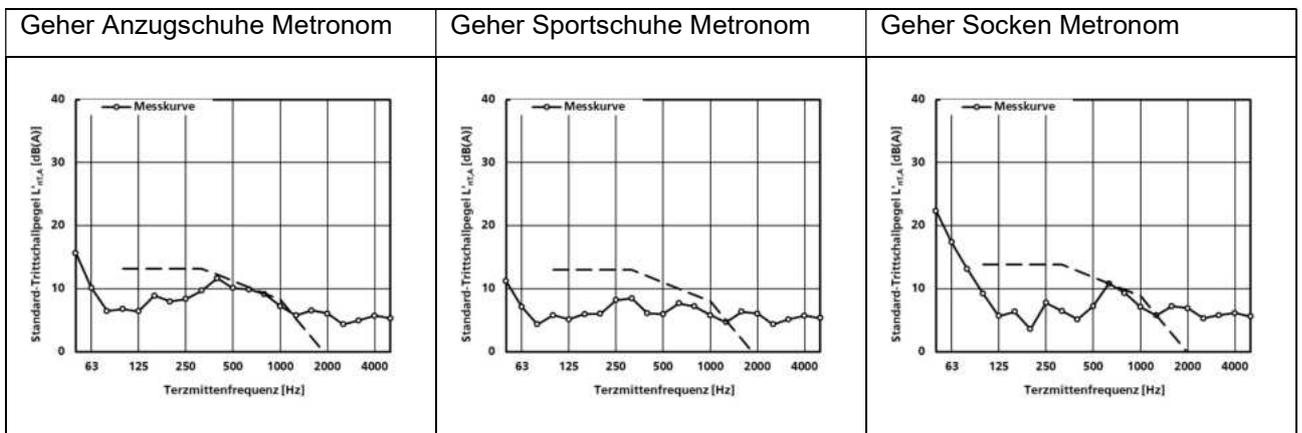


Haus 15, Raum 1:



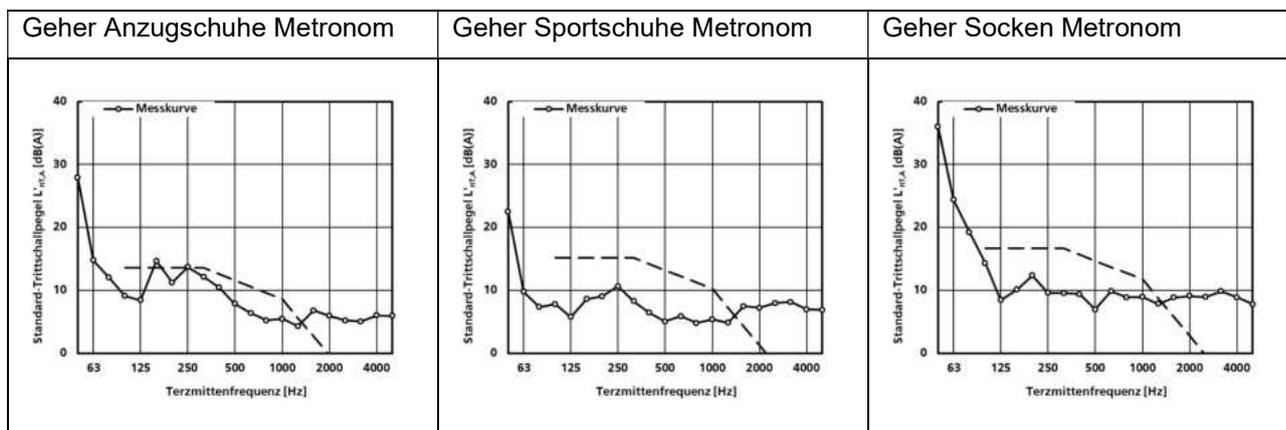


Haus 15, Raum 2:

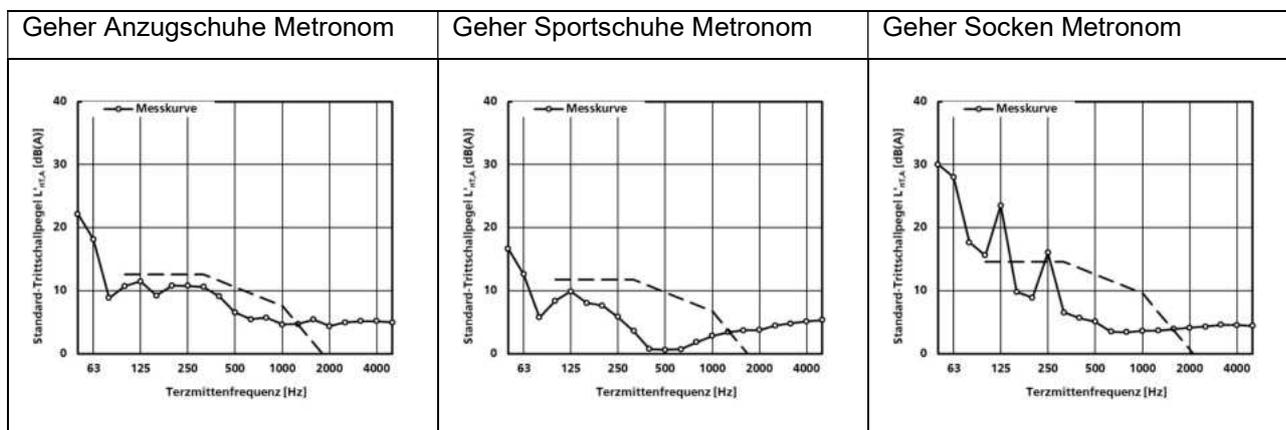
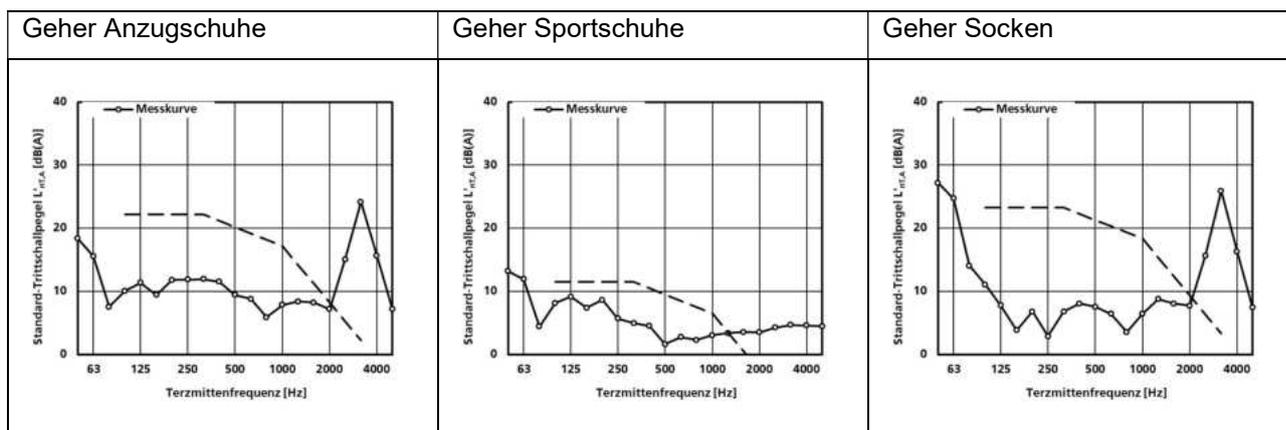


Haus 16, Raum 1:





Haus 16, Raum 2:



1.4. Entwicklung psychoakustischer Schallschutzklassen - AP04 (IBP)

1.4.1 Durchführung der Hörversuche

Die binauralen Aufnahmen des Normhammerwerkes, des japanischen Gummiballs und des Gehers in Socken für alle Decken wurden im Hörversuch verwendet um die subjektive Lästigkeit und Lautheit zu bestimmen. Die restlichen Geher Aufnahmen (Anzugsschuhe, Sportschuhe, Metronom) wurden nur für drei Decken verwendet, wobei die beiden Extremfälle (beste und schlechteste Decke), sowie eine Decke mit mittlerem Messwert gewählt wurde. Die Fokussierung auf den Geher in Socken ist damit begründet, dass dieser am ehesten Alltagsgeräusche im Wohnbereich repräsentiert. Die Hörversuche wurden vom 22.11.2021 bis 03.12.2021 durchgeführt und 52 Probanden getestet. Durch den Absturz des Versuchsprogramms bei manchen Probanden musste deren Datensatz jedoch von der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden. Insgesamt konnten für die statistische Auswertung 32 Probandendatensätze verwendet werden. Der Hörversuch erfolgte mit bis zu 4 Personen parallel. Die Probandenrekrutierung wurde über den Probandenpool des Fraunhofer-Institut für Bauphysik vorgenommen. Alle Personen waren mindestens 18 Jahre alt und es wurde außerdem eine gleichmäßige Geschlechterverteilung angestrebt.

Da die Geräusche z.T. hörschwellennah und damit sehr leise waren, wurden die Probanden unter kontrollierten akustischen Bedingungen im Fahrzeugprüfstand des Fraunhofer-Institut für Bauphysik getestet. Dieser Raum ist ein Halbfreifeldraum mit niedrigem Grundgeräuschpegel. Des Weiteren erlaubte die Raumgröße einen großen Abstand zwischen den Probanden (Einzelarbeitsplätzen mit > 3 m) sowie die verbaute Abgasabsaugung einen kompletten Raumluf austausch zwischen den Testungen. Damit wurde für die Probanden ein geringes Infektionsrisiko gewährleistet. Zur Corona-konformen Studiendurchführung wurde ein Hygienekonzept erarbeitet und mit dem Krisenstab des Fraunhofer-Institut für Bauphysik abgestimmt.

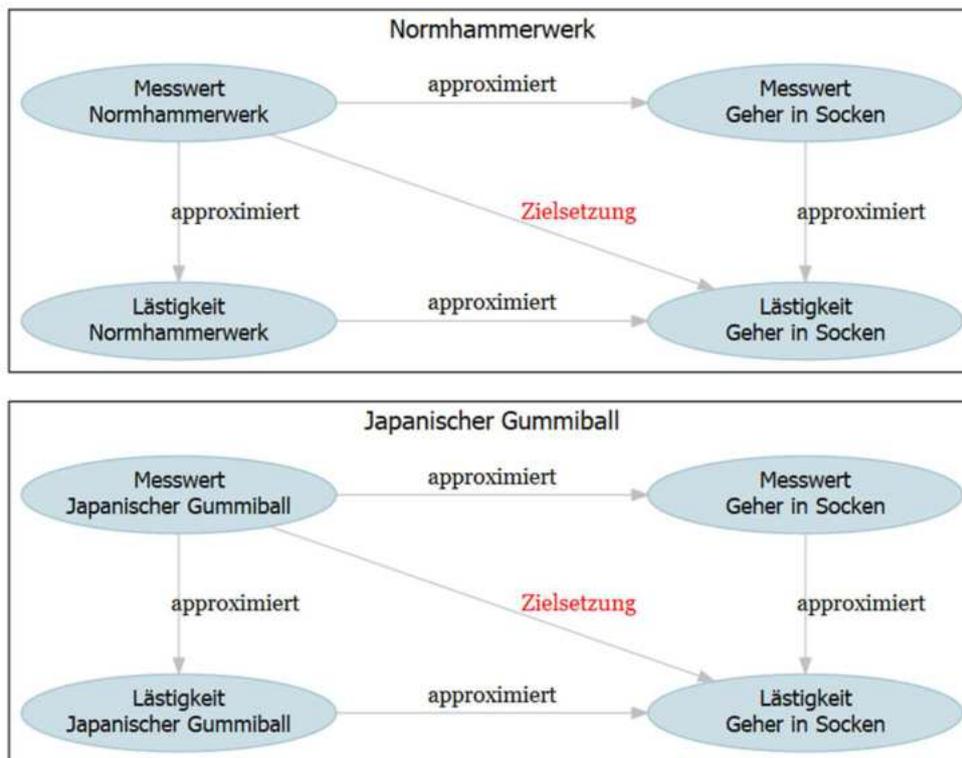
1.4.2 Auswertung des Hörversuches

Ziel des Hörversuches ist es zu evaluieren, ob sich subjektive Lästigkeitsbewertungen der Trittschallgeräusche mit den bauakustischen Messungen in Verbindung setzen lassen. Um mit der Hilfe der bauakustischen Messwerte (Normhammerwerk oder Japanischem Gummiball) Aussagen zur Lästigkeitsempfindung von Gehgeräuschen treffen zu können, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

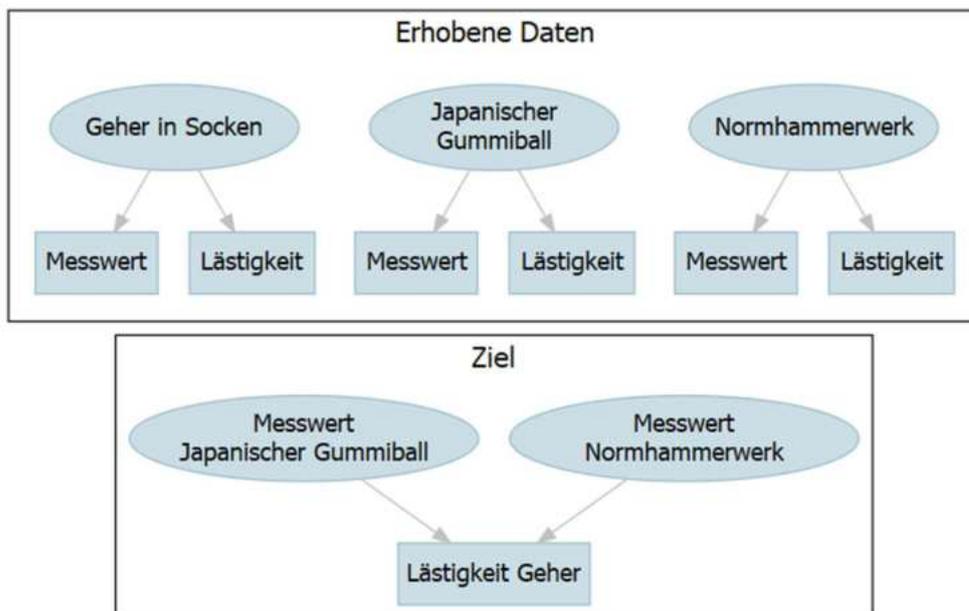
1) die subjektive Lästigkeit muss durch die bauakustischen Messwerte approximierbar sein. Dies bedeutet, es sollte einen hohen Zusammenhang zwischen dem bauakustischen Messwert einer Decke und der Lästigkeitsbewertung einer Decke für dieselbe Anregungsart geben.

2) Gehgeräusche müssen durch Normhammerwerk oder Japanischen Gummiball approximierbar sein. Dies bedeutet, dass es einen hohen Zusammenhang zwischen der durch ein Normhammerwerk oder einen Japanischen Gummiball ausgelösten Lästigkeit und der durch einen Geher ausgelösten Lästigkeit für die selbe Decke geben sollte.

Des Weiteren sollten die bauakustischen Messwerte derselben Decke für Normhammerwerk oder Japanischen Gummiball und Geher einen hohen Zusammenhang aufweisen. Die beiden Bedingungen sind graphisch in folgenden Abbildungen dargestellt.



In oberen Teil der untenstehenden Grafik ist zu sehen, welche Daten im Hörversuch und den vorherigen bauakustischen Messungen erhoben wurden. Im unteren Teil der Grafik ist nochmals die Zielsetzung des Hörversuches dargestellt.



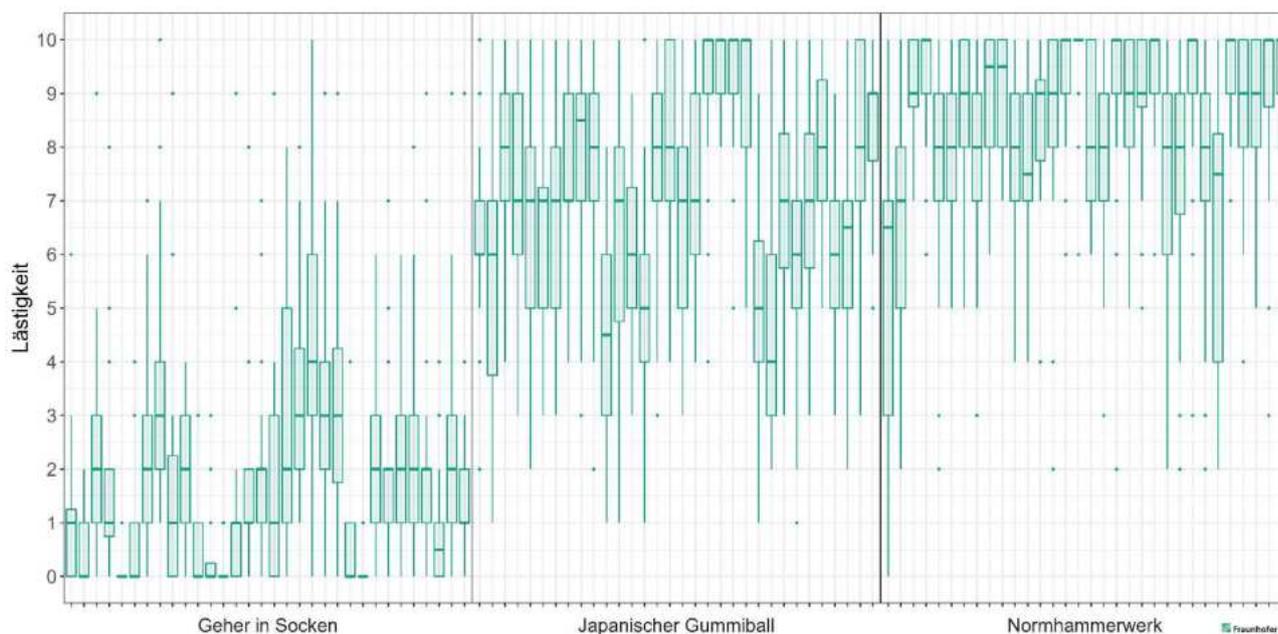
1.4.2.1 Probandenstichprobe

Soziodemografische Daten	N = 32
Alter	
Mittelwert (SD)	25.42 (5.97)
Spanne	19.00, 51.00
Geschlecht	
männlich	17 (55%)
weiblich	14 (45%)
Hörfähigkeit	
leicht eingeschränkte Hörfähigkeit	1 (3.2%)
normale Hörfähigkeit	30 (97%)

Tabelle 3: In der Tabelle ist die Probandenstichprobe des Hörversuches beschrieben.

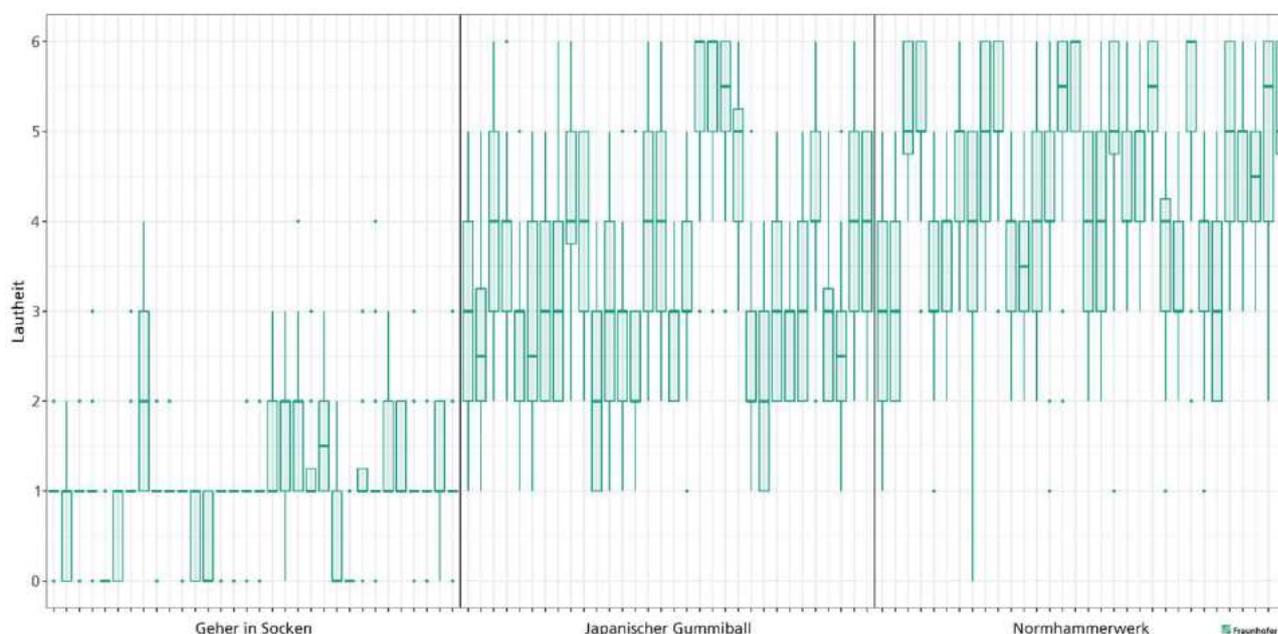
1.4.2.2 Normalverteilung und Ausreißer

Die Daten wurden zunächst auf Ausreißer und Normalverteilung geprüft. Wie in Grafik 4 zu sehen ist, zeigte sich für alle drei Anregungsarten eine große Streuung für die subjektive Lästigkeitsbeurteilung. Die Daten sind nicht normalverteilt. Zudem zeigt sich für den Geher in Socken ein Boden-, für das Normhammerwerk dagegen ein Decken-Effekt.



Grafik 4: Darstellung der Hörversuchsergebnisse für die Lästigkeit in Form von Boxplots. Diese Grafik soll eine erste Übersicht über die Datenverteilung geben und wurde genutzt, um die Verteilung der Daten sowie die Anzahl der Ausreißer zu inspizieren.

In Grafik 5 ist zu sehen, dass sich für die subjektive Lautheit ein ähnliches Bild wie für die subjektive Lästigkeit ergibt. Die Daten zeigen eine große Streuung, sind größtenteils nicht normalverteilt und zeigen für den Geher in Socken einen Bodeneffekt. Der Deckeneffekt für das Normhammerwerk ist für die subjektive Lautheit nicht ganz so eindeutig wie für die Lästigkeit.

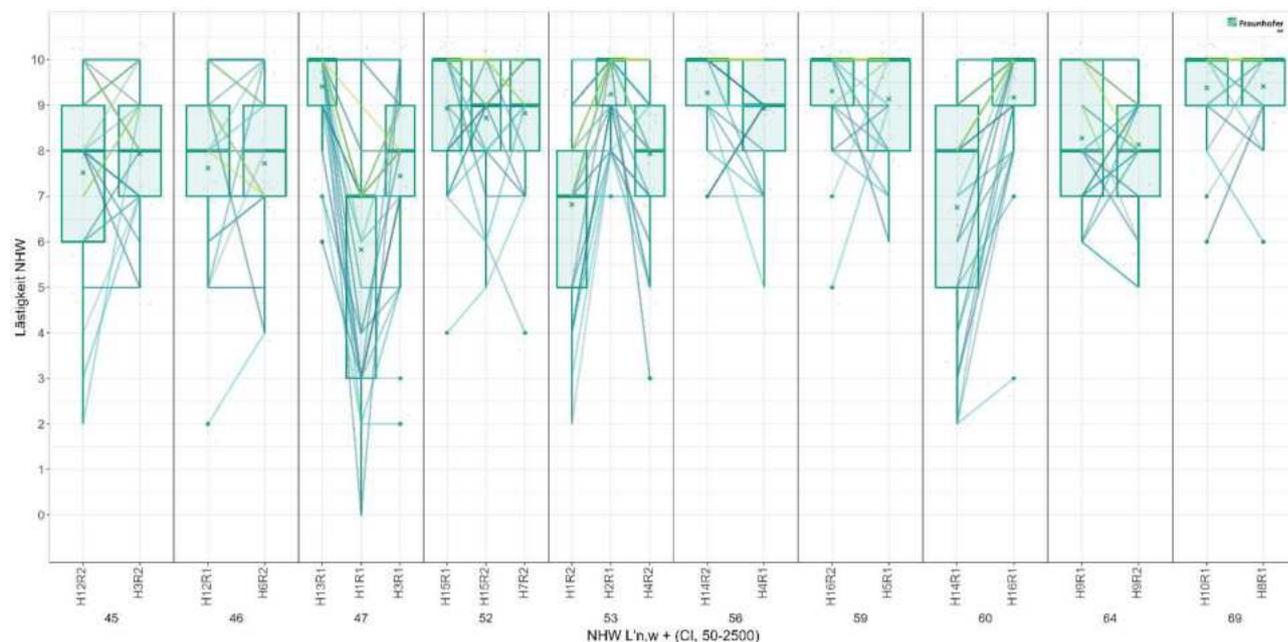


Grafik 5: Darstellung der Hörversuchsergebnisse für die Lästigkeit in Form von Boxplots. Diese Grafik soll eine erste Übersicht über die Datenverteilung geben und wurde genutzt, um die Verteilung der Daten sowie die Anzahl der Ausreißer zu inspizieren.

1.4.2.3 Test ob sich Lästigkeit mit Hilfe des bauakustischen Kennwerts approximieren lässt (Überprüfung Bedingung 1)

Es wurde geprüft, ob die Lästigkeit einer Anregungsart, mit dem Messwert der jeweiligen Anregungsart approximiert werden kann. Dies ist eine nötige Vorbedingung, um mit Hilfe der Messwerte Aussagen über die spätere Belästigung der Bewohnenden zu machen. Es wurde zunächst geprüft, ob Decken mit gleichem Messwert auch ähnlich lästig bewertet werden. Zudem wurden Messwiederholungskorrelationen berechnet, um zu überprüfen, wie hoch der Zusammenhang zwischen Messwert und Lästigkeit ist.

Für das Normhammerwerk zeigte sich, dass es für einen Großteil der Decken mit demselben bauakustischen Messwert einen signifikanten Unterschied in der Bewertung der subjektiven Lästigkeit gab. Die Ergebnisse dieses Vergleiches sind in Grafik 6 und Tabelle 4 dargestellt. Die Linien in der Grafik zeigen wie sich die Lästigkeitsbewertungen für die selbe Versuchsperson verändert haben. Die Vergleiche in der Tabelle werden ab einem p-Wert von unter 0.05 als signifikant unterschiedlich angesehen. Für die statistischen Vergleiche wurden paarvergleiche mit Hilfe eines Wilcoxon Rangsummen Tests gerechnet. Dieser Test wurde auf Grund der nicht-Normalverteilung der Daten gewählt.



Grafik 6: In dieser Grafik sind die Vergleiche der Lästigkeit der Decken dargestellt, für die sich derselbe $L'_{n,w} + (CI_{1,50-2500})$ ergab. Dabei ist die Lästigkeit für jede Decke in Form eines Boxplots dargestellt. Auf den Boxplots ist zusätzlich der Mittelwert in Form eines Punktes markiert. Die Linien stellen die Veränderung der Lästigkeitsbewertung zwischen den Decken für individuelle Versuchspersonen dar. Die Decken sind nach Haus (H) und Raum (R) nummeriert.

NHW L'n,w + (CI,50-2500)	Messung 1	Messung2	n1	n2	W	p
45.00	H12R2	H3R2	24	24	66.00	0.63 ns
46.00	H12R1	H6R2	24	24	64.00	0.84 ns
47.00	H13R1	H1R1	24	24	231.00	0.00 ***
47.00	H13R1	H3R1	24	24	206.50	0.00 ***
47.00	H1R1	H3R1	24	24	6.00	0.00 ***
52.00	H15R1	H15R2	24	24	60.50	0.67 ns
52.00	H15R1	H7R2	24	24	32.50	0.67 ns
52.00	H15R2	H7R2	24	24	39.00	0.67 ns
53.00	H1R2	H2R1	24	24	0.00	0.00 ***
53.00	H1R2	H4R2	24	24	51.50	0.01 *
53.00	H2R1	H4R2	24	24	136.00	0.00 ***
56.00	H14R2	H4R1	24	24	28.00	0.02 *
59.00	H16R2	H5R1	24	24	33.00	0.23 ns
60.00	H14R1	H16R1	24	24	0.00	0.00 ****
64.00	H9R1	H9R2	24	24	111.50	0.25 ns
69.00	H10R1	H8R1	24	24	11.00	0.35 ns

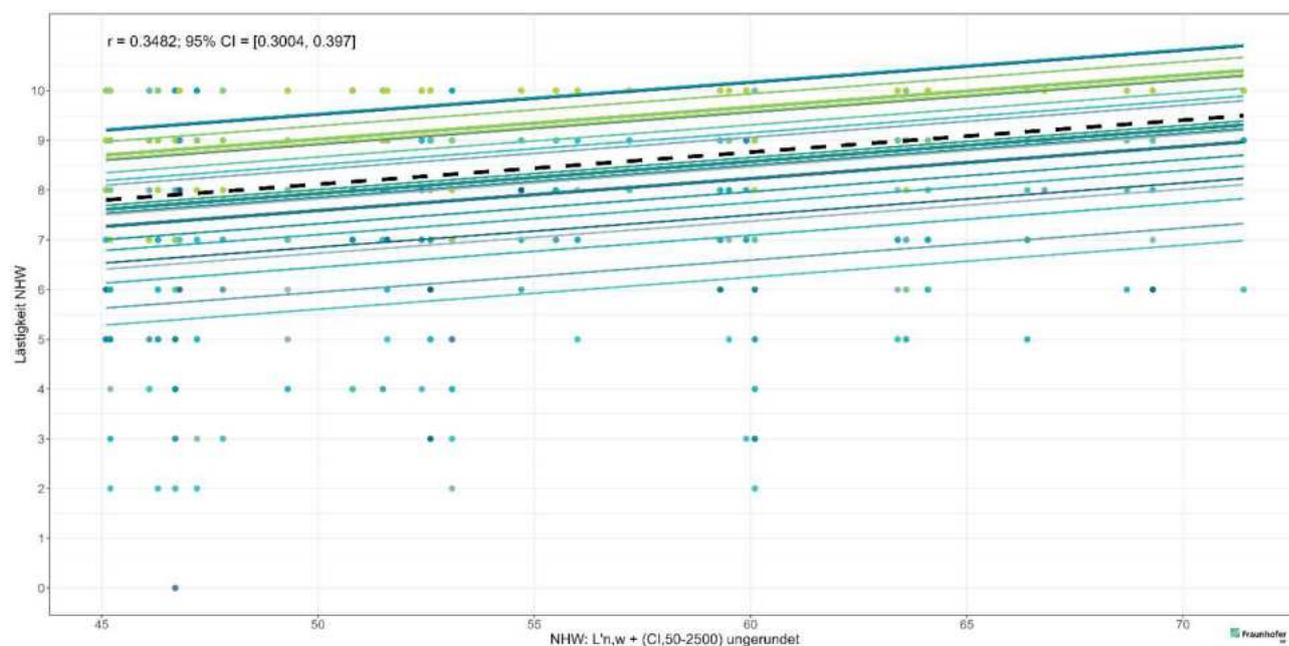
Tabelle 4: In dieser Tabelle sind die Ergebnisse der paar Vergleiche der Decken dargestellt, für die sich derselbe $L'_{n,w} + (CI_{1,50-2500})$ ergab. Die Vergleiche in der Tabelle werden ab einem p-Wert von unter 0.05 als signifikant unterschiedlich angesehen. Für die statistischen Vergleiche wurden Wilcoxon Rangsummen Tests gerechnet. Dieser Test wurde auf Grund der nicht-Normalverteilung der Daten gewählt. Die Decken sind nach Haus (H) und Raum (R) nummeriert.

Geher dB(A)	Messung 1	Messung2	n1	n2	W	p	
22.00	H12R2	H15R1	21	21	0.00	0.00	***
22.20	H15R2	H7R1	21	21	55.00	0.00	**
23.30	H2R1	H7R2	21	21	120.00	0.00	***
27.50	H16R1	H1R2	21	21	204.00	0.00	***

Tabelle 5: In dieser Tabelle sind die Ergebnisse der paar Vergleiche der Decken dargestellt, für die sich derselbe $L'_{nT,A}$ ergab. Die Vergleiche in der Tabelle werden ab einem p-Wert von unter 0.05 als signifikant unterschiedlich angesehen. Für die statistischen Vergleiche wurden Wilcoxon Rangsummen Tests gerechnet. Dieser Test wurde auf Grund der nicht-Normalverteilung der Daten gewählt. Die Decken sind nach Haus (H) und Raum (R) nummeriert.

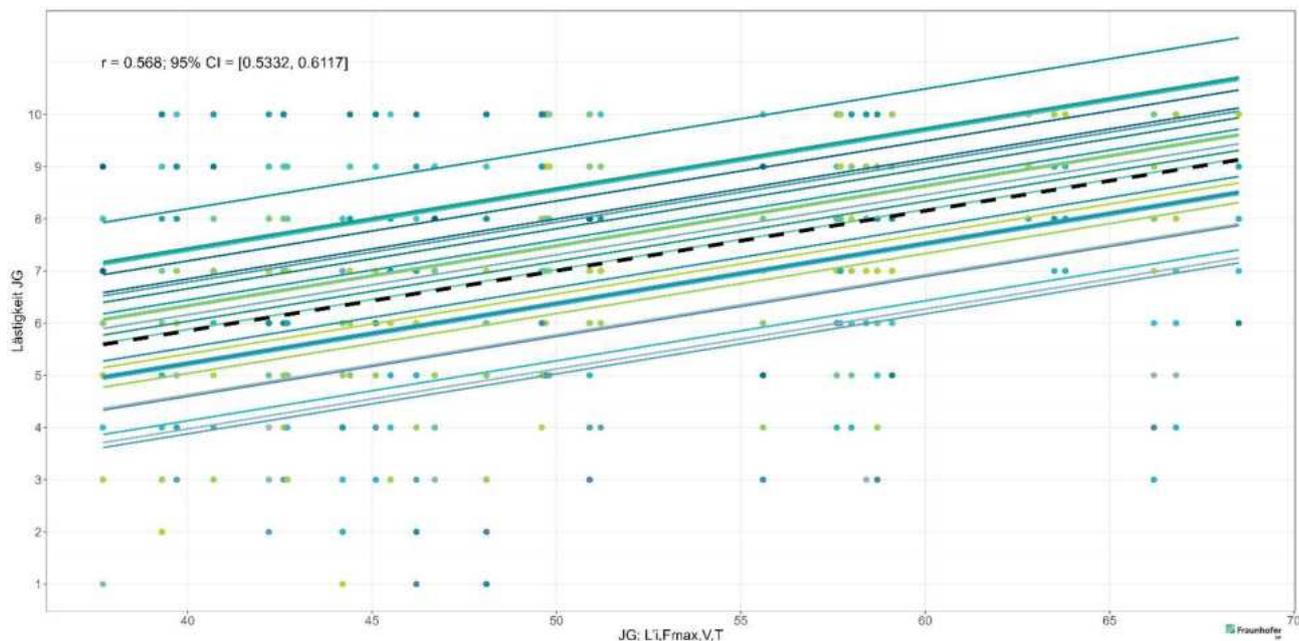
Der Hörversuch wurde als Messwiederholungsdesign durchgeführt. Das bedeutet, jede Versuchsperson beurteilte jedes im Hörversuch dargebotene Geräusch. Korrelationen werden daher nach dem Modell von Bakdash und Marusich (2017) als Messwiederholungskorrelationen berechnet. Der Vorteil dieses Verfahrens ist eine Erhöhung der statistischen Power.

Für das Normhammerwerk ergab sich eine Korrelation von 0.3482 zwischen dem Messwert $L'_{n,w} + (C_{l, 50-2500})$ und der subjektiven Lästigkeit. Damit liegt die Korrelation im unteren mittleren Bereich. Grafik 9 zeigt das Ergebnis. Es gibt große individuelle Unterschiede.



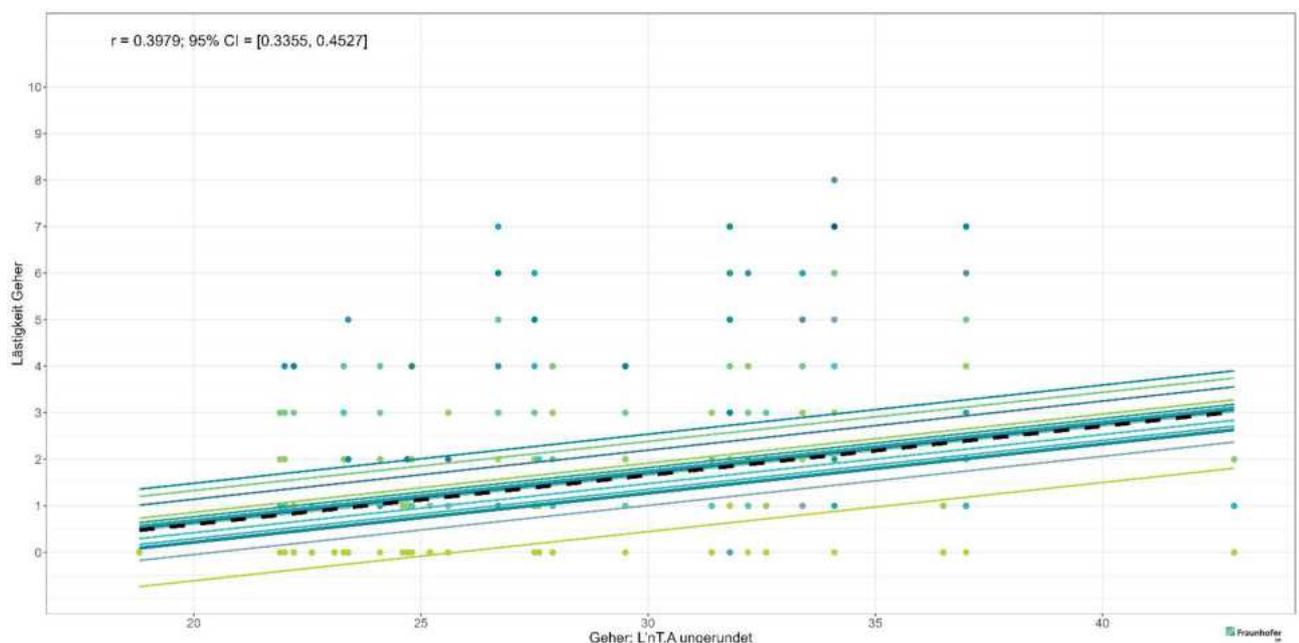
Grafik 9: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen $L'_{n,w} + (C_{l, 50-2500})$ und der subjektiven Lästigkeit dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.

Für den japanischen Gummiball ergab sich eine Korrelation von 0.568 zwischen dem Messwert $L'_{i,Fmax,V,T}$ und der subjektiven Lästigkeit. Damit liegt die Korrelation im mittleren Bereich. Grafik 10 zeigt das Ergebnis. Es gibt große individuelle Unterschiede.



Grafik 10: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen $L'_{i,Fmax,V,T}$ und der subjektiven Lästigkeit dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.

Für den Geher in Socken ergab sich eine Korrelation von 0.3979 zwischen dem Messwert $L'_{nT,A}$ und der subjektiven Lästigkeit. Damit liegt die Korrelation im unteren mittleren Bereich. Grafik 11 zeigt das Ergebnis. Es gibt große individuelle Unterschiede.



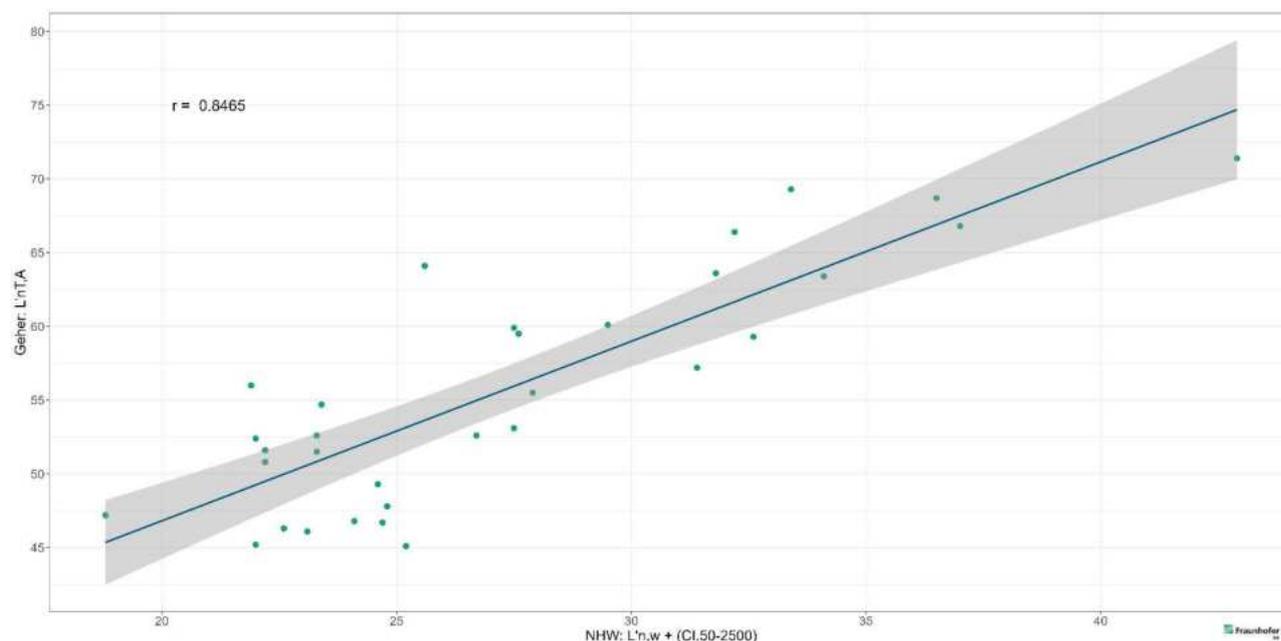
Grafik 11: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen $L'_{nT,A}$ und der subjektiven Lästigkeit dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.

1.4.2.4 Test ob sich die durch den Geher mit Socken erzeugte Geräusch bzw. die erzeugte Lästigkeit durch das Normhammerwerk oder den japanischen Gummiball approximieren lässt (Überprüfung Bedingung 2)

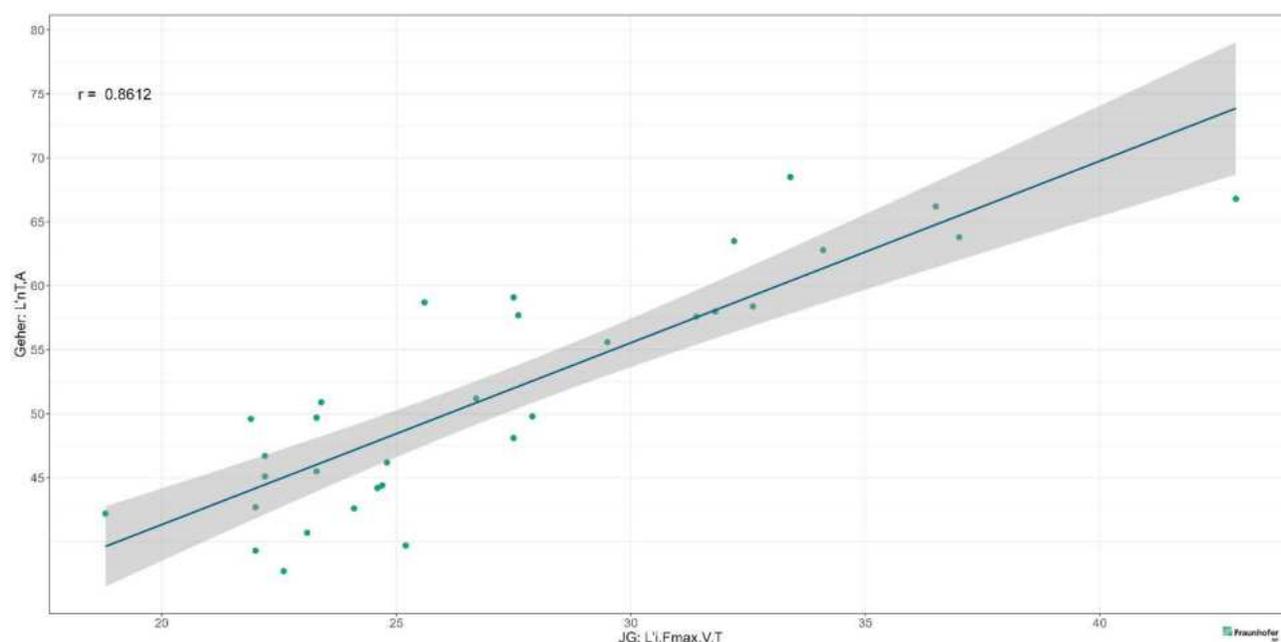
Im zweiten Schritt der Auswertung wurde geprüft, ob die Belästigung durch einen Geher mit Socken durch die Standardschallquellen approximiert werden kann. Hierzu wurde zum einen geprüft, wie hoch die Korrelation zwischen den Messwerten von Normhammerwerk bzw. japanischem Gummiball und dem Geher in Socken ist, zum anderen wurde geprüft, wie hoch die durch den Geher in Socken erzeugte subjektive Lästigkeit mit der durch das Normhammerwerk bzw. den japanischen Gummiball erzeugten Lästigkeit korreliert.

Korrelation der Messwerte

Für die nach DIN EN ISO 16283-2:2020 berechneten Messwerte der Standard Schallquellen und dem für den Geher in Socken berechneten $L'_{nT,A}$ wurden Korrelationen im hohen Bereich festgestellt. Der Korrelationskoeffizient für den $L'_{n,w} + (C_{1,50-2500})$ des Normhammerwerks und den $L'_{nT,A}$ des Gehers in Socken betrug 0.8465. Der Korrelationskoeffizient für den $L'_{i,Fmax,V,T}$ des japanischen Gummiballs und den $L'_{nT,A}$ des Gehers in Socken betrug 0.8612. Die Ergebnisse sind grafisch in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



Grafik 12: Diese Grafik zeigt die Korrelation zwischen $L'_{n,w} + (C_{1,50-2500})$ und $L'_{nT,A}$. Der Korrelationskoeffizient ist oben links in der Grafik angegeben. Die blaue Linie stellt die Korrelationslinie dar und die graue Fläche ihr 95% Konfidenzintervall.

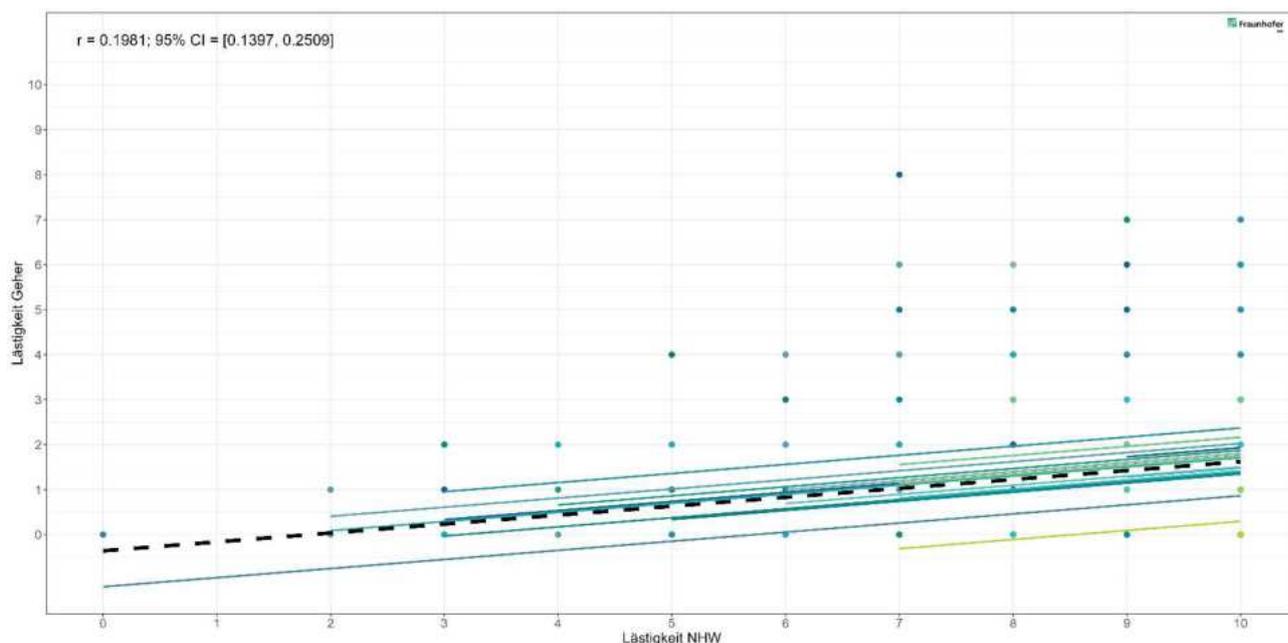


Grafik 13: Diese Grafik zeigt die Korrelation zwischen $L'_{i,Fmax,V,T}$ und $L'_{nT,A}$. Der Korrelationskoeffizient ist oben links in der Grafik angegeben. Die blaue Linie stellt die Korrelationslinie dar und die graue Fläche ihr 95% Konfidenzintervall.

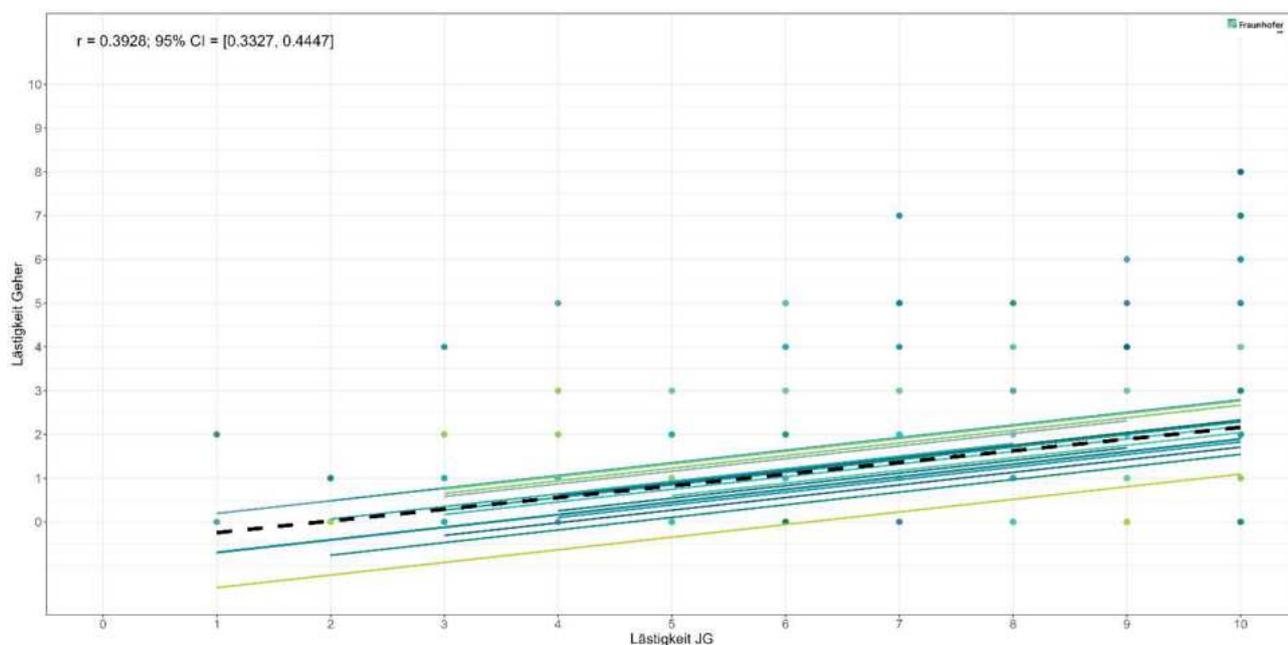
Korrelation der Lästigkeit

Für die Berechnung der Korrelationen der durch die Standard Schallquellen erzeugte Lästigkeit und der durch den Geher in Socken erzeugte Lästigkeit wurde erneut eine Messwiederholungskorrelation verwendet. Dabei zeigte sich für die Korrelation der durch den Geher in Socken erzeugten subjektiven Lästigkeit und der durch das Normhammerwerk erzeugten subjektiven Lästigkeit mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.1981 ein geringer Zusammenhang. Auch für die durch den Geher in Socken erzeugten subjektiven Lästigkeit und der durch den japanischen Gummiball erzeugten subjektiven Lästigkeit zeigte sich mit einem

Korrelationskoeffizienten von 0.3928 nur ein Zusammenhang im unteren mittleren Bereich. Grafik 14 und 15 zeigen die Ergebnisse grafisch.



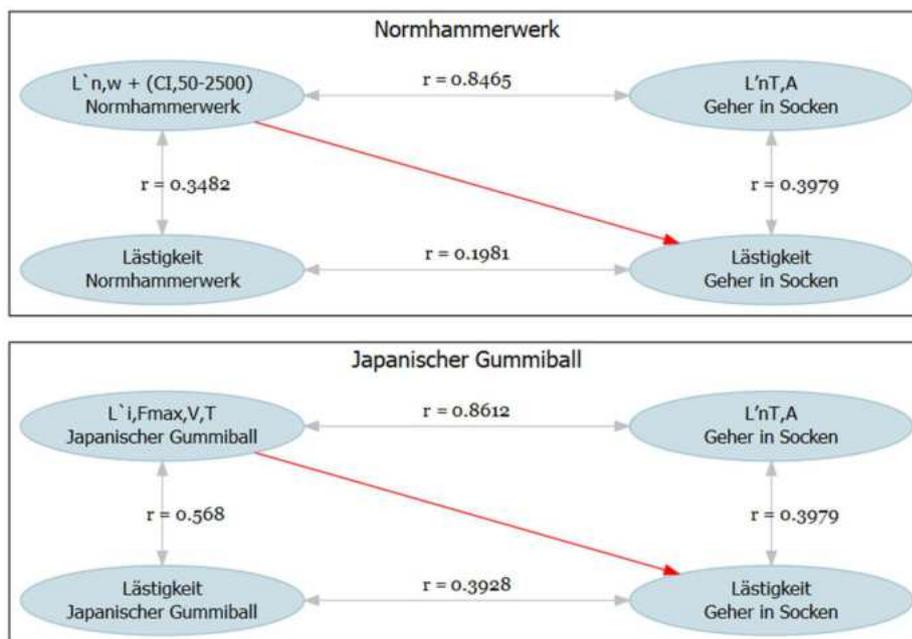
Grafik 14: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen der subjektiven Lästigkeit für das NHW und der subjektiven Lästigkeit für den Geher in Socken für dieselbe Decke dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.



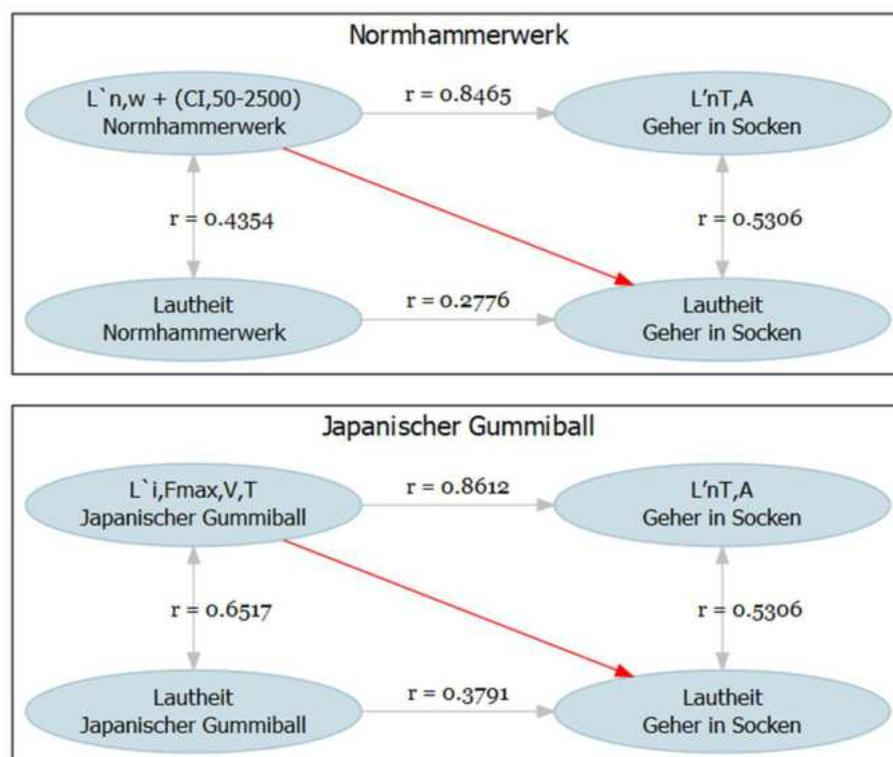
Grafik 15: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen der subjektiven Lästigkeit für den JG und der subjektiven Lästigkeit für den Geher in Socken für dieselbe Decke dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.

1.4.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der ersten Auswertung des Hörversuches

Wie in der untenstehenden Grafik zu sehen ist, zeigen die ersten Ergebnisse, dass die Voraussetzung für eine Schätzung der durch einen Geher in Socken erzeugten Lästigkeit durch den bauakustischen Messwert einer Standardschallquelle nicht erfüllt sind. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass zum einen die gemessenen bauakustischen Messwerte die empfundene Lästigkeit der jeweiligen Schallquelle nicht ausreichend gut approximieren, zum anderen zeigen die vorhandenen Ergebnisse nur einen geringen Zusammenhang zwischen der empfundenen Lästigkeit, die durch die Standardschallquellen ausgelöst wird, und der Lästigkeit, die durch den Geher in Socken ausgelöst wird.



Um zu überprüfen, ob ein anderer psychoakustischer Wert, die subjektive Lautheit, zu einem besseren Ergebnis führt, wurde die oben dargestellte Analyse auch für die subjektive Lautheit berechnet. Die folgende Grafik zeigt die zusammengefassten Ergebnisse:



Wie zu sehen ist, ist der Zusammenhang zwischen den bauakustischen Messwerten und der subjektiv empfundenen Lautheit höher im Vergleich zum Zusammenhang mit der Lästigkeit. Allerdings bleibt weiter das Problem bestehen, dass es bei dem vorliegenden Datensatz zwischen der subjektiven Lautheit der Standard Schallquellen und der subjektiven Lautheit des Gehers in Socken nur eine geringe bis mittlere Passung gibt.

1.4.3 Weitere Auswertungsverfahren

Es kamen folgende zwei Lösungsansätze zur Anwendung:

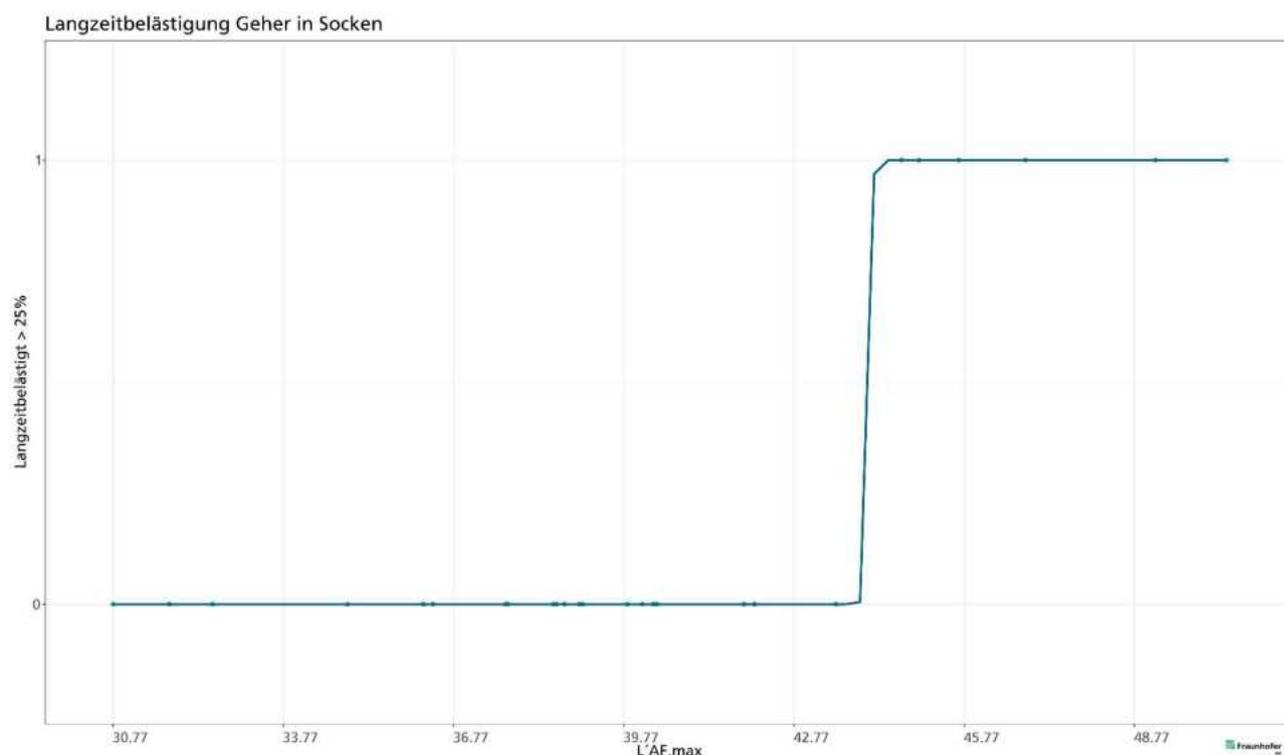
- 1) Durchführung einiger zusätzlicher Betrachtungen mit anderen bauakustischen Messwerten sowie Versuche zur Erweiterung bzw. Prüfung der Ergebnisse mit Datensätzen von AcuWood und des NRC. Dabei wurde beispielsweise die Passung des $L_{AF,max,n}$ der Schallquellen mit deren subjektiven Langzeitbelästigung

getestet. Anschließend wurde geprüft, ob der $L_{AF,max,n}$ des Gehers über die Normmesswerte des Normhammerwerks oder des japanischen Gummiballs geschätzt werden können.

- 2) Einen neuen Messwert erarbeiten, der einen besseren Zusammenhang mit der subjektiven Lästigkeit aufweist. Mit Hilfe eines solchen Messwertes könnte ein psychoakustisches Klassifikationssystem für die Standard Schallquellen erstellt werden. Nachteil dieses Ansatzes ist, dass eine Vorhersage der Lästigkeit eines Gehers über die Standard Schallquellen ebenfalls nicht möglich ist, da die Erarbeitung eines neuen Messwertes den niedrigen Korrelationskoeffizienten zwischen den Lästigkeitsbewertungen nicht beeinflusst. Allerdings bestünde eventuell die Möglichkeit über den Messwert der Standard Schallquelle den Messwert des Gehers in Socken vorherzusagen. Wenn der Messwert des Gehers in Socken nun eine gute Passung mit der subjektiven Lästigkeitsbewertung des Gehers aufweist, könnten mit Hilfe des geschätzten Messwertes für den Geher die voraussichtliche Lästigkeit des Gehers geschätzt werden.

1.4.3.1 Prüfung des Lösungsansatzes mit $L_{AF,max,n}$

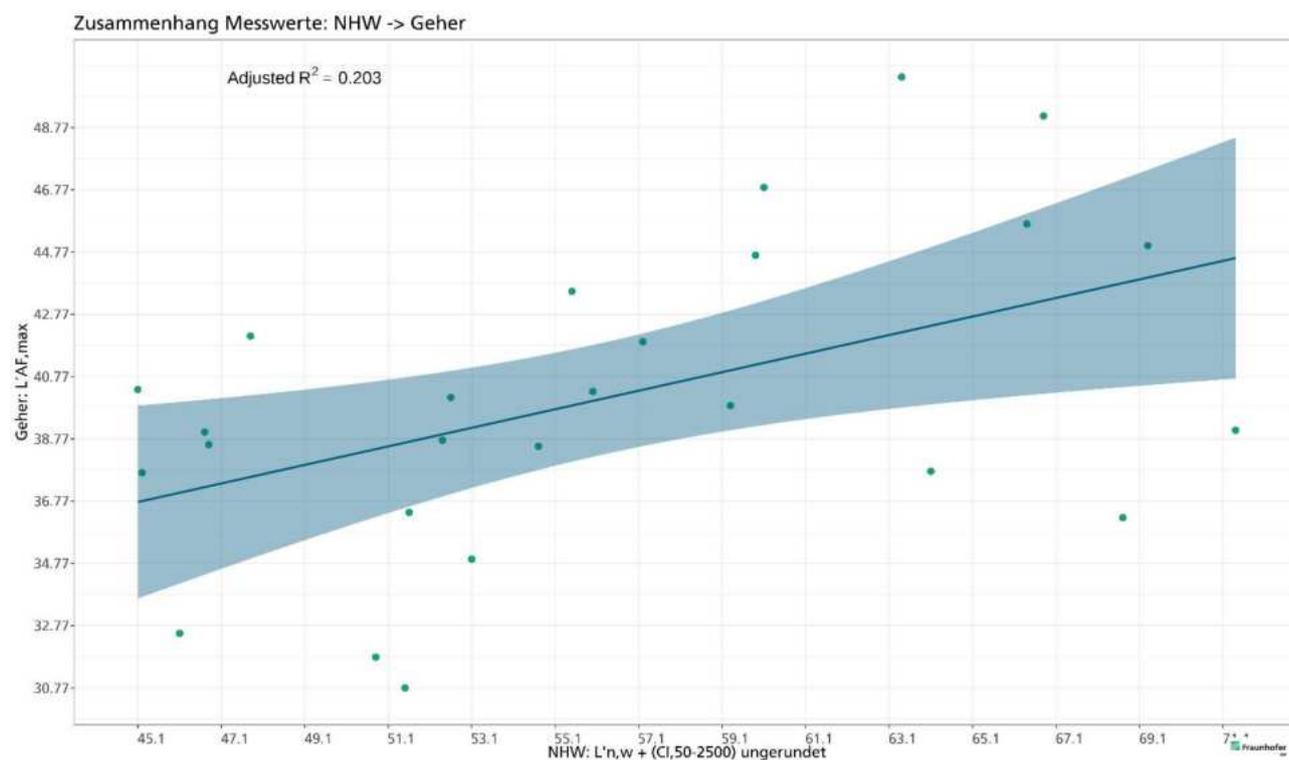
Im Hörversuch wurden von den Versuchspersonen auch die Langzeitbelästigung der Geräusche angegeben. Hierbei handelt es sich nur um die geschätzte Langzeitbelästigung, da die Versuchspersonen den Geräuschen nur eine kurze Zeit ausgesetzt waren. Um zu prüfen, ob diese geschätzte Langzeitbelästigung durch einen Geher über den $L_{AF,max,n}$ geschätzt werden kann, wurde eine logistische Regression berechnet. Hierzu wurde die Langzeitbelästigung in eine binäre Variable umgewandelt, wobei weniger als 25% langzeitbelästigte Versuchspersonen in einer Bedingung als Gruppe 0 und mehr als 25% langzeitbelästigte Versuchspersonen in einer Bedingung als Gruppe 1 gewertet wurde. Zudem wurden alle Bedingungen nochmals auf Störgeräusche geprüft, da diese einen großen Einfluss auf den $L_{AF,max,n}$ haben können, und für die Analyse nur Bedingungen verwendet, bei denen ein Einfluss von Störgeräuschen auf den $L_{AF,max,n}$ nicht ausgeschlossen werden konnte. Der Algorithmus konvergierte bei der Berechnung des logistischen Regressionsmodells nicht. Dies liegt möglicherweise daran, dass die Prädiktorvariable die Ergebnisvariable perfekt teilt: d.h. $L'_{AF,max}$ macht eine perfekte Trennung der zwei Gruppen möglich. Ein Likelihood Ratio Test zeigte, dass das Modell signifikant besser ist als das Baseline Modell (nur Interzept als Prädiktor). Die Höhe des McFadden's R^2 von 1 deutet ebenfalls auf eine hohe Modellqualität hin. Beachtet werden muss die geringe Anzahl Datenpunkte/Versuchspersonen – die Qualität des Modells ist höchstwahrscheinlich überschätzt und müsste noch mit mehr Daten nachgeprüft werden. Dennoch weisen die Daten darauf hin, dass nachfolgende Studien die Verwendbarkeit des $L'_{AF,max}$ für eine Schätzung der Langzeitbelästigung weiter prüfen sollten. Das berechnete Modell ist in Grafik 16 dargestellt:



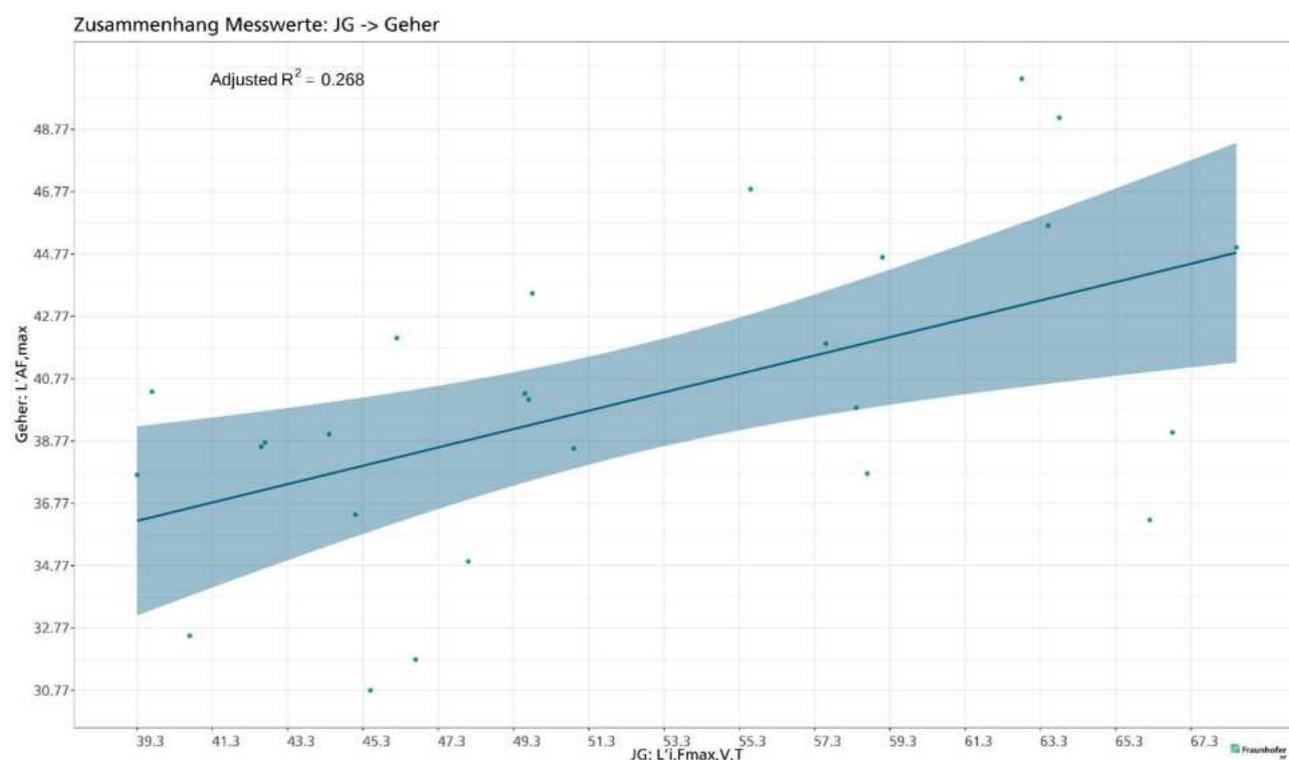
Grafik 16: Diese Grafik zeigt das Ergebnis der logistischen Regression zwischen $L_{AF,max,n}$ und den beiden Langzeitbelästigungsgruppen.

Im nächsten Schritt wurde nun geprüft, ob der $L'_{AF,max}$ des Gehers über die Normwerte des Normhammerwerks oder des japanischen Gummiballs vorhergesagt werden kann. Dazu wurden lineare Regressionsmodelle verwendet. Das Modell mit dem Messwert $L'_{n,w} + (C_{1, 50-2500})$ des Normhammerwerks als Prädiktor zeigte einen adjusted R^2 Wert von 0.203. Das Modell mit dem Messwert $L'_{i,Fmax,V,T}$ des japanischen Gummiballs zeigte einen adjusted R^2 Wert von 0.268. Dieses Ergebnis zeigt, dass der $L'_{AF,max}$ des Gehers mit den vorhandenen Daten

nicht über die Normwerte des Normhammerwerks oder des japanischen Gummiballs vorhergesagt werden kann. Die Regressionsmodelle sind in den folgenden Grafiken dargestellt. In den Grafen ist auch die große Streuung der Datenpunkte sichtbar. Viele der Datenpunkte liegen außerhalb des 95% Konfidenzintervalls der Regressionslinie.



Grafik 17: Diese Grafik zeigt die Regression zwischen $L'_{n,w} + (CI, 50-2500)$ für das NHW und $L'_{AF,max}$ für den Geher in Socken für dieselbe Decke. Das Bestimmtheitsmaß (adjusted R^2) ist oben links in der Grafik angegeben. Die blaue Linie stellt die Korrelationslinie zwischen den beiden Messwerten dar und die hellblaue Fläche ihr 95% Konfidenzintervall.

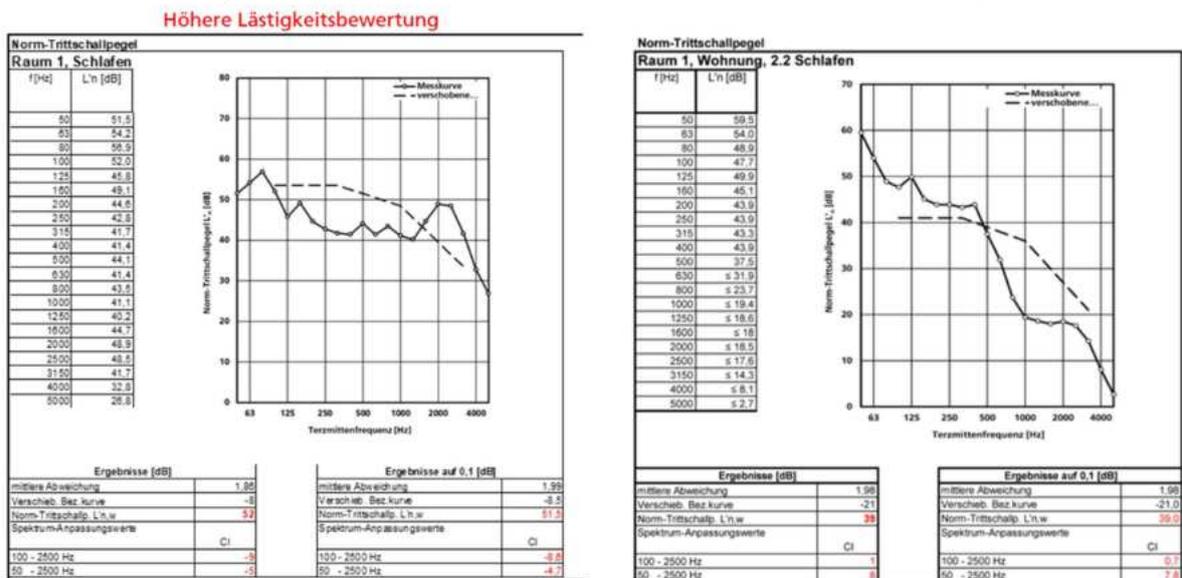


Grafik 18: Diese Grafik zeigt die Regression zwischen $L'_{i,Fmax,V,T}$ für das NHW und $L'_{AF,max}$ für den Geher in Socken für dieselbe Decke. Das Bestimmtheitsmaß (adjusted R^2) ist oben links in der Grafik angegeben. Die blaue Linie stellt die Korrelationslinie zwischen den beiden Messwerten dar und die hellblaue Fläche ihr 95% Konfidenzintervall.

1.4.3.2. Erstellung eines neuen Messwertes mit einer besseren Passung mit der subjektiven Lästigkeit

Wie weiter oben dargestellt, zeigte die erste Auswertung, dass Decken mit demselben Normmesswert für das Normhammerwerk signifikant unterschiedlich lästig beurteilt wurden. Eine erste Hypothese, war, dass Störgeräusche einen Einfluss auf das Ergebnis hatten. Daraufhin wurden alle Aufnahmen von drei unabhängigen Personen geprüft und Aufnahmen mit Störgeräuschen entfernt. Dabei wurde eine konservative Vorgehensweise verwendet, bei der auch geringste Störungen zu einem Ausschluss der Aufnahme führten. Es zeigte sich, dass sich die Ergebnisse nach Aussortierung der Aufnahmen mit Störgeräuschen nicht verbesserten. Daraufhin wurde überprüft, ob die Decken zwar denselben Messwert aber abweichende Frequenzspektren aufweisen. Es ist bekannt, dass Einzelmesswerte spektrale Unterschiede nur ungenau abbilden können. Eine erste visuelle Analyse zeigte, dass Decken mit demselben Messwert Unterschiede im Frequenzspektrum aufwiesen. In der folgenden Grafik ist ein Beispiel abgebildet:

Identischer $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 47$ dB bei unterschiedlicher Lästigkeitsbewertung

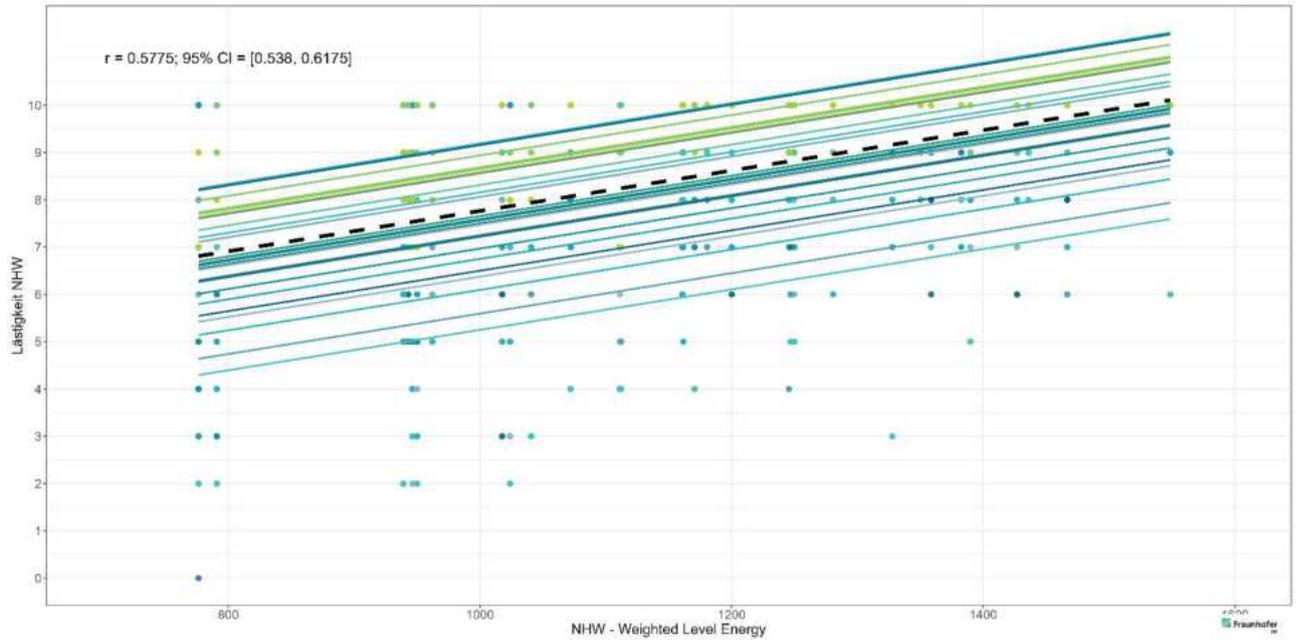


Weitere visuelle Analysen der Spektren zeigte, dass die Belästigung zusammen mit dem Norm-Trittschallpegel ab 1000 Hz ansteigt. Je höher der Pegel zwischen 1000 Hz und 5000 Hz, desto höher scheint die Belästigungsbewertung zu sein. Zudem zeigte sich, dass eine Überhöhung im mittleren Frequenzbereich belästigend zu sein scheint. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden erste Kennwerte berechnet:

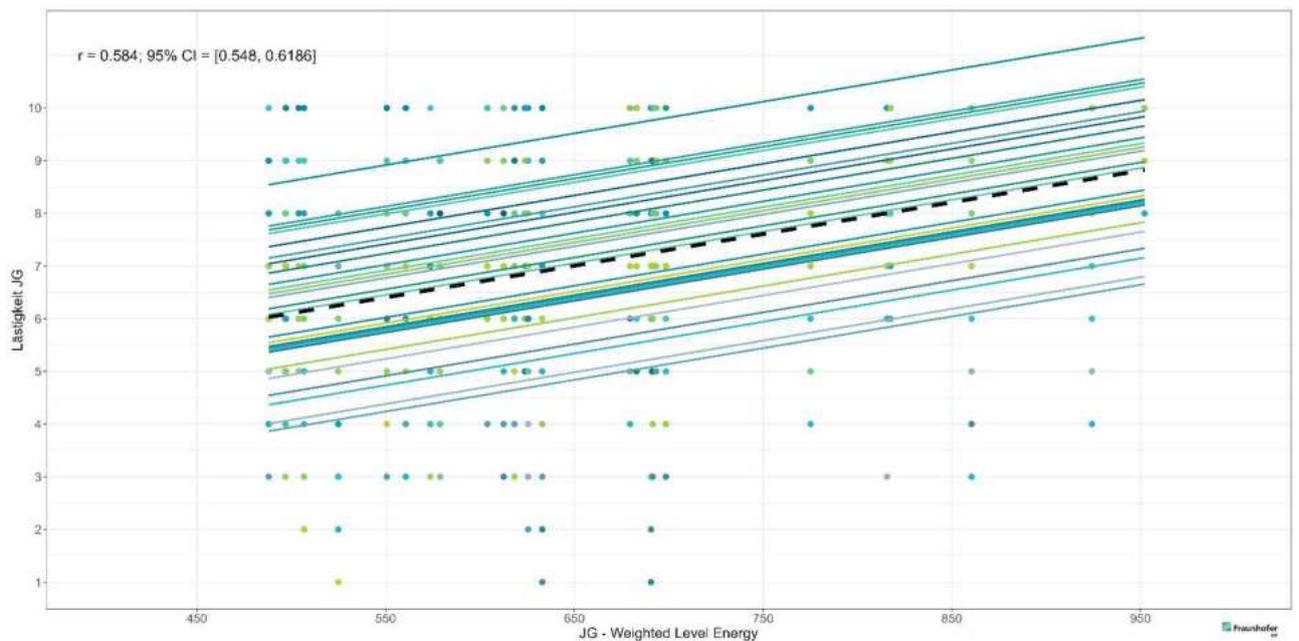
Sie basieren zunächst auf der linearen Aufsummierung der Pegelwerte, da die energetische Aufsummierung zu weniger hohen Korrelationen mit dem Median der Lästigkeitsbewertung führte:

- HLE: HighLevelEnergy [500 - 5000 Hz]
- LLE: LowLevelEnergy [50 - 500 Hz]
- MLE: MidLevelEnergy [400 - 1250 Hz]
- SLE: SumLevelEnergy [50 - 5000 Hz]
- WLE: WeightedLevelEnergy
 - $WLE = a_1 * HLE + a_2 * LLE + a_3 * MLE + a_4 * SLE$
 - Gewichtungen a_1 - a_4 wurden mit Hilfe von Maschine Learning basierend auf den Medianen der Lästigkeitsbewertung optimiert und unterschieden sich für die Schallquellen:
 - Normhammerwerk: $a_1 = 2$; $a_2 = 0,1$; $a_3 = 0,1$; $a_4 = 0,4$
 - Japanischer Gummiball: $a_1 = 0,1$; $a_2 = 0,2$; $a_3 = 1,8$; $a_4 = 0,3$
 - Geher in Socken: $a_1 = 0,1$; $a_2 = 2$; $a_3 = 0,1$; $a_4 = 0,1$

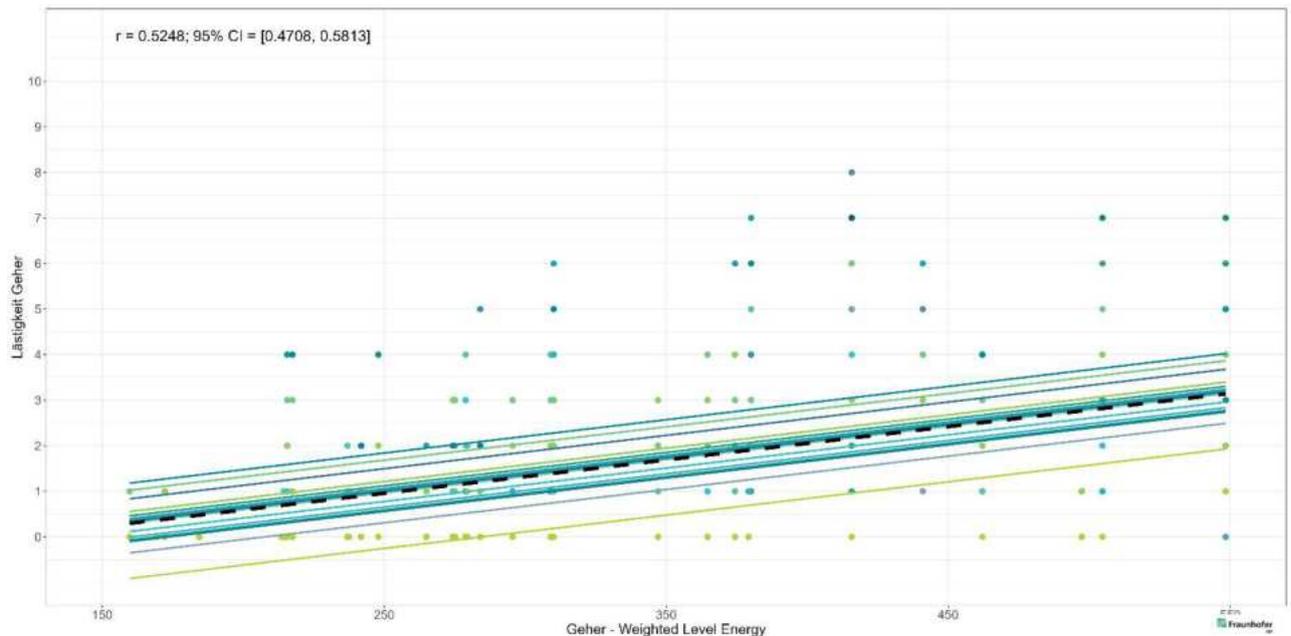
Der errechnete WLE wurde anschließend für alle Schallquellen mit Hilfe von Messwiederholungskorrelation geprüft. Es zeigte sich für das Normhammerwerk eine Verbesserung der Passung zwischen Lästigkeit und Messwert. Der Korrelationskoeffizient betrug 0.5775 und lag damit im mittleren Bereich. Für den japanischen Gummiball zeigte sich nur eine geringe Verbesserung und der Korrelationskoeffizient lag mit 0.584 weiterhin im mittleren Bereich. Für den Geher in Socken zeigte sich eine Verbesserung der Passung zwischen Lästigkeit und Messwert. Der Korrelationskoeffizient betrug 0.5248 und lag damit im mittleren Bereich. In Grafik 19, 20 und 21 sind die Modelle dargestellt.



Grafik 19: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen WLE und der subjektiven Lästigkeit für das NHW dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.



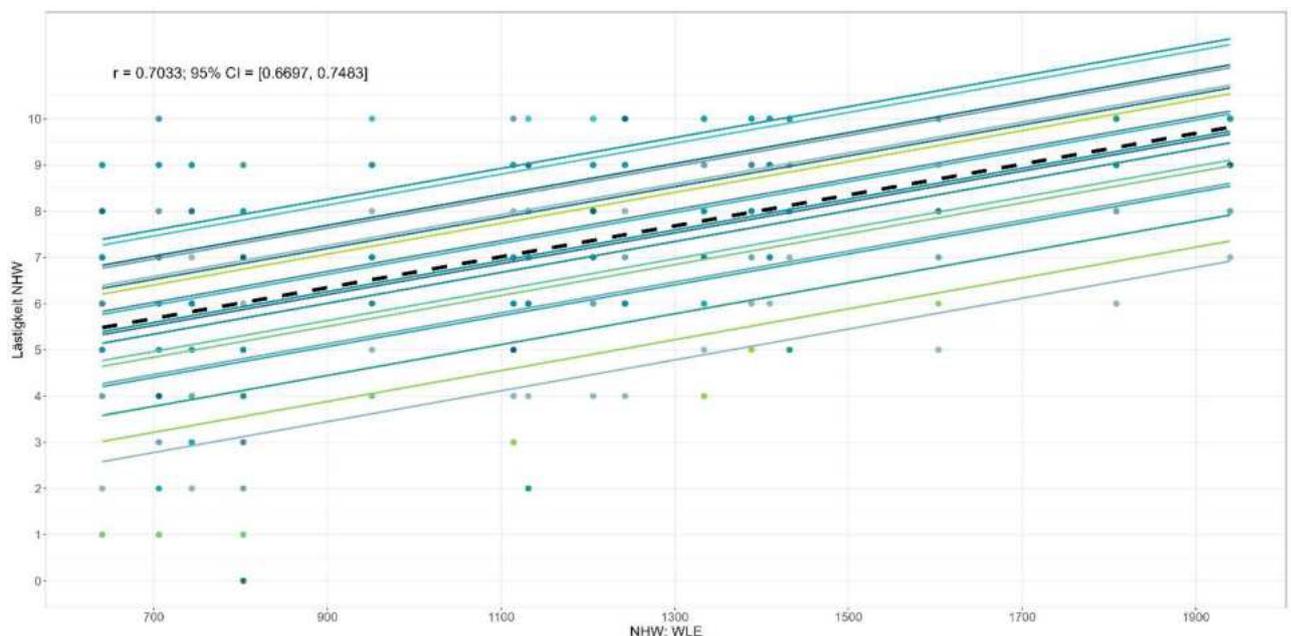
Grafik 20: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen WLE und der subjektiven Lästigkeit für den JG dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.



Grafik 21: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen WLE und der subjektiven Lästigkeit für den Geher in Socken dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.

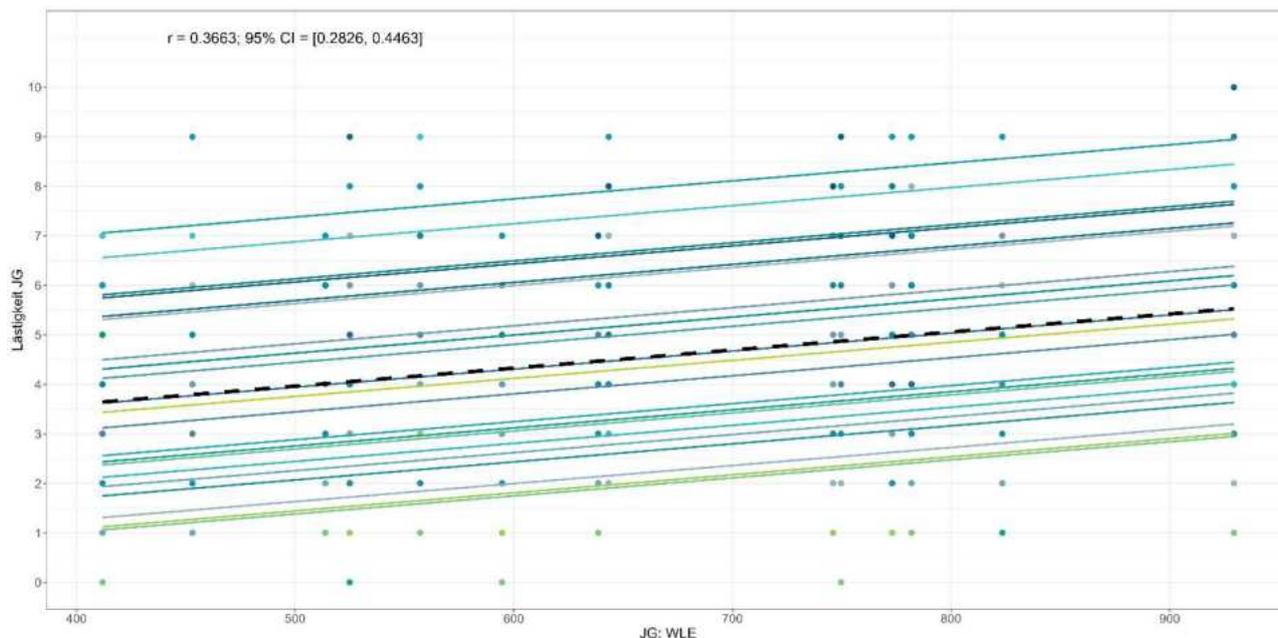
Da der WLE anhand der Projektdaten erstellt wurde, muss seine Passung mit weiteren Daten geprüft werden. Zu diesem Zweck wurden Daten aus einem Vorgängerprojekt verwendet (Späh & Liebl, 2014).

Für das Normhammerwerk zeigte sich mit den Testdaten mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.7033 eine Korrelation zwischen Messwert und Lästigkeit im hohen Bereich. Für das Normhammerwerk könnte der WLE daher eine vielversprechende Alternative zu Normmesswerten sein, um eine bessere Passung zwischen subjektiver Lästigkeit und Messwert herzustellen. Grafik 22 zeigt das Ergebnis grafisch.



Grafik 22: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen WLE und der subjektiven Lästigkeit für das NHW für die AcuWood Daten dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben Links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.

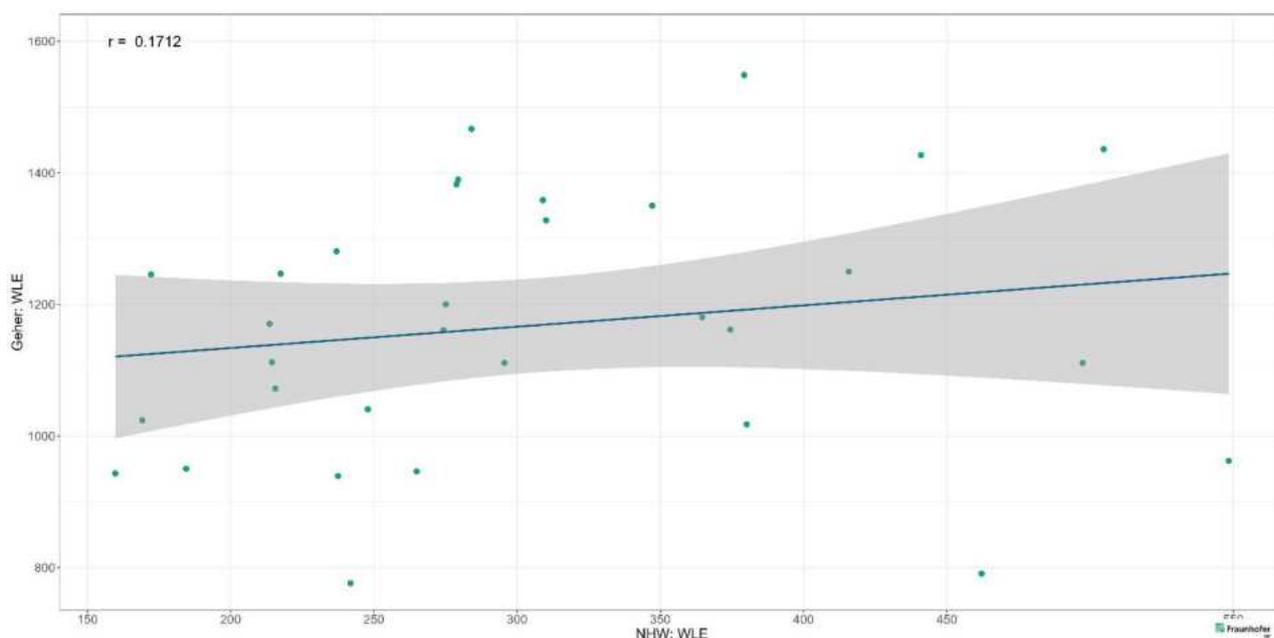
Für den japanischen Gummiball zeigte sich, dass die Korrelation nicht höher wie für den Normwert ist. Der Zusammenhang des WLE mit der subjektiven Lästigkeit ist mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.3663 für die neuen Testdaten nur im unteren Bereich. Grafik 23 zeigt das Ergebnis grafisch.



Grafik 23: In dieser Grafik ist die Messwiederholungskorrelation zwischen WLE und der subjektiven Lästigkeit für den JG für die AcuWood Daten dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r , sowie das zugehörige 95% Konfidenzintervall ist oben links in der Grafik angegeben. Die in schwarz gestrichelte Linie stellt die über alle Versuchspersonen gemittelte Korrelation da. Die farbigen Linien repräsentieren die individuellen Korrelationslinien.

Für das Ergebnis des japanischen Gummiballs muss beachtet werden, dass im Hörversuch, in dem die Testdaten erhoben wurden, nur ein Wurf des Balls dargeboten wurde, wohingegen im aktuellen Projekt fünf Würfe hintereinander dargeboten wurden. Es ist möglich, dass dies die schlechte Passung des Messwertes für die Daten des älteren Projektes erklärt. In weiteren Studien sollte erhoben werden, ob der neu entwickelte WLE Wert eine gute Passung mit der subjektiven Belästigung hat, wenn im Hörversuch fünf Würfe des japanischen Gummiballs dargeboten werden.

Um zu überprüfen, ob der neue Messwert nicht nur für eine Vorhersage der Lästigkeit des Normhammerwerkes, sondern auch für eine Voraussage über die Belästigung durch einen Geher über die Messung mit dem Normhammerwerk möglich macht, wurde geprüft, wie hoch der Zusammenhang zwischen dem WLE für das Normhammerwerk und dem WLE für den Geher in Socken ist. Wie in der folgenden Grafik zu sehen ist, ergab sich nur eine niedrige Korrelation zwischen dem WLE für das Normhammerwerk und dem WLE für den Geher ($r = 0.1712$). Zudem liegen viele der Datenpunkte außerhalb des 95% Konfidenzintervalls der Regressionskurve, was darauf hindeutet, dass die Daten unzureichend durch einen linearen Zusammenhang abgebildet werden.



Grafik 24: Diese Grafik zeigt die Regression zwischen WLE für das NHW und WLE für den Geher in Socken für dieselbe Decke (AcuWood Daten). Das Bestimmtheitsmaß (adjusted R^2) ist oben links in der Grafik angegeben. Die blaue Linie stellt die Korrelationslinie zwischen den beiden Messwerten dar und die hellblaue Fläche ihr 95% Konfidenzintervall.

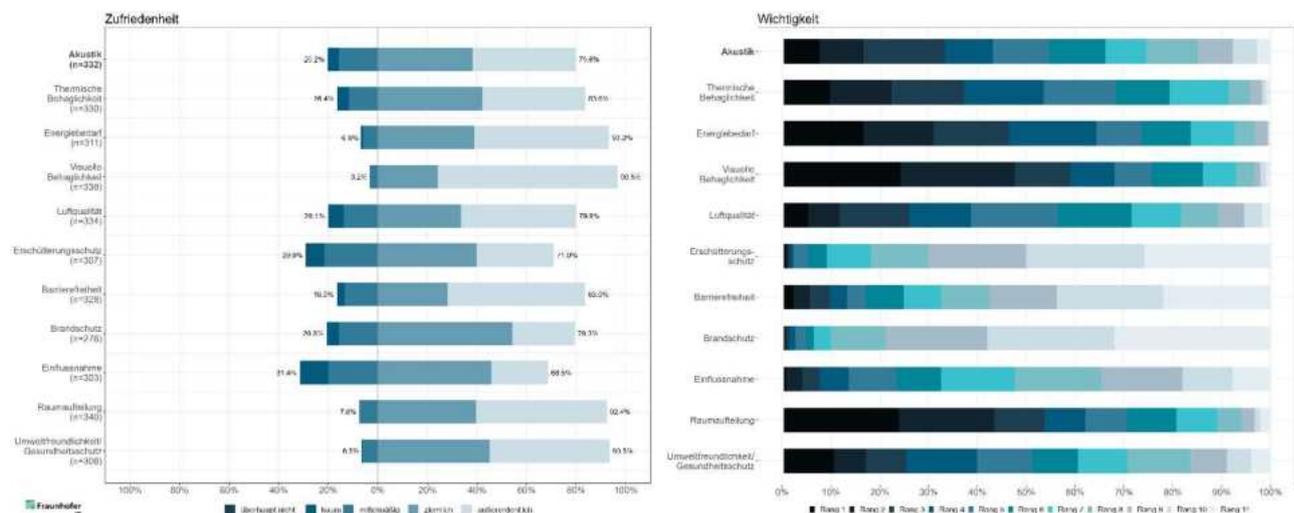
Das Ergebnis für den niedrigen Zusammenhang zwischen den Messwerten für das Normhammerwerk und den Geher in Socken ist kongruent zu dem niedrigen Zusammenhang zwischen den Lästigkeitsbewertungen für das Normhammerwerk und den Geher in Socken. Wenn die Lästigkeitsbewertung der beiden Schallquellen einen geringen Zusammenhang hat, so ist zu erwarten, dass Messwerte, die die Lästigkeitsbewertung gut approximieren, ebenfalls einen geringen Zusammenhang haben.

1.4.4 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse des Hörversuches

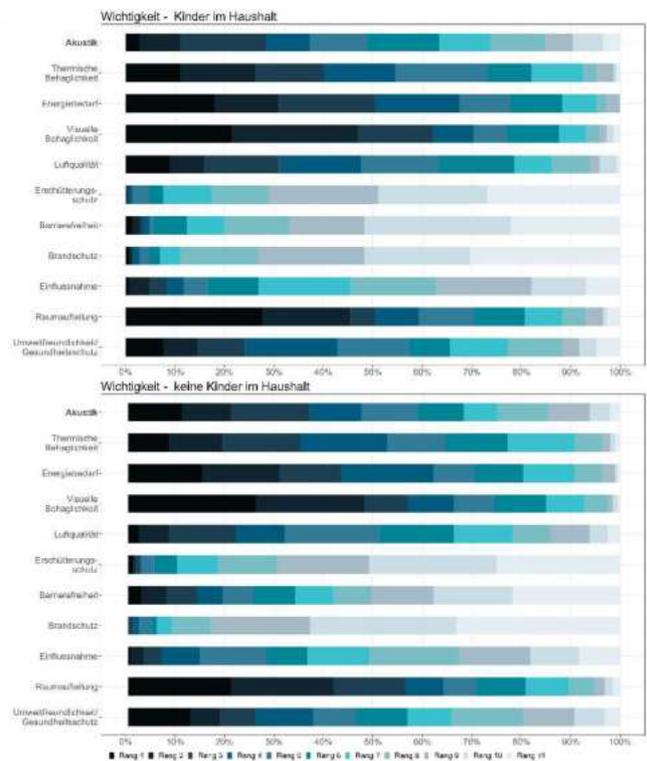
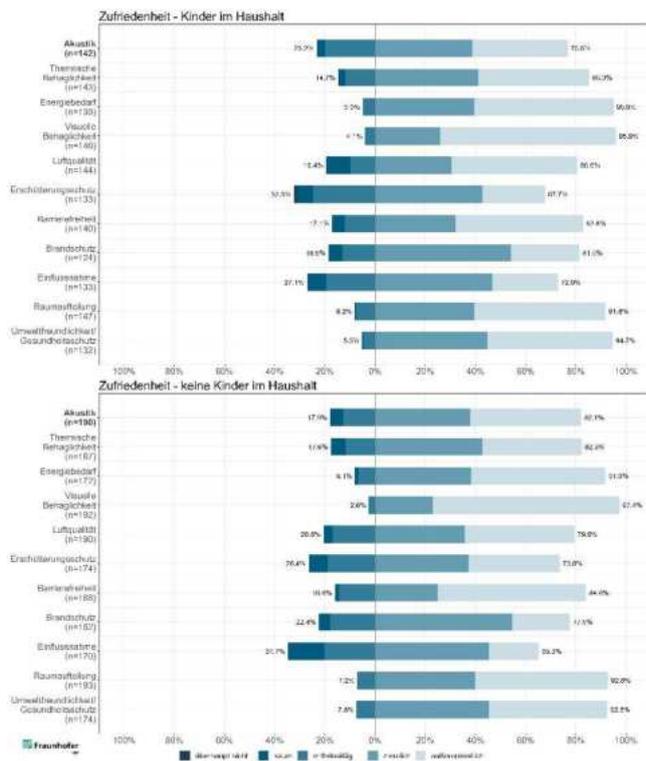
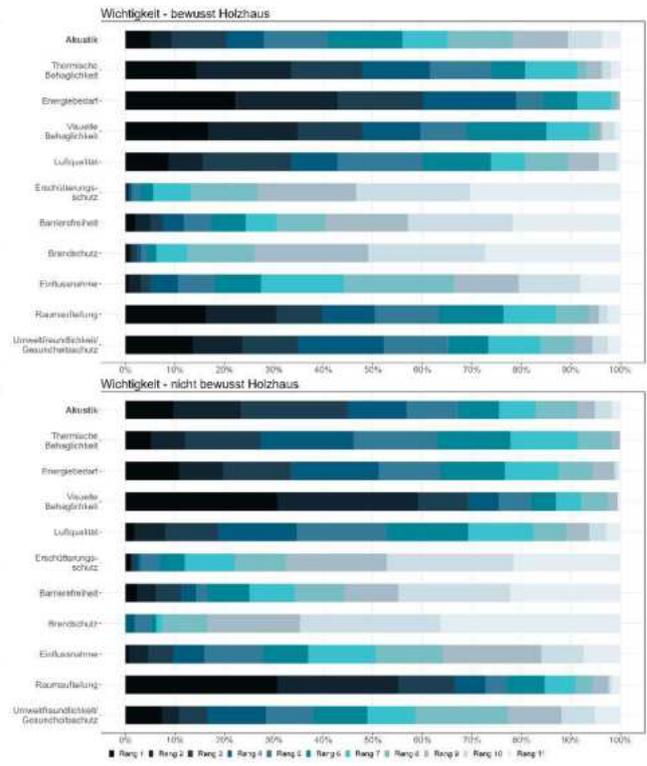
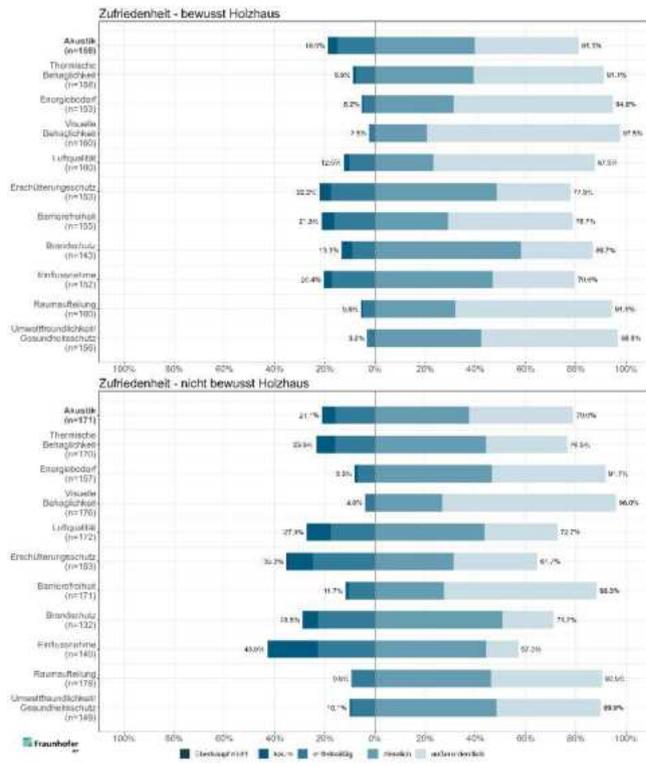
Nach Auswertung des Hörversuches kann der Zusammenhang zwischen den Normwerten für das Normhammerwerk bzw. den japanischen Gummiball und der durch die Schallquellen ausgelösten subjektiven Lästigkeit nicht zufriedenstellend nachgewiesen werden. Zudem zeigt sich bei der vorhandenen Datenlage, dass die durch das Normhammerwerk und durch den japanischen Gummiball ausgelöste Lästigkeit die durch einen Geher in Socken ausgelöste Lästigkeit nicht approximiert. Vorliegende Ergebnisse mit alternativen Messwerten wie dem $L_{AF,max}$ und dem neu entwickelten WLE erreichen sogar eine bessere Passung mit der Lästigkeitsbewertung der jeweiligen Schallquelle. Allerdings zeigt sich auch, dass sobald die Messwerte die Lästigkeit besser approximieren, der Zusammenhang zwischen den Messwerten für die Standard Schallquellen und den Geher in Socken sinkt. Dies ist ein zu erwartendes Ergebnis. Wie im vorherigen Abschnitt ausgeführt, ist zu erwarten, dass, wenn die Lästigkeitsbewertung der beiden Schallquellen einen geringen Zusammenhang hat, auch Messwerte, die die Lästigkeitsbewertung gut approximieren, einen geringen Zusammenhang haben. Damit zeigen die Ergebnisse des Hörversuches insgesamt, dass ein psychoakustisches Klassifikationssystem, mit dessen Hilfe die Belästigung durch einen Geher in Socken geschätzt werden soll, in diesem Projekt nicht erstellbar war.

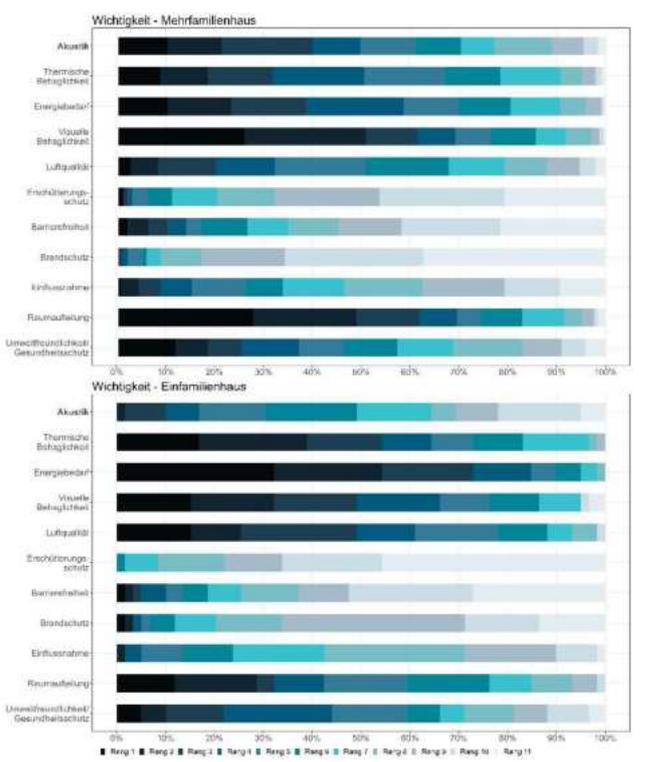
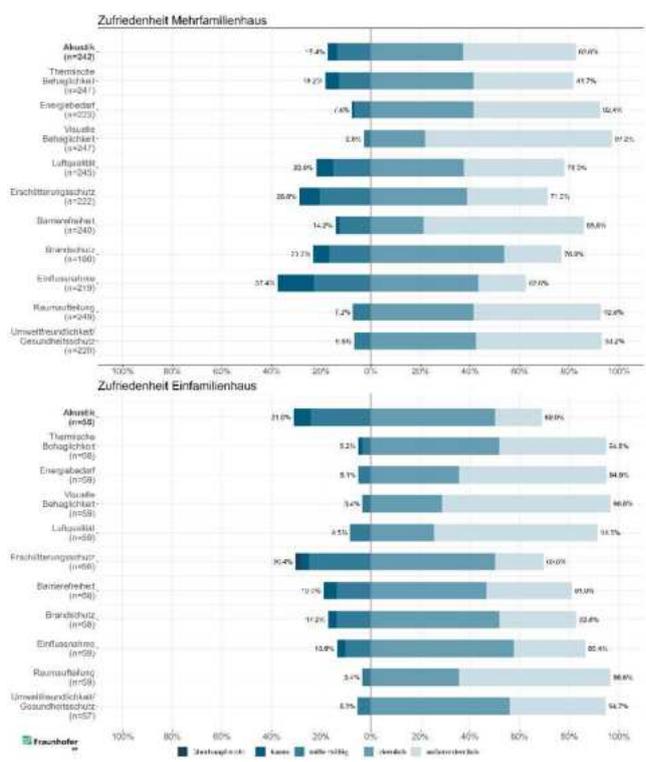
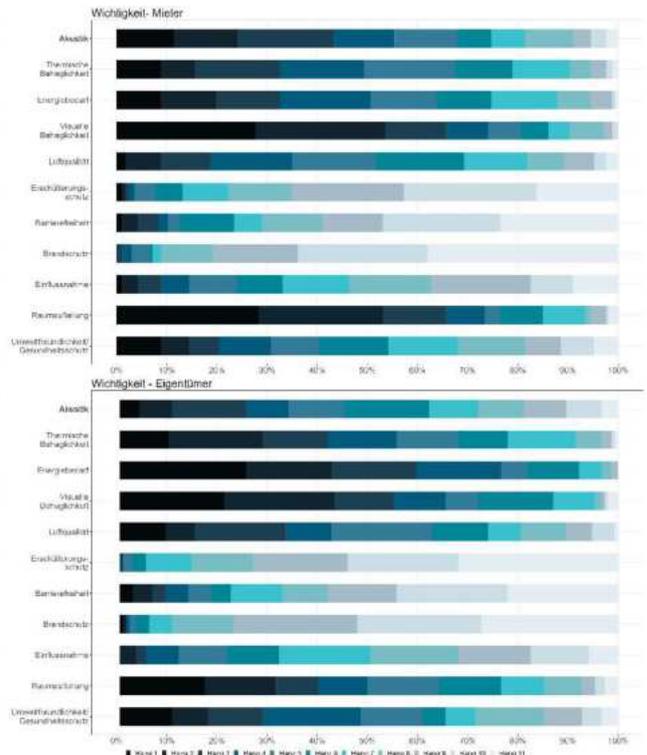
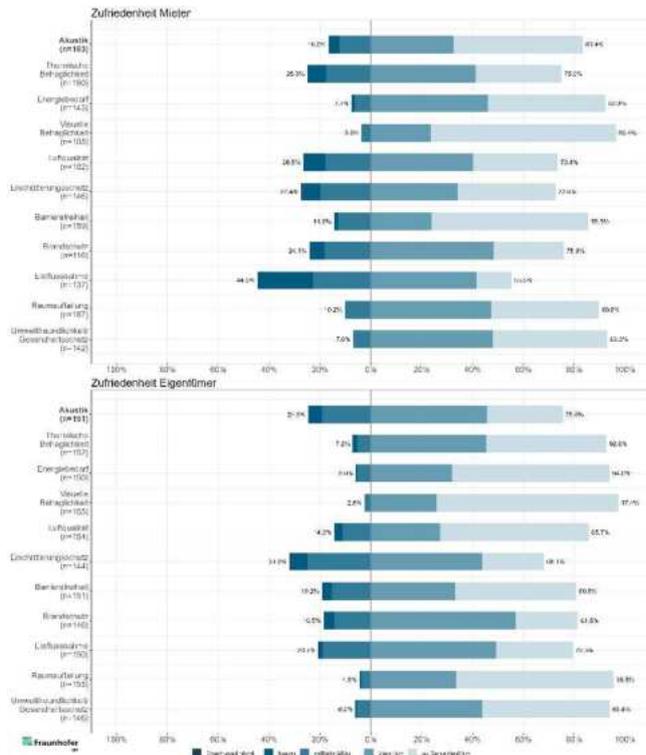
1.4.5 Die Ergebnisse der Felduntersuchung

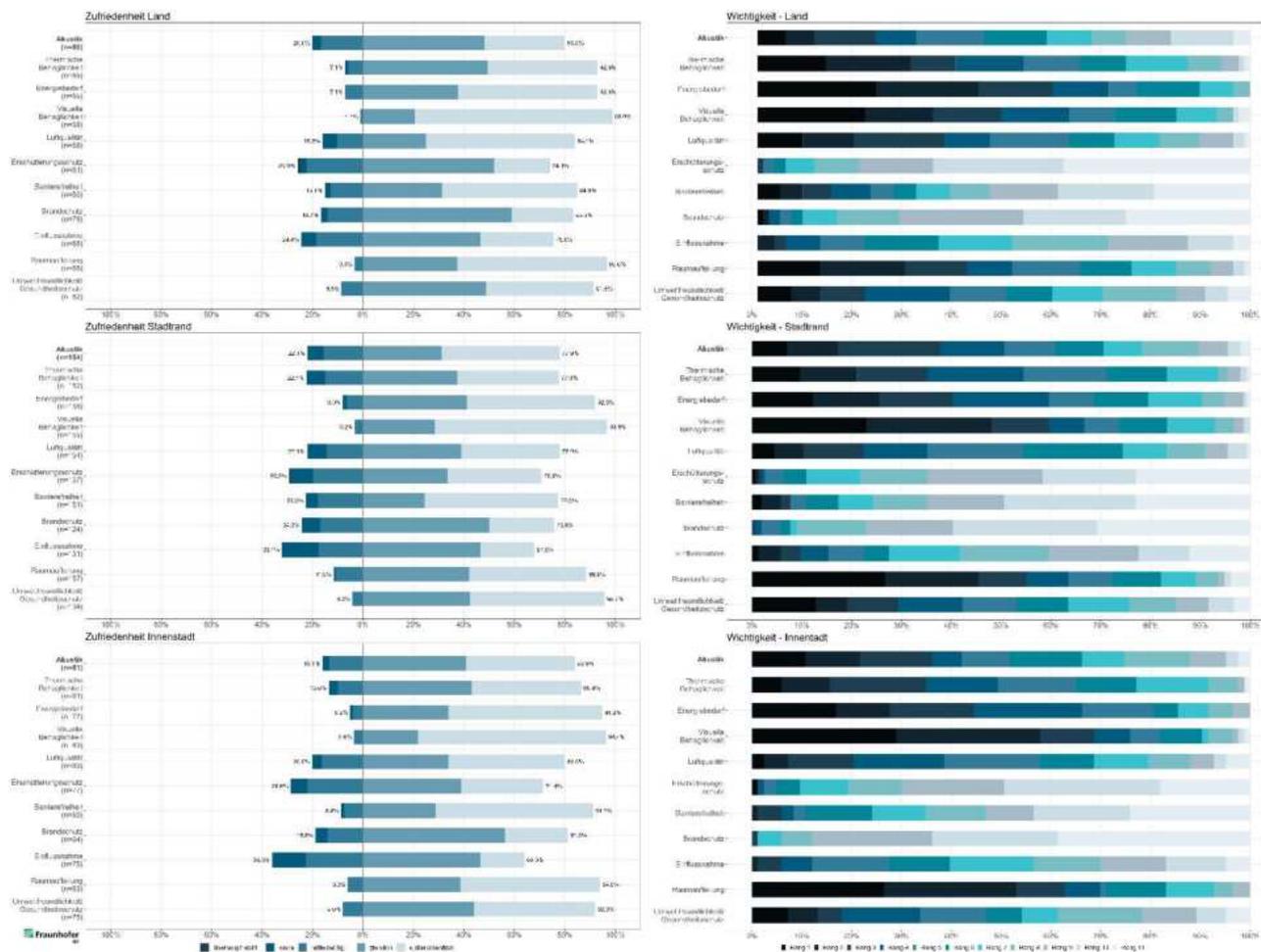
Zusätzlich zum Hörversuch wurden die Bewohner der vermessenen Gebäude befragt. Insgesamt beantworteten 14 Personen den Fragebogen. Um die Datenzahl zu erhöhen wurden Daten aus vorherigen Felduntersuchungen (Späh et al., 2014; Liebl et al., 2014, October) dazu genommen. Insgesamt zeigte sich, dass Bewohner von Holzgebäuden zufrieden mit der akustischen Qualität der Gebäude sind, nur 20,2% von 332 Befragten gaben an kaum oder überhaupt nicht mit der akustischen Qualität zufrieden zu sein. Die Wichtigkeit der akustischen Qualität wurde jedoch als niedriger bewertet als die Wichtigkeit der visuellen Behaglichkeit, des Energiebedarfs, der Raumaufteilung und der thermischen Behaglichkeit. Die Daten sind in der folgenden Grafik dargestellt:



Um zu analysieren, ob die akustische Qualität von der Wohn- oder Lebenssituation abhängt, wurden die Daten für unterschiedliche Gruppen analysiert. Nachfolgenden sind die Ergebnisse grafisch dargestellt:







Die obigen Grafiken zeigen Unterschiede sowohl bezüglich der Bewertung der Wichtigkeit von akustischem Komfort als auch in Bezug auf die Zufriedenheit mit dem akustischen Komfort von Holzgebäuden. Menschen, die sich nicht bewusst für ein Holzgebäude entschieden haben, messen dem akustischen Komfort eine größere Wichtigkeit zu als Menschen, die sich bewusst für ein Holzgebäude entschieden haben. Der Unterschied bezüglich der Zufriedenheit mit dem akustischen Komfort ist zwischen den Gruppen mit etwas mehr wie 2% jedoch sehr gering. 5% mehr Personen, die mit Kinder im Haushalt leben, als Personen, die ohne Kinder im Haushalt leben, gaben an mit dem akustischem Komfort zufrieden zu sein. Allerdings werteten Personen ohne Kinder den akustischen Komfort als wichtiger im Vergleich zu Personen mit Kindern. Mieter maßen dem akustischen Komfort eine größere Wichtigkeit zu als Eigentümer und es gaben 7% mehr Mieter (im Vergleich zu Eigentümern) an mit dem akustischem Komfort unzufrieden zu sein. Ein besonders großer Unterschied ergab sich beim Vergleich von Bewohnenden von Mehrfamilienhäusern und Bewohnenden von Einfamilienhäusern. Allerdings muss bei diesem Vergleich beachtet werden, dass nur 58 Befragte in Einfamilienhäusern wohnten, wohingegen 242 Befragte angaben, in einem Mehrfamilienhaus zu wohnen. Bewohnende von Einfamilienhäusern gaben für die Wichtigkeit des akustischen Komforts nie die Ränge 1 und 2 an, wohingegen über 20% der Bewohnenden von Mehrfamilienhäusern dem akustischen Komfort die Wichtigkeitsränge 1 und 2 zuordneten. Allerdings gaben 14% mehr Bewohnende von Einfamilienhäusern an mit dem akustischen Komfort ihres Gebäudes unzufrieden zu sein. Beim Vergleich der Umgebung lässt sich feststellen, dass die Wichtigkeit des akustischen Komforts von Landbewohnern als weniger wichtiger beurteilt wird als von Stadtrandbewohnern. Stadtrandbewohner wiederum bewerten die Wichtigkeit des akustischen Komforts als weniger wichtig als Innenstadtbewohner. Bei der Zufriedenheit ergeben sich Unterschiede im Vergleich von Innenstadtbewohnern und Stadtrandbewohnern, wobei 6% mehr Innenstadtbewohner angeben mit dem akustischen Komfort zufrieden zu sein. Es ergibt sich ein geringerer Unterschied zwischen Innenstadtbewohnern und Landbewohnern. Es geben 4% mehr Innenstadtbewohner im Vergleich zu Landbewohnern an, mit dem akustischem Komfort zufrieden zu sein.

Insgesamt ergibt sich aus der Feldbefragung, dass die Bewohnenden mehrheitlich ziemlich oder außerordentlich zufrieden mit dem akustischen Komfort der Holzgebäude sind. Bei den Gruppenvergleichen zeigt sich das Bild, dass eine negative Beziehung zwischen Wichtigkeit und Zufriedenheit für den akustischen Komfort zu bestehen scheint.

1.5. Dokumentation und Zusammenführung der Ergebnisse mit Forschungsergebnissen aus dem Mehrfamilienhausbau - AP05 (HDI)

Trotz der Prüfung mit weiteren Auswerteverfahren konnte aus der Praxis bekannte und aus Vorgängerstudien vermutete Zusammenhang zwischen subjektiver Lästigkeit und $L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$ im Rahmen dieses Projektes weder für Mehrfamilienhäuser repliziert noch auf den Einfamilienhausbereich übertragen werden. Nachweisbar war jedoch ein klarer Zusammenhang zwischen dem $L_{AF,max,n}$ und der geschätzten Langzeitbelästigung für dieselbe Schallquelle.

1.6. Wissenstransfer - AP06 (HDI)

Der im Rahmen dieses Projektes zu erstellende Leitfaden sollte vorrangig die neu entwickelten psychoakustisch determinierten Schallschutzklassen thematisieren und innerhalb der bekannten Schriftenreihe „Schallschutz im Holzbau“ des INFORMATIONSDIENST HOLZ veröffentlicht werden. Bisher existieren die Folge 1 „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) und Folge 2 „Schallschutz im Holzbau – Differenzierte Flankenbewertung bei der Trittschallübertragung“¹⁷. Weitere Informationsschriften zur Schallschutz-Nachweisführung im Holzbau und schallschutztechnischen Altbausanierung sind derzeit zur Erweiterung der Reihe in Planung.

Mit der vorhandenen Datenlage konnte trotz der Prüfung zusätzlicher Ansätze kein psychoakustisches Klassifizierungssystem hergeleitet werden, weshalb die Projektpartner beschlossen, auf die Erstellung eines Leitfadens zu verzichten. Alle Erkenntnisse bzw. Ansätze, die bei einem möglichen Folgeprojekt zu diesem Thema benötigt werden, sind dem Schlussbericht entnehmbar.

Neben dem Klassifizierungssystem waren als weitere Inhalte des Leitfadens Darstellungen zu technischen Detaillösungen und Empfehlungen für die bauvertragliche Kommunikation mit Bauherren angedacht. Technische Detaillösungen zum Schallschutz im Wohnungsbau sind bereits in der veröffentlichten Schallschutzreihe des INFORMATIONSDIENST HOLZ enthalten und werden auch zukünftig seitens des Holzbau Deutschland Instituts stetig erweitert und aktualisiert werden, wenn neue Erkenntnisse z.B. aus der Psychoakustik vorliegen. Zur Erleichterung der nach wie vor komplizierten vertraglichen Vereinbarung des Schallschutzes und schwierigen Kommunikationslage mit dem Bauherrn erarbeitet das Holzbau Deutschland Institut derzeit zusammen mit Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt eine interaktive Vorlage für eine Schallschutzvereinbarung. Diese soll planenden Holzbau-Betrieben zur Verfügung stehen und das einfache Zusammenstellen einer Vertragsgrundlage aus auswählbaren Textblöcken ermöglichen. Gleichzeitig umfasst sie einen Erläuterungsteil für die Bauherren, um ihnen die Thematik Schallschutz sowie die baubaren Qualitätsniveaus näher zu bringen und die Unternehmen bei Ihrer Aufklärungspflicht zu unterstützen. Dabei wird auch das vorhandene Klassensystem aus der Schallschutz-Schriftenreihe des INFORMATIONSDIENST HOLZ vorgestellt, dessen psychoakustische Bestätigung zwar nach wie vor aussteht, jedoch weiter intensiv angestrebt wird. Die ursprünglichen Inhalte des Leitfadens werden also teilweise durch anderweitige Projekte/Veröffentlichungen abgedeckt werden.

2. Verwertung

2.1. wirtschaftlich (HDI)

Nicht zuletzt wegen seines CO₂-Speicherpotenzials ist die Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs Holz in der Baubranche, einem der Hauptverursacher der schädlichen Treibhausgasemissionen, in Zeiten des Klimawandels wichtiger denn je. Und obwohl das Holz ein altbekannter Baustoff ist, hat er noch immer mit Vorbehalten im Bereich des Brandschutzes, der Dauerhaftigkeit und vor allem auch im Bereich des Schallschutzes zu kämpfen.

Nachdem der Holzbau mittlerweile auch zunehmend im Mehrfamilienhaus Anwendung findet, bleibt auch der Einfamilienhausbau weiterhin eines der Haupteinsatzgebiete. Die gültigen Normenfassungen betrachten den baulichen Schallschutz im eigenen Wohnbereich jedoch nicht und stellen auch keine Anforderungen an den erhöhten Schallschutz, sodass bei Einfamilienhäusern und innerhalb einer Wohneinheit nicht auf gängige Grenzwerte zurückgegriffen werden kann. Aber auch beim technisch geregelten Mehrfamilienhausbau kommt es nach der Fertigstellung zwischen den Bauherren und den bauausführenden Betrieben immer wieder zu Streitigkeiten beim Thema Schallschutz, die nicht selten vor Gericht enden. Dies liegt daran, dass die vorhandene Schallschutzqualität des Neubaus in der Realität häufig von den Erwartungen der Bauherrenschaft abweicht. Grund für diese Auseinandersetzungen sind oftmals die gegenwärtigen Kenngrößen, die den später tatsächlich wahrnehmbaren Schallschutz für die Bewohner nicht ausreichend transparent beschreiben und zu falschen Annahmen führen.

Das Forschungsprojekt sollte nun mit seinem psychoakustisch determinierten Schallschutz-Klassifikationssystem, welches für die breite Öffentlichkeit als Leitfaden verfügbar gewesen wäre, genau an dieser Stelle zeitnah für mehr Klarheit im Planungsprozess sorgen und im Vorfeld eine eindeutige Kommunikation der wahrnehmbaren Schallschutzqualität ermöglichen. Neben der Reduzierung der zeitaufwendigen und kostenintensiven Gerichtsverfahren, hätten so mittelfristig auch bestehende Vorurteile

abgebaut und das Vertrauen sowie das Wohlbefinden in Holzbauten gesteigert werden können. Auf lange Sicht wäre dadurch der Einsatz von nachhaltigen Baustoffen gefördert und eine Umsatzsteigerung der Holzbauunternehmen erreicht worden.

Des Weiteren hätte das Verfahren auch einen Wettbewerbsvorteil gegenüber dem Massivbau bedeutet, bei dem im Schallschutz bisher kein auf der Wahrnehmung basierendes Prognoseverfahren existiert.

Diese Ziele wurden mit dem aktuellen Forschungsprojekt noch nicht erreicht, sind es aber wert, weiter verfolgt zu werden. Teilerfolge sind durch das vorhandene Klassensystem nach dem Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) zu erwarten, auch wenn die psychoakustische Bestätigung noch aussteht. Außerdem bestehen seitens des Holzbau Deutschland Instituts Pläne, die rechtlichen Streitigkeiten zwischen Bauherren und Ausführenden durch die Bereitstellung der besagten Vertragsvorlage zu reduzieren, mit der das gewünschte Schallschutzniveau eines Wohngebäudes für beide Seiten verständlich und eindeutig vereinbart werden kann. Die Ableitung von speziellen Schallschutzanforderungen für den eigenen Wohnbereich war mit der vorhandenen Datengrundlage noch nicht möglich und sollte in zukünftigen Projekten weiter untersucht werden.

2.2. technisch (HDI) / wissenschaftlich (IBP)

Ziel des Projekts war die Bearbeitung eines in sich abgeschlossenen Leitfadens, welcher das im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte psychoakustisch determinierte Schallschutz-Klassifikationssystem beinhaltet und somit die akustischen Messwerte $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ in Bezug zur menschlichen Wahrnehmung setzt. Ein solcher Leitfaden hätte sich thematisch sinnvoll innerhalb der vorhandenen Schallschutz-Schriftenreihe des INFORMATIONSDIENST HOLZ eingefügt und so zeitnah Verbreitung in der technischen Fachwelt gefunden. Eine Einbindung und zielgerichtete Verwertung von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen wäre in der Regel ebenfalls kurzfristig über Hochschulen und Fachhochschulen möglich. Bei erfolgreicher Anwendung und bestätigtem Nutzen in der Praxis hätten die psychoakustischen Erkenntnisse mittelfristig auch zur Weiterentwicklung und Revision von Normen, wie beispielsweise der DIN 4109, verwendet werden können.

Die Entwicklung eines solchen Klassifikationssystems ist im Rahmen dieses Projektes nicht gelungen, hierfür sind vorab noch weitere Untersuchungen nötig. Die Erkenntnisse aus vorherigen Forschungsprojekten der Forschungsgruppe und anderer Forschungsgruppen wurden durch die Ergebnisse bestätigt und teilweise weitergeführt. Das Projekt hat außerdem eine Reihe interessanter Fragen für Folgestudien aufgeworfen.

Da davon auszugehen ist, dass die Pandemie weiter andauert und neue Corona-Maßnahmen die Arbeit mit Probanden im Labor jederzeit wieder stark einschränken könnte, sollten künftige Hörversuche online durchgeführt werden können. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist, dass deutlich mehr Probanden (auch unterschiedlichster Zielgruppen) in der selben Zeit bewerten können. Als Vorbild für die Planung und den Ablauf solcher Online-Hörversuche kann das kürzlich erfolgreich abgeschlossene Forschungsprojekt der NRC Canada (siehe II.3.) dienen.

Im Rahmen der Neuauflage der Hörversuche sollte außerdem die Methodik überdacht werden. Der Einfluss der bisher angewandten Randomisierung zwischen allen Anregungsarten ist zu prüfen, da er möglicherweise zu einer Verfälschung der Hörwahrnehmung führt. Eine Alternative dazu wäre die Reihenfolge der Hörbeispiele nur innerhalb der gleichen Anregungsart sowie die Abspielreihenfolge der Anregungsarten variieren zu lassen.

Des Weiteren ist geplant, in einer wissenschaftlichen Folgestudie den Bewertungskatalog stärker auf das Thema Einfamilienhäuser, also Belästigung aus dem eigenen Wohnbereich, zu präzisieren und ggf. die Lästigkeitsskala anzupassen. Dies könnte beispielsweise umgesetzt werden, in dem für ein und das selbe Hörbeispiel einmal die Lästigkeit/Lautheit bezogen auf den Geräuschverursacher „Nachbar“ und außerdem für „Kind/Lebenspartner“ abgefragt wird. Um die Aufmerksamkeitsspanne der Probanden nicht überzustrapazieren wäre es sicherlich ebenfalls sinnvoll die Versuchszeit für die Hörversuche von 90 min auf max. 45 min zu reduzieren.

Aus den Erfahrungen dieses Projektes heraus ist es außerdem zu empfehlen, lieber auf Feldmessungen zu verzichten und die Messungen im Labor durchzuführen, um Fremdgeräuscheinflüsse auszuschließen. Trotz entsprechender Vorkehrungen und Messwiederholungen konnten bei den Feldversuchen nicht alle Fremdgeräusche (z.B. Vogelgezwitscher oder Haustechnische Anlagen) vermieden werden. Es sollte allerdings zuvor durch großflächige Feldstudien überprüft werden, inwiefern sich im Labor gefundene Ergebnisse tatsächlich auf das Feld übertragen lassen.

Bei Bewohnerbefragungen bietet es sich an die Teilnahme an eine kleine finanzielle Vergütung zu knüpfen, um eine ausreichend hohe Anzahl an Rückmeldungen sicherzustellen.

Auch der Einfluss subjektiver Unterschiede auf das Lästigkeitsempfinden von Trittschall, sowie die Langzeitbelästigung sollten zukünftig noch genauer betrachtet werden. Die Ergebnisse des aktuellen Projektes zeigen einen klaren Zusammenhang zwischen dem $L_{AE,max}$ und der geschätzten Langzeitbelästigung für dieselbe Schallquelle. In einer nächsten Studie sollte untersucht werden, ob dieser Zusammenhang auch im Feld repliziert werden kann. Zusätzlich sind weitere Untersuchungen nötig, wie eine bessere Passung zwischen Standardschallquellen und Alltagsbelästigung hergestellt werden kann. Ein kombiniertes Maß für akustischen Komfort bestehend aus Tritt- und Luftschallbewertung könnte hierbei sinnvoll sein.

Des Weiteren könnte die allgemeine Thematik noch um die folgenden wissenschaftlichen Anschluss-Untersuchungen erweitert werden:

- Einbeziehung des Frequenzbereichs unterhalb von 50 Hertz und dafür Entwicklung notwendiger Mess- sowie Reproduktions- und schließlich Bewertungsverfahren bei Hörversuchen im Labor.
- Vibroakustische Untersuchungen – aktuell lag der Schwerpunkt des Projekts rein auf dem akustischen – also hörbaren – Bereich.
- Auralisierung: Interaktive Hörbarmachung der gemessenen Deckenaufbauten, sodass der Hausbesitzer die akustische Qualität verschiedener Deckenaufbauten schon vor dem Bau (z.B. auf dem Smartphone) erleben und vergleichen kann.

3. Erkenntnisse von Dritten (IBP)

Im Laufe des Projektes wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um zu überprüfen, welche Fortschritte es im Bereich Trittschall, Holzdecken und den Zusammenhang zwischen subjektiver Lästigkeitsbewertung eines Gehers und Messungen mit dem japanischen Gummiball oder Normhammerwerk gibt.

Zum Thema durch Nachbarschaftslärm ausgelöste Belästigung in Holzgebäuden führten Frescura und Lee im Jahr 2020 eine Studie durch (Frescura & Lee, 2020). Dabei untersuchten sie sowohl Tritt- als auch Luftschall. Es zeigte sich, dass sowohl Trittschall als auch Gesprächslärm mit steigendem Pegel die Erregung und die Anzahl negativer Gefühle steigern. Eine Studie von Ljunggren aus dem Jahr 2022 (Ljunggren, 2022) zeigte, dass Trittschall im Vergleich zu Luftschall als lästiger empfunden wird. Dies zeigt die Wichtigkeit einer genaueren Untersuchung welche Holzdeckenkonstruktionen zu einer möglichst geringen Belästigung durch Trittschall führen.

Frescura und Kollegen untersuchten in ihrer Studie aus dem Jahr 2021 (Frescura et al., 2021) den Zusammenhang zwischen den Frequenz Charakteristiken (50Hz – 1kHz) der Standardschallquellen (Normhammerwerk und japanischer Gummiball) und den Frequenz Charakteristiken unterschiedlicher Alltagsgeräusche. Sie fanden heraus, dass sich die Höhe der Korrelation sowohl für unterschiedliche Alltagsgeräusche (Gehgeräusche eines Erwachsenen, Renngeräusche von Kindern, Gespräche, klassische Pianomusik), als auch für unterschiedliche Deckenkonstruktionen unterscheidet. Hongisto und Kollegen zeigten zudem in ihrer Studie aus dem Jahr 2020 (Hongisto et al., 2020), dass sich die Lästigkeitsbewertung von unterschiedlichen Alltagsgeräuschen für unterschiedliche Decken unterscheidet. Dies weist darauf hin, dass zukünftige Studien in der Datenanalyse ein genaueres Augenmerk auf die gemessenen Deckenkonstruktionen legen sollten. Besonders im Bereich unterschiedlicher Holzkonstruktionen gibt es hier aktuell noch Wissenslücken.

Frescura und Kollegen (Frescura et al., 2021) untersuchten zudem den Zusammenhang zwischen den standardisierten bauakustischen Einzahlwerte des Normhammerwerks und des japanischen Gummiballs und dem $L_{AF,max}$, dem L_N und dem L_{Aeq} von unterschiedlichen Alltagsgeräuschen. Die Autoren fanden sowohl für das Normhammerwerk, als auch für den Japanischen Gummiball eine hohe Korrelation für alle Einzahlwerte zu allen Alltagsgeräuschen. Allerdings betrachtete die Studie, im Gegensatz zu der im Laufe des hier vorgestellten Projektes durchgeführten Studie, nicht das durch die Alltagsgeräusche und Standard Schallquelle ausgelöste Lästigkeitsempfinden. Damit gibt es zwar einen Zusammenhang zwischen gemessenen Geräuschen bei unterschiedlicher Bewertung, aber keine Aussage zum subjektiven Empfinden. Die Ergebnisse der Studie von Hongisto und Kollegen aus dem Jahr 2020 (Hongisto et al., 2020) weisen darauf hin, dass die Standard-Einzahlwerte die empfundene Belästigung nicht zufriedenstellend abbilden. Die Studie von Hongisto und Kollegen beschäftigte sich jedoch nicht mit Holzdecken. In einer Studie aus dem Jahr 2022 betrachtete Ljunggren, wie gut sich die subjektive Belästigung durch Trittschall auf Holzdecken durch standardisierte Einzahlwerte abbilden lässt (Ljunggren, 2022). Die Studie zeigte, dass ein Einbezug tieferer Frequenzen zu einer verbesserten Vorhersage führte. Allerdings konnte auch die Verwendung eines $L_{n,T,w,25}$ die Vorhersagekraft nur auf 62% steigern. Dies stellte jedoch im Vergleich zur Verwendung des $L_{n,T,w}$ (11% Vorhersagekraft) und des $L_{n,T,w,50}$ (40% Vorhersagekraft) eine klare Verbesserung dar.

Müller-Trapet und Kollegen (NRC) betrachteten in ihrer Studie aus dem Jahr 2022 den Zusammenhang zwischen bauakustischen Messwerten und subjektiver Belästigung von Holzdecken (Müller-Trapet et al, 2022). Ziel der Studie war es, geeignete Messwerte zu finden, um die subjektive Belästigung durch eine Schallquelle zu repräsentieren. Die Studie zeigte einen Zusammenhang zwischen dem $L_{AF,max}$ in dB(A) unterschiedlicher Schallquellen (Japanischer Gummiball Fallhöhe 10cm, Japanischer Gummiball Fallhöhe 100cm, einzelner Schlag des Normhammerwerks, Geher Barfuß, Geher in Schuhen) und der subjektiven Lästigkeitsbewertung derselben Schallquelle. Eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Messwert und subjektiver Lästigkeit für die individuellen Schallquellen ergab, dass für den japanischen Gummiball der $L_{AF,max}$ der höchste Zusammenhang zur subjektiven Lästigkeit vorlag. Für die einzelnen Schläge des Normhammerwerks fand sich der höchste Zusammenhang zwischen der subjektiven Lästigkeit und dem $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$. Für den Geher Barfuß fanden die Autoren für keine der etablierten Messmethoden einen hohen Zusammenhang mit der subjektiven Lästigkeit, hier zeigte sich ein $L_{AF,max}$ mit C- statt A-Bewertung als beste Annäherung zum subjektiven Lästigkeitsempfinden. Es muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet

werden, dass die Autoren eine Sigmoid Funktion für ihr Model verwendet haben. Dies bedeutet, es handelt sich nicht um einen linearen Zusammenhang zwischen Messwert und subjektiver Lästigkeit. Zudem wird diese Funktion für gewöhnlich für logistische Regressionen verwendet. Der R^2 stellt für nichtlineare Zusammenhänge kein geeignetes Qualitätsmaß dar. Laut einer Monte Carlo Simulation von Spiess und Neumeyer aus dem Jahr 2010 (Spiess & Neumeyer, 2010) kann die Verwendung des R^2 als Qualitätsmaß bei nicht-linearen Modellen dazu führen, dass die Modelqualität stark überschätzt wird. R^2 ist im Falle von nichtlinearen Modellen oft sowohl für gute als auch für schlechte Modelle hoch. Da Müller-Trapet und Kollegen in ihrer Studie R^2 als Qualitätsmaß für ihre nichtlinearen Modelle verwendet haben, kann die tatsächliche Qualität der Modelle nicht abschließend beurteilt werden. Zudem zeigte sich im Verlaufe des SKH-CO2 Projektes, dass die subjektiven Lästigkeitsbewertungen für die unterschiedlichen Schallquellen nicht normal verteilt sind. Im Laufe der Literaturrecherche ergab sich, dass auch in von anderen Forschungsgruppen durchgeführten Studien zum Thema Beurteilung der subjektiven Lästigkeit von Trittschall nicht normalverteilte Daten berücksichtigt werden mussten. Beispielsweise in einer Studie von Da Panosso und Paul aus dem Jahr 2021 (Da Panosso & Paul, 2021). Wird der Mittelwert für nicht normalverteilte Daten verwendet, so kann dies zur Folge haben, dass die subjektive Lästigkeitsbewertung stark über- oder stark unterschätzt werden kann. Der Mittelwert stellt weder für nicht-normal verteilte Daten als auch für normalverteilte Daten mit großer Streuung ein geeignetes Maß zur Repräsentation der Gruppenbewertung dar.

Die Literaturrecherche ergab, dass auch aktuelle Studien im Bereich Trittschall und subjektive Lästigkeit die Verteilung der erhobenen Lästigkeitsdaten nicht dokumentieren. Oftmals wird der Mittelwert verwendet, um die subjektive Lästigkeit zu repräsentieren (siehe beispielsweise: Müller-Trapet et al., 2020; Frescura & Lee, 2020; Jeong 2021).

Eine weitere interessante Erkenntnis ergibt sich aus der Studie von Kim und Kollegen aus dem Jahr 2022 (Kim et al., 2022). Sie zeigten, dass die temporalen Eigenschaften einer Schallquelle ausschlaggebend für die von ihr erzeugte Lästigkeit sind. Kim und Kollegen regen daher an, dass in zukünftigen Untersuchungen Kennwerte verwendet werden sollten, die dafür geeignet sind Geräusche mit zufälligen temporalen Mustern abzubilden.

4. Veröffentlichungen (HDI)

Zum Projektstart gab es eine Pressemitteilung auf den Websites vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik und Holzbau Deutschland. Außerdem wurde vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik im März dieses Jahres bei der DAGA 2022 in Stuttgart ein Konferenzbeitrag über das Projekt gehalten, bei dem bereits erste Ergebnisse präsentiert wurden.

Aufgrund der fehlenden Ergebnisse wurde von der Veröffentlichung eines Leitfadens (in digitaler sowie gedruckter Form) über den INFORMATIONSDIENST HOLZ abgesehen. Ebenso muss die Präsentation auf Fachkonferenzen, Fachveranstaltungen zur Weiterbildung, internationalen Konferenzen im Wirtschaftsraum Europa, Rechtsinstitutionen und Normungsgremien zurückgestellt werden. Das Holzbau Deutschland Institut plant auf seiner neu überarbeiteten Website einen allgemeinen Beitrag zum Projekt.

ANHANG

Teilvorhaben 2218WK16A3

Bauphysikalische und psychoakustische Untersuchungen in Einfamilienhäusern

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Das IBP war für die bauakustischen und binauralen Feldmessungen der Decken mit Hilfe des Normhammerwerks, des japanischen Gummiballs und Gehern mit unterschiedlichem Schuhwerk zuständig. Zudem war das IBP zuständig für die Auswertung der Messdaten in Form der im Bericht beschriebenen Standard Messwerte, mit der Planung und Durchführung des Hörversuchs, sowie für die statistische Analyse des Hörversuches, mit deren Hilfe ein psychoakustisches Klassifikationssystem entwickelt werden sollte. Dieses Klassifikationssystem sollte dazu dienen, mit Hilfe der Bauakustischen Standard Messwerte die durch einen Geher ausgelöste subjektive Belästigung zu schätzen. Das IBP wertete außerdem die Feldbefragungen aus. Hierbei wurden die in dem hier vorgestellten Projekt erhobenen Daten mit Daten aus Vorprojekten integriert um eine höhere statistische Belastbarkeit zu gewährleisten.

Die Feldmessungen, der Hörversuch sowie die Datenanalyse wurden erfolgreich durchgeführt.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

AP01: Ermittlung des Standardfalls im Hochbau

Dieses Arbeitspaket wurde vom Projektpartner Holzbau Deutschland Institut durchgeführt.

AP02: Klassifikation der Decke bezüglich $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$

Im Arbeitspaket 1 sollten typische Holzdeckenaufbauten als Standardfälle festgelegt werden. Hauptverantwortlich war der Projektpartner Holzbau Deutschland Institut. Um typische Standardfälle für Holzdecken zu identifizieren, wurden von den Projektpartnern in Abstimmung mit dem Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (BDF), Deutscher Holzfertigbau-Verband e.V. (DHV), Gütegemeinschaft Holzbau Ausbau Dachbau E.V. (GHAD) und Praxisvertretern aus der projektbegleitenden Arbeitsgruppe unterschiedliche Aufbauten betrachtet. Dabei spielten der Bauteilkatalog des „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ des INFORMATIONSDIENST HOLZ, die Aufbautenübersicht von dataholz.eu und einzelne Aufbauten aus Prüfungen der ift Rosenheim und der Holz Forschung Austria sowie der Forschungsprojekte Silent Timber Build und AcuWood eine Rolle. Insgesamt wurden 44 Decken im Bereich von $30 \text{ dB} \leq L_{n,w} \leq 68 \text{ dB}$ ausgewählt. Es wurde festgelegt, dass Messungen von 5 verschiedenen Deckentypen durchgeführt werden sollen: Holzbalkendecken mit Nass- und Trockenestrich, Massivholzdecken mit Nass- und Trockenestrich und Holz-Beton-Verbunddecken.

AP03: Messungen, Aufnahmen und Befragungen vor Ort

16 Häuser wurden vom IBP akustisch vermessen. Nach Überprüfung der baulichen Verhältnisse sowie der Fremdgeräuschsituation wurde die Trittschalldämmung der Decke bestimmt. Als Anregungsquellen dienten dabei jeweils das Normhammerwerk, der japanische Gummiball und ein menschlicher Geher mit unterschiedlichem Schuhwerk (Straßenschuhe mit harten Sohlen (im Bericht genannt „Anzugschuhe“), Sportschuhe und mit Socken) sowie für jedes Schuhwerk einmal in normalem Schrittempo und einmal mit festgelegtem, schnellerem Schrittempo von 120 Schritten pro Minute. In jedem Gebäude wurden zwei Räume vermessen, um bei der späteren Auswahl der Signale für den Hörversuch über einen größeren Datensatz zu verfügen und beispielsweise Räume mit einer zu hohen Flankenübertragung ausschließen zu können. Alle Trittschallmessungen erfolgten durch Aufnahme der Signale mit nachträglicher Auswertung. Zusätzlich zur akustischen Vermessung, wurden in allen Räumen binaurale Kunstkopfaufnahmen für alle Anregungsarten mit zwei Kunstköpfen an unterschiedlichen Positionen im Raum (1x an „typischer“ Position, meistens in einer Raumecke, 1x in der Raummitte) angefertigt, die im Hörversuch verwendet werden. Messsituation und der Messaufbau für jedes vermessene Objekt wurden dokumentiert und in den Zwischenberichten ausführlich dargestellt. Anschließend wurden der Norm-Trittschallpegel (Messung mit Normhammerwerk), der maximale Standard-Trittschallpegel (Messung mit japanischem Gummiball) und der A-bewertete Standard-Schalldruckpegel (Messungen mit Geher) für jede Decke berechnet. Allen Bewohner/innen wurde ein im Rahmen des Projekts entwickelter Fragebogen online zur Verfügung gestellt, um die objektiven Messdaten sowie die Hörversuchsergebnisse mit der subjektiven Wahrnehmung der in den Häusern lebenden Personen in Bezug setzen zu können. Die binauralen Aufnahmen des Normhammerwerkes, des japanischen Gummiballs und des Gehers in Socken für alle Decken wurden im Hörversuch verwendet um die subjektive Lästigkeit und Lautheit zu bestimmen. Die Hörversuche wurden vom 22.11.2021 bis 03.12.2021 durchgeführt. Da die Geräusche z.T. hörschwelennah und damit sehr leise waren, wurden die Probanden unter kontrollierten akustischen Bedingungen im Fahrzeugprüfstand des Fraunhofer IBP getestet. Dieser Raum ist ein Halbfreifeldraum mit niedrigem Grundgeräuschpegel. Des Weiteren erlaubte die Raumgröße einen großen Abstand zwischen den Probanden sowie die verbaute Abgasabsaugung einen kompletten Raumluftaustausch zwischen den Testungen. Damit wurde gewährleistet, dass ein geringes Infektionsrisiko der Probanden

bestand. Zur Corona-konformen Studiendurchführung wurde ein Hygienekonzept erarbeitet und mit dem Krisenstab des Fraunhofer IBP abgestimmt.

AP04: Entwicklung psychoakustischer Schallschutzklassen

Ziel des Hörversuches war es zu evaluieren, ob sich subjektive Lästigkeitsbewertungen der Trittschallgeräusche mit den bauakustischen Messungen in Verbindung setzen lassen. Dies sollte genutzt werden, um ein Klassifikationssystem zu entwickeln mit dessen Hilfe die subjektive Lästigkeit durch einen Geher in Socken über die bauakustischen Standard Messwerte der Standard Schallquellen bestimmt werden kann. Um mit der Hilfe der bauakustischen Messwerte (Normhammerwerk oder Japanischem Gummiball) Aussagen zur Lästigkeitsempfindung von Gehgeräuschen treffen zu können, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

- 1) die subjektive Lästigkeit muss durch die bauakustischen Messwerte approximierbar sein. Dies bedeutet, es sollte einen hohen Zusammenhang zwischen dem bauakustischen Messwert einer Decke und der Lästigkeitsbewertung einer Decke für dieselbe Anregungsart geben.
- 2) Gehgeräusche müssen durch Normhammerwerk oder Japanischen Gummiball approximierbar sein. Dies bedeutet, dass es einen hohen Zusammenhang zwischen der durch ein Normhammerwerk oder einen Japanischen Gummiball ausgelösten Lästigkeit und der durch einen Geher ausgelösten Lästigkeit für die selbe Decke geben sollte.

Des Weiteren sollten die bauakustischen Messwerte derselben Decke für Normhammerwerk oder Japanischen Gummiball und Geher einen hohen Zusammenhang aufweisen.

All diese Bedingungen wurden vom IBP im Laufe der statistischen Analyse geprüft. Zudem wurden alternative Messwerte entwickelt und geprüft und die Felddaten in die Analyse einbezogen.

AP05: Dokumentation und Zusammenführung der Ergebnisse mit Forschungsergebnissen aus dem Mehrfamilienhausbau

Die Ergebnisse wurden in Form eines Konferenzpapers, sowie in Form der Zwischenberichte und des Abschlussberichtes und mehrere projektinterner Power Point Präsentationen dokumentiert.

AP06: Wissenstransfer

Da kein Klassifikationssystem erstellt werden konnte, wurde kein Leitfaden erstellt.

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Im Laufe der Datenanalyse zeigte sich, dass die Standard Messwerte keine zufriedenstellende Passung mit der empfundenen Lästigkeit hatten. Eine erste Analyse deutete darauf hin, dass die Standard Messwerte wichtige spektrale Unterschiede, die die subjektive Lästigkeit beeinflussen nicht ausreichend abbilden. Daraufhin entwickelte das IBP einen neuen Messwert (WLE), der die spektralen Unterschiede besser repräsentierte, zudem wurden alternative Messwerte wie der $L_{AF,max}$ in Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. A. Rabold und Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt geprüft. Es zeigte sich, dass die Passung zwischen Messwert und Lästigkeit verbessert werden konnte. Zudem zeigte sich ein klarer Zusammenhang zwischen dem $L_{AF,max}$ einer Schallquelle und der geschätzten Langzeitbelästigung derselben Schallquelle. Es gab jedoch keine gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten/Lästigkeit der Standardschallquellen und dem Messwert/Lästigkeit für den Geher. Daraus ließ sich ableiten, dass zukünftige Studien und Projekte ihr Hauptaugenmerk auf die Herstellung einer besseren Passung zwischen Standard Schallquellen und Alltagsgeräuschen legen sollten. Mögliche Ansätze sind hier die Nutzung eines kombinierten Maßes für die Alltagsgeräusche (bestehen beispielsweise aus Gehgeräuschen, Stühle rücken, etc.) oder die Entwicklung neuer Standard Messungen, die eine bessere Passung mit Alltagsgeräuschen aufweisen. Gerade für das Normhammerwerk ist schon aus vorherigen Studien bekannt, dass dieses Gehgeräusche nur unzureichend approximieren kann. Eine weitere wichtige Erkenntnis des Teilvorhabens war die große Streuung und nicht-Normalverteilung der Lästigkeitsdaten. Eine Neuanalyse vorheriger Projektdaten zeigte, dass dies nicht nur im aktuellen Projekt, sondern auch in vorherigen Projekten der Fall war. Dies lässt darauf schließen, dass der oftmals in Studien verwendete Mittelwert der Lästigkeitsbewertungen keine gute Repräsentation der Gruppendaten darstellt. In zukünftigen Studien sollten daher Mixed Models zum Einsatz kommen, die individuellen Unterschiede einbeziehen können. Die Feldstudien zeigen, dass Unterschiede in Bezug auf die Wohnsituation eine Rolle bei der Zufriedenheit mit dem akustischen Komfort spielen können. Zukünftige Studien sind nötig um genauer herauszuarbeiten, welche genauen Zusammenhänge es zwischen unterschiedlichen individuellen Variablen und dem Lästigkeitsempfinden gibt. Eine solche Studie ist vom Fraunhofer Institut für Bauphysik bereits geplant und öffentlich beantragt. Hier soll es eine detailliertere Betrachtung des Einflusses individueller Unterschiede auf das Lästigkeitsempfinden von Trittschall in Holzbauten geben. Der Start des Projektes ist für 2023 geplant und soll ca. 2025 abgeschlossen sein. Ziel ist es herauszufinden, ob sich die Belästigung durch Trittschall in Massiv- und Holzbauten im Feld tatsächlich unterscheidet. Die im aktuellen Projekt erhobenen Felddaten weisen darauf hin, dass Bewohnende von Holzbauten in der Mehrheit zufrieden mit dem akustischen Komfort sind, wobei sich ein Zusammenhang zwischen der empfundenen Wichtigkeit des Themas Akustik und der Zufriedenheit ergab.

Teilvorhaben 2218WK16B3

Publikation eines Leitfadens zur Klassifikation von Deckenkonstruktionen basierend auf Messungen und Probandenbefragungen

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sollten vom Holzbau Deutschland Institut in einem Leitfaden zusammengefasst und der Fachöffentlichkeit innerhalb einer Schriftenreihe über das Format INFORMATIONSDIENST HOLZ in einem Umfang von ca. 8 Seiten in leicht verständlicher und selbsterklärender Form kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Die Publikation war hauptsächlich in digitaler Form angedacht, für den individuellen Bedarfsfall sollte es aber auch eine begrenzte gedruckte Auflage geben.

Downloadmöglichkeiten wären über die Internetplattformen der Verbände des Holzbaus in Deutschland, über den INFORMATIONSDIENST HOLZ (www.informationsdienst-holz.de) sowie der Holzbaufachberatung (www.informationsdienst-holz.de/fachberatung-auskunftservice-holzbau) bereitgestellt worden.

Zur Erreichung dieses Ziels wurden Standardfälle identifiziert und klassifiziert, ein Bauteilkatalog mit Prüfaufbauten festgelegt, passende Messobjekte akquiriert sowie Unterstützung bei der Organisation und Nachbereitung der Messtermine geleistet. Außerdem hat das Holzbau Deutschland Institut in Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt und Prof. Dr.-Ing. A. Rabold dem Projektpartner Fraunhofer-Institut für Bauphysik im Rahmen der Vorarbeit zum Leitfaden geholfen, diverse Möglichkeiten zur Verbesserung der statistischen Datenlage zu überprüfen. Trotzdem konnte keine ausreichende statistische Aussagekraft erreicht werden, sodass AP06 (Erarbeitung + Publikation eines Leitfadens) nicht abgeschlossen werden konnte.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

AP01: Ermittlung des Standardfalls im Hochbau

Der Antragsteller Holzbau Deutschland Institut hat, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und in Zusammenarbeit mit den wichtigen Holzbau-Verbänden sowie unter Nutzung von wissenschaftlicher und praktischer Expertise, das Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) über den INFORMATIONSDIENST HOLZ herausgebracht. Diese verständlich aufgearbeitete Schrift beinhaltet u.a. einen zur DIN 4109-33 erweiterten Bauteilkatalog sowie neu festgelegte Schallschutz-Niveaus, die in ihren Zielwerten abweichend zur DIN 4109-1 auch die sogenannten tiefen Frequenzen im Bereich von 50 Hz bis 100 Hz berücksichtigen.

Im Arbeitspaket 1 sollten typische Holzdeckenaufbauten als Standardfälle festgelegt werden. Es bot sich daher an, einen Großteil der Standardfälle aus dem Schallschutz-Handbuch zu entnehmen. Des Weiteren wurden praxistaugliche Bauteile aus dem digitalen Bauteilkatalog der Internetplattform dataholz.eu sowie Prüfaufbauten des ift Rosenheim und der Holzforschung Austria verwendet. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik als Projektpartner hatte in vorherigen Forschungsprojekten (AcuWood und Silent Timber Build) bereits Erfahrungen mit einigen Holzdecken gemacht, sodass diese ebenfalls integriert wurden.

Zusammen mit den beteiligten Holzbau-Verbänden (BDF, DHV, GHAD) und der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurden so 44 Standardaufbauten charakterisiert, die sich über typische Konstruktionsarten (Holzbalkendecken mit Nass-/Trockenestrich, Massivholzdecken mit Nass-/Trockenestrich und Holz-Beton-Verbunddecken) und Qualitätsniveaus erstreckten.

AP02: Klassifikation der Decke bezüglich $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$

Für die festgelegten 44 Standardfälle waren in der Regel die $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ Werte aus den zugehörigen Dokumentationen oder Prüfungen in der Regel vorhanden, eine grobe Abschätzung der zu erwartenden $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ Werte war ohne weiteres möglich.

Um aus den 44 Standardaufbauten die erforderlichen 16 Messobjekte ermitteln zu können, hat das Holzbau Deutschland Institut eine Online-Befragung erstellt, in der für jeden Aufbau einzeln abgefragt wurde, ob dieser von dem ausfüllenden Betrieb schon mal in einem Bauvorhaben umgesetzt wurde. Über die mitwirkenden Verbände wurde diese Umfrage unter den Holzbauunternehmen verteilt. Die Auswertung der Ergebnisse gab Auskunft über die Häufigkeit der Anwendung der Deckenaufbauten in der Praxis. Außerdem wurde bei der Auswahl darauf geachtet eine gute Streuung der akustischen Deckenqualität abzubilden und eine möglichst gleichmäßige Aufteilung innerhalb der Deckentypen und der klassifizierten Schallschutzniveaus gemäß dem Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) zu gewährleisten. Der von den Projektpartnern, Holzbauverbänden und der Arbeitsgruppe entsprechend dieser Kriterien ausgewählte Bauteilkatalog mit 16 Deckenaufbauten ist unter II.1.2 zu finden.

AP03: Messungen, Aufnahmen und Befragungen vor Ort

Die Aufgabe des Holzbau Deutschland Instituts lag schwerpunktmäßig im Auffinden der passenden Messobjekte, in der Kommunikation mit Betrieben und Probanden sowie der Organisation der Messtermine. Dafür wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik ein Informationsschreiben sowie eine Einverständniserklärung für die Teilnehmer erarbeitet.

Aus den bereits erwähnten Gründen reichten die Rückmeldungen aus der in AP 2 geführten Umfrage nicht aus, um die benötigte Datenbasis für die Entwicklung eines aussagekräftigen Prognoseverfahrens komplett abzudecken, sodass vom eingangs festgelegten Bauteilkatalog abgewichen werden musste. Durch die erneute Unterstützung der Verbände und Praxisvertreter konnten aber auch die passenden Referenzbauten zur Abdeckung der noch fehlenden Trittschalldämmwerte gefunden werden, siehe II.1.3. Allerdings haben die Auswirkungen der Corona-Pandemie dazu geführt, dass sich das Akquirieren von Messobjekten und die Vereinbarung sowie Durchführung von Messterminen deutlich schwieriger darstellte, als ursprünglich gedacht, sodass die Messungen nicht wie geplant im Januar 2021, sondern erst im Juli 2021 abgeschlossen werden konnten. Dieser Zeitverzug wurde mit einer beantragten und genehmigten kostenneutralen Verlängerung abgedeckt.

Nach den Messungen hat das Holzbau Deutschland Institut die Verteilung der ausgewerteten Norm-Trittschallpegel an die jeweiligen Bauherren bzw. Betriebe übernommen, die diesen als Gegenleistung für die Teilnahme am Forschungsprojekt zugesagt war.

Des Weiteren unterstützte das Holzbau Deutschland Institut das Fraunhofer-Institut für Bauphysik bei der Organisation, Koordination und Kommunikation mit den Bewohnern, die zum einen die 500 €-Pauschale für die Bereitstellung ihres Wohnraumes für die Messungen ausgezahlt bekommen mussten und außerdem den Fragebogen für die Felduntersuchungen ausfüllen sollten.

AP04: Entwicklung psychoakustischer Schallschutzklassen

AP04 ist kein Teil des Teilvorhabens 2, sondern wurde vom Projektpartner Fraunhofer-Institut für Bauphysik durchgeführt. Leider konnte anhand der vorhandenen Daten kein psychoakustisches Klassifizierungssystem abgeleitet werden.

AP05: Dokumentation und Zusammenführung der Ergebnisse mit Forschungsergebnissen aus dem Mehrfamilienhausbau

Das Holzbau Deutschland Institut koordinierte die Prüfung weiterer Auswertungsstrategien für die ermittelten Daten durch den Projektpartner, Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Bauphysik A. Blödt und Prof. Dr.-Ing. A. Rabold. Trotz aller Bemühungen konnte das bereits vorhandene, vom Holzbau Deutschland Institut über den Informationsdienst Holz im Praxishandbuch „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) veröffentlichte Klassifizierungssystem für Holzbauteile in Mehrfamilienhäusern durch die Ergebnisse der Hörversuche und Bewohnerbefragungen auf psychoakustischer Ebene weder belegt noch verbessert werden. Lediglich der Zusammenhang von $L_{AF,max,n}$ und der subjektiven Lästigkeitsbewertung war mit den Messergebnissen nachweisbar.

Auch die Option der Einbeziehung der Datensätze von anderen Projekten konnte nicht zur Beantwortung der eigentlichen Forschungsfrage beitragen und musste verworfen werden.

AP06: Wissenstransfer

Ohne validierte Ergebnisse konnte kein Leitfaden erstellt werden. Stattdessen werden im Folgenden Empfehlungen für die zukünftige Herangehensweise zur Entwicklung eines praxisrelevanten Klassensystems für Deckenbauteile in Holzbauweise abgeleitet und Möglichkeiten für weiterführende Forschungsansätze beschrieben.

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Das Holzbau Deutschland Institut war beim beschriebenen Projekt hauptverantwortlich für die Arbeitspakete AP01, AP02 sowie AP06 und an AP03 maßgeblich beteiligt.

In Zusammenarbeit mit der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurden typische Standardfälle für Deckenaufbauten in Holzbauweise identifiziert, 16 Messobjekte ausfindig gemacht sowie die Messtermine vorbereitet und vereinbart, sodass das Fraunhofer-Institut für Bauphysik seine Messungen durchführen sowie Aufzeichnungen für die anschließenden Hörversuche vornehmen konnte. AP01 bis AP03 wurden damit erfolgreich abgeschlossen.

In AP05 wurde zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik versucht, mit den eigenen Datensätzen durch die Prüfung von alternativen Auswerteverfahren sowie durch Einbeziehung von verfügbaren Ergebnissen von Vorgängerprojekten, doch noch ein Klassifikationssystem zu entwickeln.

Da dies scheiterte, konnte AP06 nicht umgesetzt werden. Durch den Wissenstransfer in AP06 sollten Planer und ausführende Unternehmen zukünftig bei der Planung und Herstellung eines fachgerechten baulichen Schallschutzes unter Berücksichtigung der akustischen Besonderheiten unterstützt und eine höhere Planungs- und Ausführungssicherheit, eine Qualitätsverbesserung sowie Kosten- und Rechtssicherheit erreicht werden. Die Veröffentlichung war somit auch als ein Beitrag zur Vertrauensförderung sowie zum verstärkten Einsatz der Holzbauweise in Sinne der Nachhaltigkeit angedacht.

Da für das Holzbau Deutschland Institut der Zusammenhang zwischen der technischen Messgröße $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ und der subjektiven Lästigkeitsbewertung durch wiederholte Erprobung in der Praxis, u.a. auch in Verbindung mit der Anwendung des in der Schriftenreihe „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und

Vorbemessung“ des INFORMATIONSDIENST HOLZ veröffentlichten Klassensystems, außer Frage steht, werden die geplanten Inhalte des Leitfadens mit eigenen Projekten weiterverfolgt.

Eine mögliche Begründung für die fehlende Nachweisbarkeit des Zusammenhanges in diesem Projekt, könnte eine zu große Anzahl von „Ausreißerdaten“ sein. Trotz entsprechender Vorkehrungen und Messwiederholungen konnten bei den Feldversuchen nicht alle Fremdgeräusche (z.B. Vogelgezwitscher oder haustechnische Anlagen) vermieden werden. Auch wenn grob verunreinigte Messdaten und Aufnahmen vor den Hörversuchen aussortiert wurden, konnte das Problem aus Sicht des Holzbau Deutschland Instituts nicht in Gänze behoben werden. Wie unter II.1.4.3.2 berichtet, zeigten sich nach Auswertung der Hörversuchsergebnisse bei genauerer Betrachtung der Frequenzspektren besonders in den „lauten“ mittleren und hohen Frequenzbereichen zusätzlich zu den zu erwartenden spektralen Unterschieden noch Diskrepanzen, die auf den Einfluss von weiteren Störgeräuschen hindeuten. Dies hat zur Folge, dass teilweise die Probanden unterbewusst nicht die eigentliche Anregungsart, sondern das präsentere Störgeräusch in der Lästigkeit bzw. Lautheit bewertet haben. Dies würde die geringen Korrelationen erklären.

Die verfälschte Hörwahrnehmung wurde vermutlich noch dadurch begünstigt, dass beim Hörversuch alle Anregungsarten untereinander vermischt, also randomisiert abgespielt wurden. Beim direkten Aufeinanderfolgen der direkten Anregung eines Normhammerwerkes zu einem Geher auf Socken wurde die qualitativ hochwertige Decke trotzdem als laut und störend und die verhältnismäßig schlechtere Decke als leise und erträglich bewertet. Dies lässt darauf schließen, dass in der Untersuchung eher die Schallquellen als die eigentlichen konstruktiven Deckenaufbauten verglichen wurden.

Zusätzlich könnte möglicherweise auch eine verringerte Anzahl von Hörbeispielen und die räumliche Trennung der Versuchspersonen die Aufrechterhaltung der Konzentrationsfähigkeit der Probanden über die gesamte Hörversuchsdauer erleichtern.

Mit den aus diesem Projekt gewonnen Erkenntnissen plant das Holzbau Deutschland Institut das bestehende Klassifizierungssystem der Schriftenreihe „Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung“ (Blödt & Rabold, 2019) durch weitere Versuchsreihen psychoakustisch zu validieren.

Literaturverzeichnis

- Bakdash, J. Z., & Marusich, L. R. (2017). Repeated measures correlation. *Frontiers in psychology*, 8, 456.
- Blödt, A. & Rabold, A. (2019). Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung. Holzbau Deutschland Institut. INFORMATIONSDIENST HOLZ
- Coguenanff, C., Guigou-Carter, C., Späh, M. (2017). Lightweight Floor: Step by Step Comparisons between Measured and Simulated Quantities. ICSV24. London.
- da Silva Panosso, A., & Paul, S. (2022). Subjective evaluation of floor impact noise using the tapping machine and a non-standardized source. *Acta Scientiarum. Technology*, 44, e59025-e59025.
- Frescura, A., & Lee, P. J. (2020, December). Affective reactions to neighbour's sounds in wooden dwellings. In *Forum Acusticum* (pp. 509-515).
- Frescura, A., & Lee, P. J. (2020, December). Affective reactions to neighbour's sounds in wooden dwellings. In *Forum Acusticum* (pp. 509-515).
- Hagberg, K. G. (2010). Evaluating Field Measurements of Impact Sound. *Building Acoustics* 17(2), 105–128.
- Hongisto, V., Virjonen, P., Maula, H., Saarinen, P., & Radun, J. (2020). Impact sound insulation of floating floors: A psychoacoustic experiment linking standard objective rating and subjective perception. *Building and Environment*, 184, 107225.
- Kim, S., Kim, J., Lee, S., Song, H., Song, M., & Ryu, J. (2022). Effect of temporal pattern of impact sound on annoyance: Children's impact sounds on the floor. *Building and Environment*, 208, 108609.
- Lang, J (2009). Zur Erweiterung des bauakustischen Frequenzbereichs bis 50 Hz. *WKSB* 62, 19–32.
- Liebl, A., Späh, M., Weber, L., Leistner, P. (2014). *AcuWood: Korrelation der subjektiven und objektiven Bewertung von Trittschall in Wohngebäuden*. Oldenburg. DAGA.
- Liebl, A., Späh, M., Bartlomé, O., & Kittel, M. (2014, October). Comparison of the results of a laboratory experiment and a field study with regard to acoustic quality in wooden buildings and recommendations for classification of acoustic quality. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 249, No. 2, pp. 5462-5466). Institute of Noise Control Engineering.
- Ljunggren, F. (2022). Sound insulation, residents' satisfaction, and design of wooden residential buildings. *Proceedings of the EUROREGIO BNAM*.
- Müller-Trapet, M., Möller, K., Choi, Y. J., & Zeitler, B. (2020, October). A subjective study of source types and rating methods for impact sounds in buildings. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 261, No. 5, pp. 1233-1240). Institute of Noise Control Engineering.
- Park, S. H., Lee, P. J., Yang, K. S., & Kim, K. W. (2016). Relationships between non-acoustic factors and subjective reactions to floor impact noise in apartment buildings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), 1158-1167.
- Rabold, A. (2020). Planungs- und Nachweisverfahren von Holzdecken unter Berücksichtigung der tieffrequenten Trittschallübertragung. Hannover. Tagungsbeitrag DAGA.
- Rasmussen, B. (2010). Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics* 71(4), 373– 385.
- Silent Timber Build. 4th Joint Call of WoodWisdomNet Research Programme. <http://silent-timber-build.com/>
- Spiess, A. N., & Neumeyer, N. (2010). An evaluation of R2 as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BMC pharmacology*, 10(1), 1-11.
- Späh, M.; Liebl, A.; Weber, L.; Leistner, P. (2013). Correlation between subjective and objective parameters of impact noise sources in wooden buildings. *Internoise*. Innsbruck.
- Späh, M., Liebl, A., & Leistner, P. (2014). Acoustics in wooden buildings–Correlation analysis of subjective and objective parameters: *AcuWood Report 4*.
- Späh, M., Liebl, A., & Leistner, P. (2014). Acoustics in wooden buildings–Evaluation of acoustic quality in wooden buildings: Listening tests and questionnaire field study.
- Vardaxis, N. G., & Bard, D. (2018). Review of acoustic comfort evaluation in dwellings: Part II - Impact sound data associated with subjective responses in laboratory tests. *Building Acoustics*, 25(2), 171-192.

DEGA Empfehlung 103 Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis (2009). Deutsche Gesellschaft für Akustik DEGA.

DIN 1320:2009-12: Akustik - Begriffe. Beuth Verlag GmbH.

DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen. Beuth Verlag GmbH.

DIN 4109-2:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen. Beuth Verlag GmbH.

DIN 4109-5:2020-08 Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen. Beuth Verlag GmbH.

DIN 4109-33:2016-04 Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Holz-, Leicht- und Trockenbau. Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 717-2:2021-05 Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung. Beuth Verlag GmbH.

VDI 4100: Schallschutz im Hochbau Wohnungen (2012). Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz.