

F 2918

Mark Koehler, Lutz Weber, Moritz Späh

Trittschallminderung von austauschbaren Bodenbelägen

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9302-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht B-BA 1/2013

Trittschallminderung von austauschbaren Bodenbelägen

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: II 3-F20-11-1-031 / SWD-10.08.18.7-12.20)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

Der Bericht umfasst

87 Seiten Text

22 Tabellen

42 Abbildungen

M. BP. Dipl.-Ing (FH) Mark Koehler

Dr. Lutz Weber

Dr. Moritz Späh

Stuttgart, 23. Mai 2014

Institutsleiter

Abteilungsleiter

Bearbeiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Klaus Sedlbauer

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Philip Leistner

M.BP. Dipl.-Ing (FH)
Mark Koehler

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Problemstellung	5
1.2	Ziel des Projekts	6
2	Grundlagen	7
2.1	Akustische Grundlagen	7
2.1.1	Schallübertragung und Messverfahren	7
2.1.2	Einzahlangaben	10
2.2	Psychoakustische Grundlagen	11
3	Vorgehensweise	13
3.1	Wirkung von Bodenbelägen auf verschiedenen Decken nach Norm	13
3.2	Wirkung von Bodenbelägen bei verschiedenen Trittschallquellen	13
4	Voruntersuchungen	14
4.1	Literaturrecherche	14
4.2	Einfluss der Größe der Prüffläche	14
4.2.1	Messergebnisse	16
4.3	Position der Estrichplatte auf der Rohdecke	18
4.4	Ergebnisse und Folgerungen	19
5	Messergebnisse nach Norm	21
5.1	Estriche auf der Rohdecke	21
5.2	Bodenbeläge auf der Rohdecke	25
5.3	Bodenbeläge auf Estrichen	29
5.3.1	Estrich 1	29
5.3.2	Estrich 2	31
5.3.3	Estrich 3	32
5.3.4	Estrich 4	32
5.3.5	Diskussion der Messergebnisse	32
5.3.6	Korrelation der Messergebnisse	42
5.4	Modell zur Beschreibung der Wirkung von Bodenbelägen	44
6	Messergebnisse bei verschiedenen Trittschallquellen	46
6.1	Verwendete Trittschallquellen:	46
6.2	Estriche	51
6.3	Bodenbeläge	53
6.3.1	Diskussion der Ergebnisse	61

6.4	Vergleich bei Verwendung verschiedener Beurteilungsgrößen	64
7	Psychoakustische Analysen	67
7.1	Vorgehensweise	67
7.2	Ergebnisse und Diskussion	69
7.3	Gegenüberstellung von bauakustischen und psychoakustischen Ergebnissen	76
8	Zusammenfassung	83
9	Ausblick	85
10	Literaturverzeichnis	86

1 Einleitung

Der Trittschallschutz im Hochbau gibt immer wieder Anlass zu Beschwerden und Klagen. Dies liegt daran, dass die derzeitigen Mess- und Bewertungsverfahren für die Trittschalldämmung nur unzureichend mit dem Höreindruck der Bewohner korrelieren.

Zur Erfüllung der Mindestanforderungen an den Trittschallschutz nach der derzeit gültigen DIN 4109:1989-11 [3] sind weich federnde Bodenbeläge nicht anrechenbar. Dagegen dürfen weich federnde Bodenbeläge für den Nachweis der Vorschläge für den erhöhten Schallschutz nach Beiblatt 2 der DIN 4109 [3] angerechnet werden. Bei vielen Bodenauflagen, wie z. B. lose verlegtem Laminat oder Parkett, ist allerdings selbst unter Fachleuten unklar, ob es sich dabei um weich federnde Beläge im Sinne der Norm handelt (siehe DEGA-Umfrage "Was ist ein weichfedernder Bodenbelag" mit Auswertung vom Februar 2011 [9]). Da das geforderte Trittschallniveau inzwischen oft die Vorschläge für den erhöhten Schallschutz erreicht (Komfortwohnungen), besteht Unsicherheit über die Anrechenbarkeit solcher Bodenbeläge. Diese Unsicherheit resultiert nicht zuletzt daraus, dass die trittschallmindernde Wirkung der Bodenbeläge nach Norm im Labor auf einer „Rohdecke“ ermittelt wird, welche so am Bau praktisch nicht zum Einsatz kommt. In der Baupraxis ist aufgrund der Anforderungen an den Trittschall nach DIN 4109 zumeist ein schwimmender Estrich Bestandteil des Rohbaus. Aus diesem Grund werden die angenommenen Verbesserungsmaße in der Praxis nicht erreicht.

Abgesehen von dieser Problematik werden in zunehmendem Maße auch Bodenbeläge eingesetzt, die aus einer fertig verlegten Tragschicht mit einer darunter angeordneten, mehr oder weniger weichen Ausgleichsschicht bestehen. Für diese harten Bodenbeläge, wie Fertigparkett und Laminat in Kombination mit der entsprechenden Unterlage, werden nach dem zurzeit gültigen Messverfahren hohe Verbesserungsmaße festgestellt, die in der Praxis nicht oder nur stark abgeschwächt auftreten. Hier kommt es vermehrt zu Beschwerden.

Im Zuge der Neufassung der DIN 4109 ist noch nicht klar, ob austauschbare Bodenbeläge zukünftig bei der Bemessung des Trittschalls mit angerechnet werden dürfen. Sicher ist aber, dass die Anforderungen der Nutzer an den Trittschallschutz tendenziell ansteigen und dass mit höheren Qualitätsanforderungen auch im privaten Bereich zu rechnen ist. Daher ist es äußerst wichtig, realitätsnahe Angaben zur Trittschallverbesserung von austauschbaren Bodenbelägen machen zu können, die auch im Bau Bestand haben.

Neben der richtigen Kennzeichnung von Produkten ist auch die Produktentwicklung eine wichtige Thematik. Im Bereich der austauschbaren Bodenbeläge mit und ohne Zwischenlagen ist inzwischen eine Vielzahl von Produkten auf dem Markt. Dabei ist die Oberflächengestaltung inzwischen soweit fortgeschritten, dass andere Eigenschaften wie die Trittschallverbesserung eine entscheidende Wichtigkeit erreicht hat. Hier werden kontinuierlich Anstrengungen der Industrie unternommen, das Trittschall-Verbesserungsmaß der Bodensysteme zu optimieren. Allerdings sind diese Verbesserungen oftmals nicht auf die Ausführung im Bau zu übertragen, so dass diese Anstrengungen zumindest teilweise wirkungslos bleiben.

Daher ist es unabdingbar, in naher Zukunft bessere Trittschall-Prüfmethoden und -Kriterien zu entwickeln, deren Ergebnisse vom Labor in die Praxis übertragbar sind. Nur dann kann die Industrie das Entwicklungspotenzial ihrer Produkte voll ausschöpfen und Produkte entwickeln, die tatsächlich die Trittschallübertragung im Bau reduzieren.

Darüber hinaus gibt es im Hinblick auf die Wirkung von Bodenbelägen so gut wie keine Untersuchungen, wie die technisch ermittelten und am Bau geschuldeten Werte mit dem tatsächlichen Höreindruck von Nutzern übereinstimmen. Die empfundene Störwirkung von Geräuschen hängt im Allgemeinen nicht allein vom Schalldruckpegel ab. Aus diesem Grund ist es für die Entwicklung von verbesserten Bewertungskriterien essentiell, dass neben der Lautheit auch die Lästigkeit verschiedener Trittschallgeräusche untersucht und bewertet wird.

1.1 Problemstellung

In der internationalen Normung wird die Trittschalldämmung von Decken und die Verbesserung der Trittschalldämmung von Bodenbelägen auf Decken im Prüfstand nach den Messverfahren aus DIN EN ISO 10140 [4] ermittelt. Grundlage ist dabei ein Prüfstand mit einer ca. 140 mm dicken Stahlbetondecke für den Massivbau, bzw. verschiedenen Holzbalken-Deckenkonstruktionen für den Leichtbau als sogenannte Rohdecke, auf welche die zu prüfenden Bodenaufbauten aufgebracht werden. Ausgehend vom dem durch das Norm-Trittschallhammerwerk erzeugten Geräusch, wird der Trittschallpegel im Empfangsraum gemessen. Die Verbesserung der Trittschalldämmung ergibt sich dann aus dem Unterschied der Messung mit und ohne Bodenbelag.

Das Hauptproblem resultiert aus der Tatsache, dass die Anforderungen an den Trittschallpegel aus DIN 4109 [3] dazu führen, dass die Verlegung von Bodenbelägen am Bau in der Regel auf einer Decke mit schwimmendem Estrich erfolgt. Da der schwimmende Estrich selbst schon eine hohe Trittschallminderung aufweist, fällt die trittschallmindernde Wirkung von Bodenbelägen am Bau deutlich niedriger aus, als im Labor nach Norm ermittelt.

Das für normgerechte Trittschallmessungen eingesetzte Norm-Trittschallhammerwerk hat messtechnische Vorteile bei der Reproduzierbarkeit und eine relativ gleichmäßige spektrale Pegelverteilung. Das Anregespektrum stimmt aber mit vielen realen Wohn- und Trittschallgeräuschen nicht überein. Diese sind in ihrem Spektrum deutlich tieffrequenter und besitzen wesentliche Geräuschanteile unterhalb 100 Hz, die im bewerteten Trittschall-Verbesserungsmaß nicht berücksichtigt werden. Abhilfe könnte die Verwendung des Norm-Trittschallpegels mit Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswerts „ $L_{n,w} + C_{1, 50-2500}$ “ nach DIN EN ISO 717-2 [5] schaffen. In DIN 4109 [3] und auch in den Entwürfen für die Neufassung dieser Norm ist die Berücksichtigung von Spektrum-Anpassungswerten jedoch nicht vorgesehen.

1.2 Ziel des Projekts

Ausgehend vom heutigen Stand der Prüfungs- und Nachweisverfahren soll das Forschungsvorhaben die Realitätsnähe der genormten und vorgeschlagenen Kriterien zur Beurteilung der Trittschallverbesserung von Deckenkonstruktionen mit Bodenbelägen untersuchen. Daraus sollen Bewertungskriterien benannt werden, die die Wirksamkeit von Bodenbelägen zur Verminderung der Trittschallübertragung praxisgerecht beschreiben. Zum einen werden damit Anwender in der Lage sein, die Wirksamkeit dieser Produkte im Bau deutlich besser zu beurteilen, zum anderen wird die Unsicherheit der Planer bezüglich der realen Trittschallverbesserung von Produkten im Bau deutlich reduziert.

Als zweiter wichtiger Nutzen wird die Produktentwicklung der Firmen deutlich gestärkt. Bis heute orientiert sich die Produktentwicklung von austauschbaren Bodenbelägen an der genormten Trittschallminderung. Da dieses aber in der Regel nicht auf den Bau übertragbar ist, läuft die Produktentwicklung, zumindest teilweise, ins Leere. Große Aufwendungen werden getroffen, die bei der Umsetzung in der Praxis nur zu kleinen oder gar keinen Verbesserungen führen. Eine realitätsnahe Kennzeichnung ermöglicht dagegen eine Produktentwicklung, die auch in der Praxis zu wirksamen Trittschallminderungen führt.

2 Grundlagen

2.1 Akustische Grundlagen

2.1.1 Schallübertragung und Messverfahren

Im baulichen Schallschutz wird zwischen verschiedenen Mechanismen bei der Schallübertragung unterschieden. Die Unterschiede liegen in der Anregung, Ausbreitung und Wirkung der Geräusche.

2.1.1.1. Luftschallübertragung

Wird in einem Raum Schall zum Beispiel durch einen Lautsprecher erzeugt, regt diese Schallenergie die den sogenannten „Senderraum“ begrenzenden Bauteile zu Schwingungen an. Diese schwingenden Bauteile strahlen nun ihrerseits wiederum Schallenergie in benachbarte „Empfangsräume“ ab. Die frequenzabhängige Luftschallübertragung zwischen Räumen kann nach DIN EN ISO 10140-2 [4] messtechnisch ermittelt und als Schalldämm-Maß R [dB] eines Trennbauteils angegeben werden.

2.1.1.2. Trittschallübertragung

Beim Trittschall wird die Deckenkonstruktion im Senderraum durch Körperschall zum Schwingen angeregt und strahlt dadurch Luftschall ab. Die Schallquelle kann hierbei z.B. ein auftretender Fuß, ein über den Boden geschobener Stuhl, oder das Norm-Trittschallhammerwerk (Normhammerwerk) sein. Gemessen wird der Norm-Trittschallpegel nach DIN EN ISO 10140-3 [4]. Dieser entspricht dem gemessenen Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Anregung mit dem Normhammerwerk im Senderraum zuzüglich einer nachhallzeitbezogenen Korrektur. Der Trittschallpegel ist ebenfalls frequenzabhängig und lässt sich nach folgender Formel ermitteln:

$$L_N = L_i + 10 \lg \left(\frac{A_E}{A_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

mit A_E : äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum [m²]
 A_0 : Bezugsfläche $A_0 = 10 \text{ m}^2$ [m²]

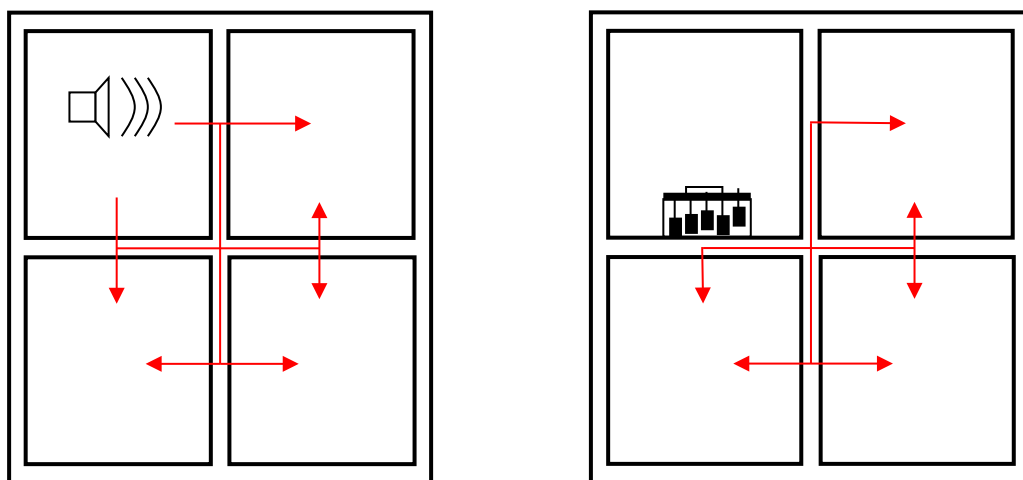


Bild 1: Schema Luftschallübertragung (links) und Trittschallübertragung (rechts)

2.1.1.3. Trittschallminderung

Die Trittschallminderung gibt an, um wie viel sich der Trittschallpegel einer Rohdecke durch Aufbringen eines Bodenbelags verbessert. Nach DIN EN ISO 10140-1 [4] ergibt sich die frequenzabhängige Trittschallminderung als Differenz der gemessenen Trittschallpegel mit und ohne Belag:

$$\Delta L = L_{n,0} - L_{n,1} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

mit $L_{n,0}$: Norm-Trittschallpegel der Rohdecke [dB]
 $L_{n,1}$: Norm-Trittschallpegel der Decke mit Belag [dB]

2.1.1.4. Nachhallzeit

Als Nachhallzeit T in [s] wird die Zeit bezeichnet, in der der Schalldruckpegel in einem Raum nach Abschalten der Schallquelle um 60 dB abnimmt. Messtechnisch wird aus praktischen Gründen in der Regel T_{20} bzw. T_{30} ermittelt, also die Zeit in der der Pegel um 20 dB beziehungsweise 30 dB abfällt und dann auf 60 dB hochgerechnet. Aus der Nachhallzeit wird die äquivalente Absorptionsfläche im Raum nach folgender Beziehung ermittelt:

$$A = 0,16 \frac{V}{T}$$

mit A : äquivalente Absorptionsfläche Raum [m²]
 V : Raumvolumen [m³]
 T : gemessene Nachhallzeit im Raum [s]

2.1.1.5. Fremdgeräuschkorrektur

Um sicherzustellen, dass keine Störgeräusche das Messergebnis beeinflussen wird der Schalldruckpegel bei abgeschalteter Anregung, der sogenannte Störpegel oder das Fremdgeräusch, mit dem Messsignal verglichen. Ist die Differenz zwischen beiden < 15 dB und > 6 dB wird eine Korrektur nach Beziehung (4) durchgeführt. Ist die Differenz < 6 dB ist die Korrektur auf 1,3 dB festgelegt.

$$L_L = 10 \cdot \log(10^{(0,1 \cdot L_{S,E})} - 10^{(0,1(L_{HW,E} - D))}) \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

mit L_L : Luftschallkorrekturpegel [dB]
 $L_{S,E}$: Störpegel im Empfangsraum [dB]
 $L_{HW,E}$: Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Anregung der Decke mit dem Hammerwerk [dB]

2.1.1.6. Luftschallkorrektur

Bei der Trittschallmessung kann es vorkommen, dass der Luftschallpegel im Senderraum so laut ist, dass er durch Luftschallübertragung in den Empfangsraum einen Einfluss auf den gemessenen Trittschallpegel hat. Dieser Einfluss kann durch Messung der Luftschalldämmung zwischen Sende- und Empfangsraum und Messung des Schalldruckpegels im Senderraum festgestellt werden. Es soll bei jeder Trittschallmessung sichergestellt werden, dass der Luftschallanteil 15 dB über dem Trittschallpegel liegt.

2.1.1.7. dynamische Steifigkeit

Die dynamische Steifigkeit $s' = [\text{MN}/\text{m}^3]$ ist das Verhältnis zwischen einer dynamisch einwirkenden Kraft zur daraus resultierenden Auslenkung. Mit Ihrer Hilfe lässt sich z.B. die Resonanz von Masse-Feder-Systemen ermitteln.

2.1.1.8. Masse-Feder-Masse System

Um die Trittschalldämmung von Decken zu verbessern werden u.a. schwimmende Estriche verwendet. Sie funktionieren nach dem Masse-Feder Prinzip. Oberhalb der Resonanzfrequenz erreichen sie eine stark ansteigende Verbesserung der Trittschalldämmung. Um bei der späteren Interpretation der Messergebnisse eventuelle systematische Einflüsse, wie Resonanzen der entsprechenden Konstruktionen festzustellen, wurde deren Lage im Frequenzbereich zuvor rechnerisch ermittelt. Maßgeblich sind dabei die Masse der Estrichplatte und die dynamische Steifigkeit (dyn. Steif.) der Dämmschicht. Der Zusammenhang ergibt sich näherungsweise aus folgender Beziehung:

$$f_R = 160 \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

mit f_R : Resonanzfrequenz [Hz]
 s' : dynamische Steifigkeit der Dämmschicht [MN/m³]
 m' : flächenbezogene Masse des Estrichs [kg/m²]

2.1.1.9. Frei schwingende Platte

Eine frei aufgehängte Platte führt bei einer freien Anregung natürliche Schwingungen aus. Ein schwimmender Estrich kann mit vernachlässigbarem Fehler wie eine frei aufgehängte Platte betrachtet werden. Der überwiegende Teil der Schwingungsenergie geht in Biegeschwingungen über. Dementsprechend ist die Resonanz von der Biegesteifigkeit abhängig und kann für die jeweilige Ordnung, hier mit $f_{m,n}$ bezeichnet, nach folgender Beziehung ermittelt werden:

$$f_{m,n} = \frac{\pi}{2 \cdot \left(\left(\frac{m}{B} \right)^2 + \left(\frac{n}{B} \right)^2 \sqrt{B' \cdot \rho \cdot d} \right)} \quad [\text{Hz}] \quad (5)$$

mit m = Ordnungszahl in Richtung der Länge [-]
 n = Ordnungszahl in Richtung der Breite [-]

2.1.1.10. Koinzidenz-Grenzfrequenz

Die Grenzfrequenz ist die Frequenz, bei der die Wellenlänge des Luftschalls mit der Länge der Biegewelle des Bauteils übereinstimmt. In diesem Frequenzbereich kommt es zu einer Spuranpassung, welche zu einer besonders effektiven Luftschallabstrahlung des Bauteils führt. Sie berechnet sich zu:

$$f_G = \frac{c^2}{182 \cdot h \cdot c_L} \quad [\text{Hz}] \quad (6)$$

mit	f_G	=	Koinzidenz-Grenzfrequenz	[Hz]
	c	=	Schallgeschwindigkeit in der Umgebungsluft	[m/s]
	h	=	dicke des Bauteils	[m]
	c_L	=	Longitudinalwellengeschwindigkeit (Beton ≈ 2000)	[m/s]

2.1.2 Einzahlangaben

Die in 2.1.1 beschriebenen Schallübertragungen sind frequenzabhängig. In der Bauakustik ist es üblich in Terzen von 100 Hz bis 3150 Hz zu messen. Der erweiterte Frequenzbereich beinhaltet zusätzlich die Frequenzen von 50 Hz bis 80 Hz und 4000 bis 5000 Hz, ist aber in Deutschland nicht rechtlich eingeführt. Ein bauakustisches Messergebnis besteht daher aus 16 einzelnen Terzwerten und ist daher für die Verwendung in der Bauplanung und Nachweisführung zu unhandlich. Aus diesem Grund werden aus den Frequenzspektren Einzahlangaben gebildet, welche es ermöglichen, Bausysteme untereinander oder mit Anforderungen zu vergleichen. Für die Luftschallübertragung wird üblicherweise das bewertete Schalldämm-Maß R_w nach DIN EN ISO 717-1 [5] und für den Trittschall der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ nach DIN EN ISO 717-2 [5] gebildet. Dabei wird das durch Messung ermittelte Frequenzspektrum des Trittschallpegels mit einer in der Norm festgelegten Bezugskurve verglichen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten Einzahlwerte für die Trittschallminderung durch Deckenauflagen wie Estriche und Bodenbeläge zu bilden. Nach Norm geschieht dies durch Ermittlung der bewerteten Trittschallminderung ΔL_w . Die Berechnung ΔL_w von ist in DIN EN ISO 717-2 [5] beschrieben. Dabei wird die frequenzabhängige Trittschallminderung des untersuchten Belags auf der Rohdecke im Labor gemessen und die Werte auf eine fiktive in [5] vorgegebene Bezugsdecke bezogen.

Um die Wirkung der Bodenbeläge auf einer Decke mit Estrich anzugeben ist alternativ auch die Verwendung der Differenz der bewerteten Trittschallpegel $L_{n,w}$ von Rohdecke mit Estrich jeweils mit und ohne Bodenbelag denkbar, eine konkrete Vorschrift existiert nicht. Aus diesem Grund werden in Kapitel 5 beide Varianten ausgewertet und verglichen.

Aufgrund von hohen Toleranzen beim Einbau und bei der Messung in der Praxis werden die Einzahlwerte für den bewerteten Norm-Trittschallpegel nach Norm auf ganzzahlige Werte in [dB] aufgerundet, also $L_{n,w} = 49,1$ dB

bis 50,0 dB entspricht 50 dB. Da im Folgenden zum Teil geringe Abweichungen erwartet werden, wird für eine erhöhte Genauigkeit der Vergleiche der Norm-Trittschallpegel mit einer Nachkommastelle angegeben. Das normierte Verfahren wird dabei in der Art und Weise abgeändert, dass die Bezugskurve in 0,1 dB Schritten verschoben wird. Da alle Messungen im selben Prüfstand und unter vergleichbaren Labor-Bedingungen durchgeführt werden, ist diese erhöhte Genauigkeit gegenüber der Norm-Messung gerechtfertigt.

Da der bewertete Trittschallpegel $L_{n,w}$ und die bewertete Trittschallminderung ΔL_w streng genommen nur mit dem Norm-Hammerwerk ermittelt werden kann, muss bei der Untersuchung weiterer Trittschallquellen auf einen anderen Einzahlwert zurückgegriffen werden. Eine Möglichkeit stellt der A-bewertete Summenpegel im Empfangsraum L_A und die Differenz der A-bewerteten Summenpegel im Empfangsraum ΔL_A der Messung mit und ohne Deckenauflage bzw. mit und ohne Bodenbelag auf der Decke mit Estrich dar.

2.2 Psychoakustische Grundlagen

Die Psychoakustik befasst sich mit der Wahrnehmung von akustischen Reizen. Ein Mittel ist dabei die Quantifizierung des Zusammenhanges zwischen physikalisch messbaren Größen wie dem Schalldruckpegel oder Frequenz und auditiven Größen wie der Lautheit oder der Klangfarbe. Da diese Zusammenhänge äußerst komplex sind und sich nicht immer rein technisch erfassen lassen, werden Beurteilungen aus der Wahrnehmungsforschung mit technischen Messungen kombiniert bzw. verglichen. Die Wahrnehmungsforschung wird in drei Gebiete unterteilt:

- physiologische Wahrnehmung
biologische (neuronale) Verarbeitung von Reizen
- psychophysikalische Wahrnehmung
Die Reaktion auf bestimmte Reize
- kognitive Wahrnehmung
Abhängigkeit der Reaktion auf bestimmte Reize vom Vorwissen

Begriffsdefinitionen:

- Hörversuch

Unter dem Begriff „Hörversuch“ wird eine planmäßige, wiederholbare und unter kontrollierten Bedingungen durchgeführte Untersuchung mit Probanden verstanden, denen akustische Reize präsentiert werden. Ziel des Hörversuches ist, durch Einbeziehung einer Zahl an Versuchspersonen von der subjektiven Aussage des Einzelnen zu einer allgemeingültigen Erkenntnis hinsichtlich des zu untersuchenden Sachverhaltes zu gelangen. Es ist deshalb extrem wichtig, die Datenbasis so zu wählen, dass man aus der daraus erstellten Statistik valide Schlüsse ziehen kann.

- Reiz

Als Reiz bzw. Stimulus wird in der Hörakustik eine energetische Veränderung verstanden, die das Gehörssystem anregt, zu Empfindungen führt und im Verlauf der Informationsverarbeitung Wahrnehmungen und Assoziationen auslöst.

- Empfindung und Wahrnehmung

Unter Empfindung versteht man einen einfachen, unter Wahrnehmung einen komplexen subjektiven Vorgang. Empfindungen werden außerhalb vom „ich“ erlebt und mit einem Gegenstand verbunden. Wahrnehmungen beinhalten neben dem Reiz auch Assoziationsprozesse mit Gedächtnisinhalten und werden auch als Perception bezeichnet.

- Urteil

Als Urteil bezeichnet man das Ergebnis eines Entscheidungsverhaltens, wobei die den Urteilen zu Grunde liegenden Empfindungen interpretiert werden.

- Schwellen

Es gibt in der Hörakustik verschiedenen Schwellen. Definitionsgemäß ist damit der Zusammenhang zwischen einem physikalischen Parameter und der resultierenden Empfindung gemeint. Die Hörschwelle zum Beispiel legt den Schalldruck fest, bei dem akustische Reize wahrnehmbar sind. Weitere Schwellen, sind die Unterschiedsschwelle, ab der sich Geräusche oder Pegel wahrnehmbar unterscheiden oder auch die Schmerzschwelle, welche auch als Fühlschwelle bezeichnet wird. Alle Schwellenwerte können von Person zu Person unterschiedlich sein und sind in der Regel als statistische Mittelwerte mehrerer Personen definiert.

3 Vorgehensweise

Das Projekt wird in zwei Teilabschnitten bearbeitet. Grund dafür ist die unterschiedliche Art der Untersuchungen. In jedem Abschnitt werden umfangreiche Messprogramme an verschiedenen Boden-Deckenkombinationen durchgeführt und ausgewertet.

3.1 Wirkung von Bodenbelägen auf verschiedenen Decken nach Norm

Im ersten Abschnitt werden nach einer Literaturrecherche zum Stand der Technik die Grundlagen für einen Modellaufbau erarbeitet, sowie eine Auswahl von Deckenkonstruktionen und Bodenbelägen getroffen. Die Messungen werden hier weitgehend nach Norm mit dem Norm-Hammerwerk durchgeführt. Ziel der Untersuchungen im ersten Abschnitt ist es das vorhandene Bewertungsverfahren nach Norm unter Verwendung des Norm-Hammerwerks als Anregungsquelle mit Hilfe von empirischen Berechnungsmethoden auf heute bauübliche Decken zu erweitern. Dabei sollen möglichst auch ältere Ergebnisse der trittschallmindernden Wirkung auf aktuelle Bausituationen umgerechnet werden können.

3.2 Wirkung von Bodenbelägen bei verschiedenen Trittschallquellen

Im zweiten Abschnitt sollen unter Verwendung des erarbeiteten Modellaufbaus an derselben Auswahl von Decken- und Belagskombinationen Untersuchungen mit verschiedenen alternativen, sogenannten „weichen“ Trittschallquellen durchgeführt werden. Die so entstehenden praxisnahen Trittschallgeräusche werden sowohl messtechnisch erfasst und ausgewertet, als auch aufgezeichnet und von Probanden im Hörversuch bewertet. Ziel ist eine Gegenüberstellung von messtechnischen Bewertungsverfahren und tatsächlich wahrgenommener Lautheit und Lästigkeit der Geräusche.

4 Voruntersuchungen

Vor Beginn der eigentlichen Messungen wurden verschiedene Voruntersuchungen durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde unter anderem ermittelt, welchen Einfluss die Größe der Prüffläche auf das Messergebnis hat und wie sich die Messergebnisse durch die Position der Estrichplatte auf der Rohdecke ändern. Des Weiteren wurden Messungen mit verschiedenen Estrichen durchgeführt um zu ermitteln, welche Aufbauten für die späteren Messungen verwendet werden sollen.

4.1 Literaturrecherche

Zu Beginn des Projekts wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Ergebnis ist, dass sowohl die Unsicherheiten bei der Anrechenbarkeit von Bodenbelägen auf den Trittschallpegel (z.B. Taubert und Ruhe GmbH: DEGA-Umfrage „Was ist ein weichfedernder Bodenbelag“ [9]), als auch der Einfluss des Normhammerwerks auf das Messergebnis (z.B. W. Scholl; W. Maysenhölder: Wird das Trittschallverhalten von Gebäudedecken derzeit ausreichend beschrieben?) bekannt sind, es jedoch keine systematischen Untersuchungen zur tatsächlichen trittschallmindernden Wirkung von austauschbaren Bodenbelägen gibt.

4.2 Einfluss der Größe der Prüffläche

Nach DIN EN ISO 10140-1 werden Deckenauflagen in drei verschiedene Kategorien eingeteilt. Kategorie 1 umfasst biegsame Deckenauflagen wie beispielsweise Kunststoff oder Kork, Kategorie 2 starre homogene Materialien sowie komplexe Deckenauflagen und Kategorie 3 Spannstoffe. Für jede Kategorie ist festgelegt, wie groß die zu prüfende Fläche des jeweiligen Materials sein muss. Die im Rahmen dieses Projekts untersuchten Bodenbeläge sind aufgrund der Kombination mit einem schwimmenden Estrich immer der Kategorie 2 zuzuordnen. Für diese Kategorien schreibt die DIN EN ISO 10140-1 [4] eine vollflächige Verlegung der Materialien oder die Verlegung auf einer Fläche von mindestens 10 m² vor. Da die vollflächige Verlegung von unterschiedlichen Estrichen, Bodenbelägen und Kombinationen jedoch zu aufwendig wäre, werden alle Messungen auf einer 1 x 1 m großen Teilfläche durchgeführt.

Deshalb wurde in dieser ersten Voruntersuchung ermittelt, wie sich die bewertete Trittschallminderung und der bewertete Norm-Trittschallpegel auf einer Estrichteilfläche von der Messung auf einem vollflächigem Estrich unterscheiden und welcher Fehler sich daraus ergibt. Durch Vergleich der Messungen auf zwei gleich großen Estrichteilflächen wurde außerdem die Produktstreuung ermittelt. Hierzu wurde, ausgehend von einem vollflächig im Prüfraum verlegten Estrich mit einer Fläche von 17,5 m², die Estrichfläche schrittweise durch insgesamt fünf Trennschnitte jeweils um den Faktor 2 verkleinert und die resultierende Luft- und Trittschalldämmung gemessen (siehe Bild 2).

Der Estrich bestand bei dieser Untersuchung aus einer ca. 40 mm dicken Schicht Zementestrich mit der Festigkeitsklasse C 25/30, welcher auf einer 25 mm dicken Mineralfaser-Schicht mit Steifigkeitsklasse 10 verlegt war. Die beiden Schichten waren durch eine Trennfolie mit einem Gewicht von ca. 100 g/m² voneinander getrennt. Der Vergleich der Frequenzspektren der Messungen erfolgt immer am Beispiel des 1,07 m² großen Teilestrichs, da dieser am ehesten der Größe der in den späteren Untersuchungen verwendeten Estrichplatte von 1 m² ent-

spricht. Die Trittschallanregung erfolgte jeweils an fünf unterschiedlichen, gleichmäßig verteilten Punkten auf der Estrichplatte. Bei den kleinen Plattengrößen wurden ab einer Fläche von $4,38 \text{ m}^2$ nur noch drei und bei $1,07 \text{ m}^2$ zwei Hammerwerkspositionen verwendet.

Nach jedem Trennschnitt wurde die Messung der Trittschallminderung für beide entstandenen, gleich großen Estrichteilplatten links und rechts des Schnitts durchgeführt. Dann wurde immer eine Estrichteilplatte (jeweils Messung b) einschließlich der Dämmschicht ausgebaut. Auf dem im Prüfraum verbleibenden Teil der Estrichplatte wurde die Trittschallmessung nochmals wiederholt (Messung c). Insgesamt wurden also für jede Plattengröße drei Messungen durchgeführt. Parallel wurden jeweils die Luftschalldämmung, sowie die Nachhallzeit gemessen. Der Trittschallpegel der Rohdecke wurde einmal vor Einbau des Estrichs und einmal nach vollständigem Ausbau des Estrichs bestimmt. Bei allen Messungen wurden gleiche Mikrofonpositionen in Sende- und Empfangsraum verwendet. Zur späteren Ermittlung der Luftschallkorrektur wurde bei den Trittschallmessungen immer auch der Schallpegel im Senderraum aufgezeichnet.

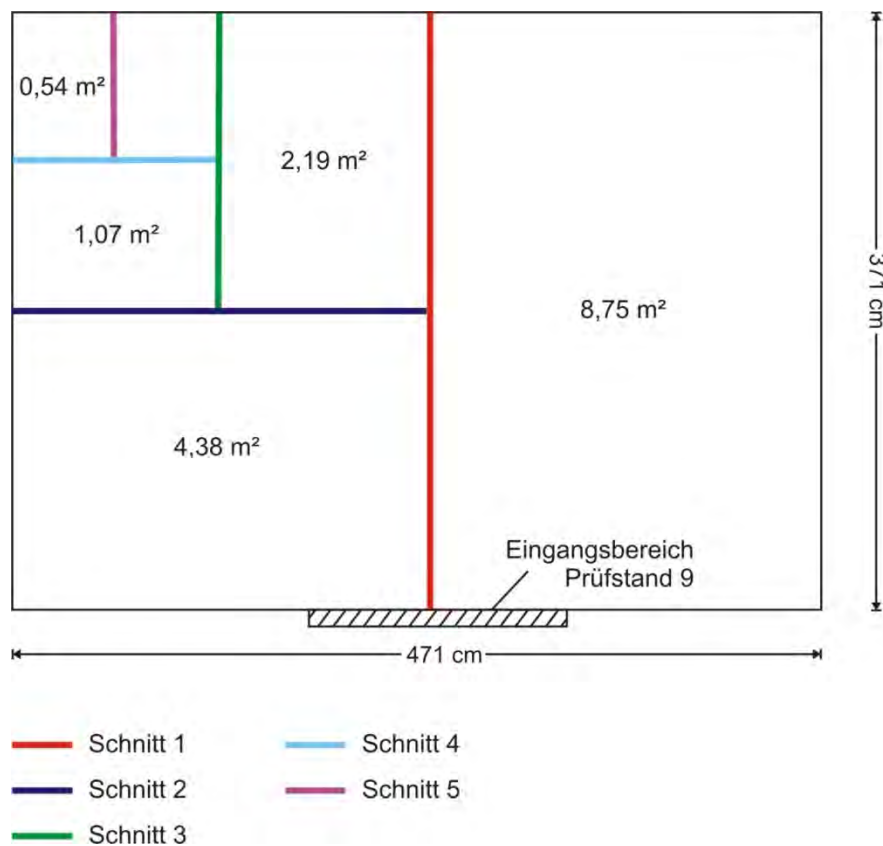


Bild 2: Schematische Darstellung der schrittweisen Verkleinerung des vollflächigen Estrichs

4.2.1 Messergebnisse

In Tabelle 1 sind die Messergebnisse auf dem vollflächigen Estrich und jeweils die von Messung c für jede Plattengröße dargestellt. Gegenüber der vollflächigen Verlegung ergeben sich, bezogen auf ΔL_w , Abweichungen von -0,8 dB für die größte bis + 4,6 dB für die kleinste untersuchte Teilfläche. Bis zu einer Plattengröße von 2,19 m² betragen die Unterschiede weniger als 1 dB. Da im Projekt auch praktische und zeitliche Aspekte berücksichtigt wurden und die Verwendung einer mehr als 1 m² großen Estrichplatte zu aufwendig wäre (1 m² des verwendeten Zementestrichs wiegt 90 kg), orientiert sich die Größe des für alle späteren Messungen verwendeten Estrichteilstücks an der 1,07 m² großen Teilfläche. Hier beträgt die Differenz zur vollflächigen Messung 2,9 dB. Neben der Plattengröße wird dieser Wert auch durch lokale Unterschiede in den Produkteigenschaften, wie beispielsweise durch Festigkeitsunterschiede, sowie durch die Position des Estrichteilstücks auf der Rohdecke beeinflusst. Die Abweichungen zwischen den Messungen a, b und c betragen jeweils ca. 1 dB. Die Ergebnisse befinden sich in Tabelle 2.

Die Abmessungen der für die späteren Untersuchungen verwendeten Estrichplatte (1 m x 1 m) unterscheiden sich geringfügig von der 1,07 m² großen Teilfläche in der Voruntersuchung. Dies liegt daran, dass sich die Größe der Estrichteilflächen aus dieser Voruntersuchung immer durch Halbierung der jeweils vorhergehenden Teilfläche ergab. Aus praktischen Gründen wurde für die folgenden Untersuchungen eine 1 m x 1 m große Estrichplatte verwendet.

In Bild 3 sind die Kurvenverläufe der vollflächigen Messung und der Messung auf der 1,07 m² großen Estrichplatte dargestellt. Vergleicht man die Messkurven zeigt sich, dass im tieffrequenten Bereich bis ca. 200 Hz und im hochfrequenten Bereich ab ca. 750 Hz die Messkurve der Estrichteilfläche über der Messkurve der vollflächigen Messung liegt. Dies führt zu einer Abweichung im Einzahlwert von ca. 3 dB. Ein Grund für die Überbewertung der Trittschallminderung bei Verwendung der kleineren Teilfläche könnte sein, dass sich die Anregung der Decke auf den Teilbereich des Estrichs konzentriert. Aufgrund der relativ geringen Verluste innerhalb der Estrichplatte wird bei der vollflächigen Verlegung auch der Bereich der Decke angeregt, der weiter entfernt vom Hammerwerk ist.

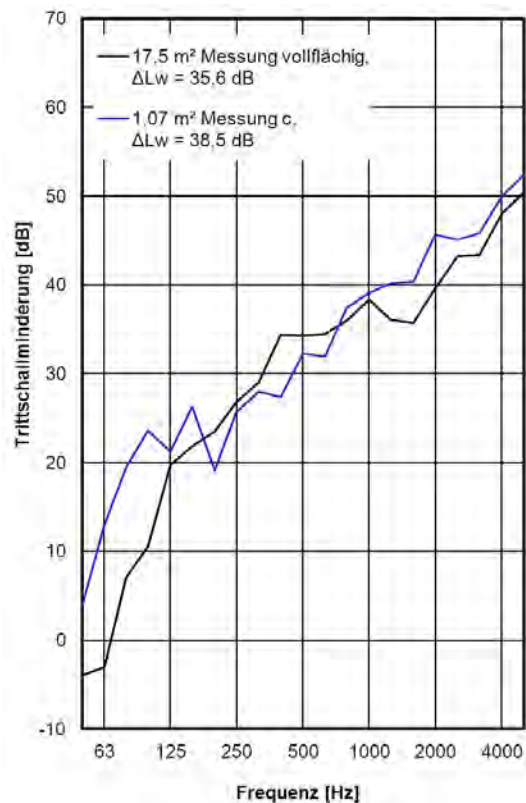


Bild 3: Trittschallminderung des Estrichs bei vollflächiger Verlegung und nach Schnitt 4 mit 1,07 m²

Tabelle 1: Ergebnisse für den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ und die bewertete Trittschallminderung ΔL_w bei Messung auf dem vollflächigem Estrich und auf den Estrichteilflächen

Abweichungen zwischen voll- und teilflächigen Messungen			
Größe der Estrichfläche	$L_{n,w}$ [dB]	ΔL_w [dB]	Abweichung von ΔL_w gegenüber der vollflächigen Messung [dB]
17,5 m², Messung vollflächig	41,6	35,6	entfällt
8,75 m², Messung c	42,5	34,8	- 0,8
4,38 m², Messung c	41,9	35,3	- 0,3
2,19 m², Messung c	40,8	36,5	+ 0,9
1,07 m², Messung c	38,9	38,5	+ 2,9
0,54 m², Messung c	36,0	40,2	+ 4,6

Tabelle 2: Abweichungen zwischen Estrichplatten gleicher Größe

Abweichungen zwischen zwei gleich großen Estrichteilflächen			
Größe der Estrichfläche	L _{n,w} Messung a	[dB] Messung b	Differenz von L _{n,w} [dB] zwischen Teilflächen gleicher Größe
8,75 m	42,4	41,0	1,1
4,38 m ²	43,1	41,9	1,2
2,19 m ²	40,6	41,2	0,6
1,07 m ²	39,4	38,6	0,8
0,54 m ²	36,6	37,9	1,3

4.3 Position der Estrichplatte auf der Rohdecke

Wie in 4.2 bereits beschrieben, werden alle Messungen auf einem 1 m² großen Estrichteilstück durchgeführt. Es ist möglich dieses Estrichteilstück an unterschiedlichen Positionen im Raum zu verlegen. Der Einfluss der Position auf das Messergebnis wurde in einer Voruntersuchung untersucht. Hierzu wurde die Trittschalldämmung des Estrichteilstücks an fünf Positionen im Raum gemessen. Die Positionen waren gleichmäßig über die Grundfläche des Prüfraums verteilt. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die Estrichplatte möglichst eben auf der Rohdecke auflag. Die einzelnen Positionen und die genaue Lage der Estrichplatte sind in Bild 4 dargestellt. Als Estrichaufbau wurde der in 4.2 beschriebene Teilestrich verwendet.

An jeder Position wurden zwei Messungen mit unterschiedlicher Hammerwerksposition und Schwenkachse des Mikrofons durchgeführt. Anschließend wurden die Trittschallpegel logarithmisch gemittelt und daraus die Trittschallminderung nach DIN EN ISO 10140-1 [4] und DIN EN ISO 717 [5] ermittelt. Die Ergebnisse für die bewertete Trittschallminderung können Tabelle 3 entnommen werden. Aus der Abweichung jeder Position vom Mittelwert aller Positionen wurde bestimmt welche Position für die Estrichplatte als am besten geeignet erscheint. Die Geringste Abweichung ergab sich für Position 3.

Nach Gleichung (1) berechnet sich der Mittelwert der bewerteten Trittschallminderung zu:

$$\Delta L_{W,m} = \frac{\Delta L_{W1} + \Delta L_{W2} + \Delta L_{W3} + \Delta L_{W4} + \Delta L_{W5}}{5} = 40,2 \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Die Abweichung der jeweiligen Position vom Mittelwert berechnet sich nach Gleichung (2) zu:

$$\sigma = \sqrt{(\Delta L_{w,m} - \Delta L_w)^2} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Tabelle 3: Trittschallminderung der Estrichplatte auf der Rohdecke an verschiedenen Positionen

Trittschallminderung der Estrichplatte auf der Rohdecke		
Positionen	ΔL_w [dB]	σ [dB]
Position 1	40,0	0,2
Position 2	42,4	2,2
Position 3	40,3	0,1
Position 4	40,6	0,4
Position 5	37,9	2,3

4.4 Ergebnisse und Folgerungen

In 4.2 wurde der Einfluss der Größe der Estrichfläche untersucht. Es zeigt sich, dass die Messergebnisse umso deutlicher von der vollflächigen Messung abweichen, je kleiner die Estrichfläche wird. Für die 1,07 m² große Platte ergab sich eine Differenz in der bewerteten Trittschallminderung von 2,9 dB im Vergleich zur Messung auf dem vollflächigen Estrich. Aus praktischen Gründen wurde entschieden die weiteren Untersuchungen mit einem 1 m x 1 m großen Teilestrich durchzuführen.

Die optimale Position der Teilestrichplatte auf der Rohdecke wurde in 4.3 ermittelt. Dazu wurden Messungen auf fünf unterschiedlichen Positionen durchgeführt und jeweils die bewertete Trittschallminderung sowie die Abweichung der Messergebnisse der einzelnen Positionen vom Mittelwert berechnet. Für Position 3 ergab sich mit 0,1 dB die geringste Abweichung vom Mittelwert. Deshalb wurde diese als feste Position für alle weiteren Messungen ausgewählt.

Die ermittelten Abweichungen zwischen Teilestrich und vollflächigem Estrich sind informativ, jedoch für die folgenden Analysen von untergeordneter Bedeutung, da durch Verwenden derselben Position und derselben verkleinerten Estrichplatte der Fehler bei allen Messungen konstant bleibt und sich daher bei der Angabe der Wirkung von Bodenbelägen nicht äußert. Für die Untersuchung der Wirkung von Bodenbelägen ist die Fläche von Estrich und Belag daher von untergeordneter Bedeutung.

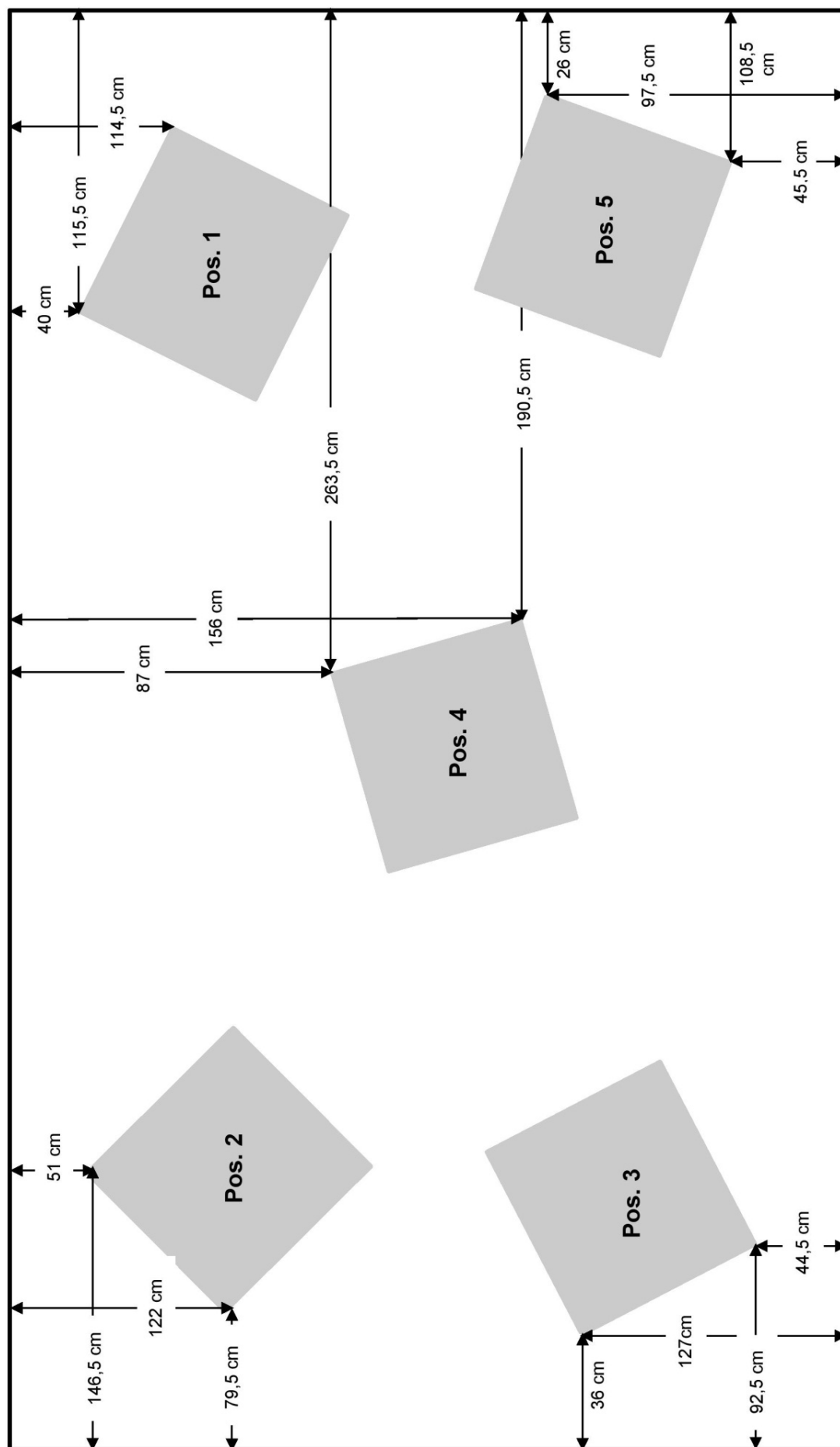


Bild 4: Untersuchte Positionen der Estrichplatte auf der Rohdecke

5 Messergebnisse nach Norm

5.1 Estriche auf der Rohdecke

Für die Hauptuntersuchungen wurden Zementestriche verschiedener akustischer Qualität, sowie ein Trockenestrich erstellt, auf denen die Wirkung der Bodenbeläge bei praxisgerechter Verlegung untersucht werden sollte.

Zielvorgabe war ein Estrich guter Qualität mit ca. 40 dB Trittschallminderung, einer mit geringer akustischer Qualität mit 20 dB Trittschallminderung und einer im mittleren Bereich mit 30 dB Trittschallminderung. Hierzu wurde eine Estrichplatte aus Beton mit der Festigkeitsklasse C25/30 in einer Größe von $L \times B = 1 \times 1$ m und einer Dicke von 40 mm hergestellt. Das Gewicht der Estrichplatte beträgt 88,7 kg. Die flächenbezogene Masse ist damit $88,7 \text{ kg/m}^2$. Um daraus Estriche unterschiedlicher Qualität zu simulieren, wurde sie mit verschiedenen Estrichdämmstoffen kombiniert. Für die Konstruktion mit akustisch hoher Qualität kam eine 40 mm dicke Mineralfaser-Dämmplatte der Marke ISOVER Akustik TP1 zum Einsatz, für den mittleren Qualitätsbereich eine EPS Platte der Marke ISOBouw EPS 100 und für den unteren Qualitätsbereich eine Platte der Marke BASF Styrodur 3035 CN. Letztere ist keine Trittschalldämmplatte, vergleichbare Produkte wie Styrodur 2500 C werden aber als Wärmedämmung unter Estrich eingesetzt und ergeben einen schwimmenden Estrich geringer akustischer Qualität. Für den Trockenestrich wurde eine 20 mm dicke OSB-Platte, mit einem Gewicht von $14,2 \text{ kg/m}^2$, in Kombination mit der Estrich-Dämmplatte Akustik EP 3 verwendet. Abmessungen, Gewicht und die dynamische Steifigkeit s' der verwendeten Materialien, sowie die ermittelte bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,1}$ der Estriche und deren Bezeichnung sind in Tabelle 4 enthalten. Die vier unterschiedlichen Estriche sind in Bild 5 dargestellt. Die Berechnung der Resonanzfrequenz der Estriche wird in den Grundlagen beschrieben.

Tabelle 4: Aufbau, Bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,1}$ und Resonanzfrequenz f_R der vier verschiedenen Estriche auf der Rohdecke

Daten der untersuchten Estriche					
Schwimmende Estriche	Estrichplatte Flächengewicht	Dämmstoff	$\Delta L_{w,soll}$ [dB]	$\Delta L_{w,1}$ [dB]	f_R [dB]
EP1	40 mm Beton $88,7 \text{ kg/m}^2$	40 mm ISOVER EP 1	40	40,8	38
EPS	40 mm Beton $88,7 \text{ kg/m}^2$	25 mm EPS	30	26,2	108
XPS	40 mm Beton $88,7 \text{ kg/m}^2$	25 mm Styrodur 3035 CN	20	20,2	381
TE	20 mm OSB $14,2 \text{ kg/m}^2$	12 mm ISOVER EP3	20	17,0	209

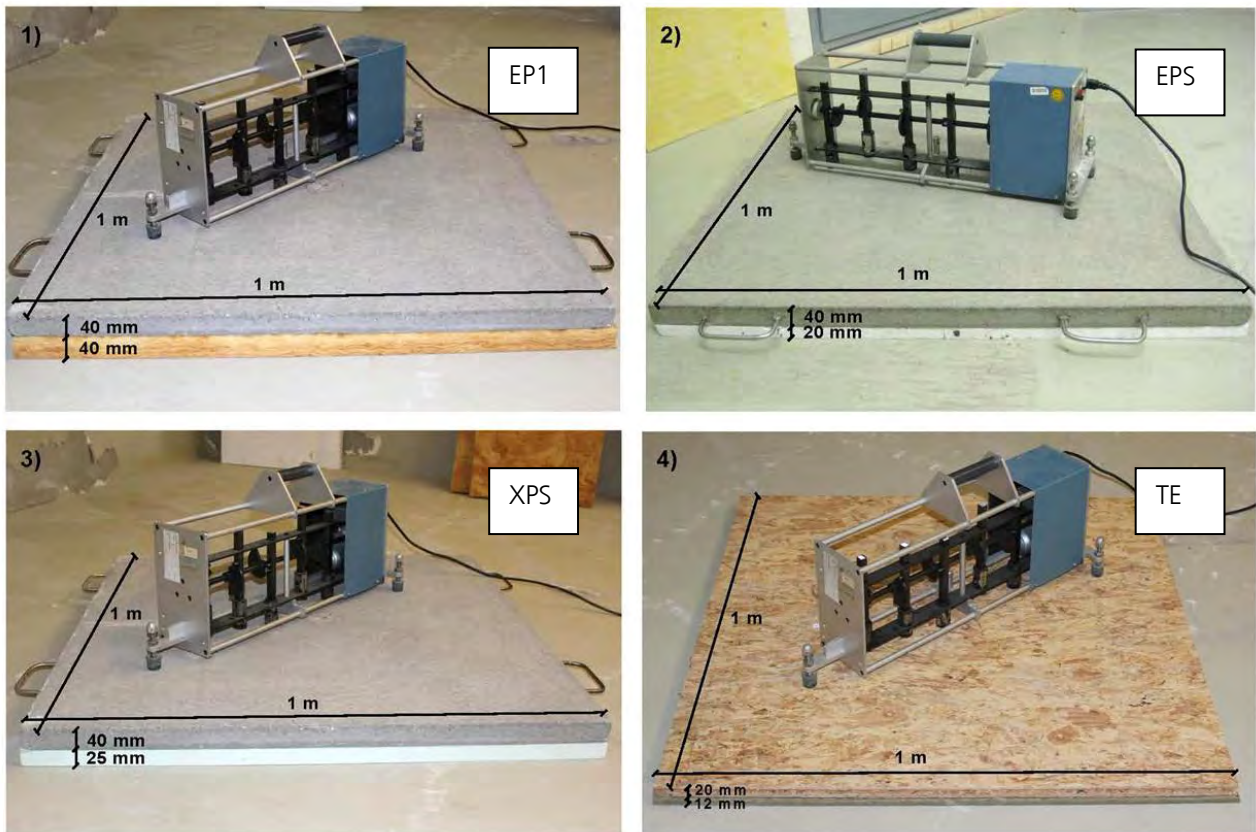


Bild 5: Bilder der vier verwendeten Estriche auf der Rohdecke mit Angabe der Abmessungen der Estrichplatte und der Dämmschichten

Die Ergebnisse der Trittschallminderung der unterschiedlichen Estrichkonstruktionen steht in direktem Zusammenhang mit der Lage der Masse-Feder Resonanz. Die Resonanz des Estrich EP1 liegt weit unterhalb des bauakustischen Messbereichs (100 bis 3150 Hz), daher ist die Trittschallminderung hier am höchsten. Ausnahme ist der Trockenestrich. Er besitzt eine niedrigere Resonanzfrequenz als der Estrich XPS, erreicht aber trotzdem eine 4 dB geringere Trittschallminderung. Dies ist auf die niedrigere Masse und damit insgesamt geringere akustische Wirkung zurückzuführen.

Ein Vergleich mit den derzeit gültigen Anforderungen in Tabelle 4 zeigt, dass auf einer Stahlbetonrohdecke ein Estrich mittlerer Qualität erforderlich ist, um die Anforderungen an den Mindestschallschutz aus DIN 4109: 1989 [3] zu erfüllen. Zum Vergleich ist auch der vorletzte Stand aus VDI 4100 [22] dargestellt. Im letzten Stand der VDI Richtlinie von 2012 ist ein Wechsel der Anforderung auf nachhallzeitbezogene Größen erfolgt. Diese sind nur bedingt mit den hier diskutierten Werten vergleichbar, da sie nicht mehr allein Bauteilabhängig sind. Die Größenordnung der alten Anforderungen entspricht aber für durchschnittliche Räume denen der neuen Größen.

Tabelle 5: Anforderungen an den Trittschallschutz von Decken in Wohnungen

Norm	erf. L'_{nw} [dB]	$\Delta L_{w,soll}$ [dB]	Bemerkung
DIN 4109: 1989	53	25	Mindestschallschutz, rechtlich verbindlich
DIN 4109 Bbl. 1: 1989	46	32	Vorschlag für erhöhten Schallschutz, kann gesondert vereinbart werden
VDI 4100: 2006; SSt I	53	25	Mindestwert
VDI 4100: 2006; SSt II	46	32	normaler Komfort
VDI 4100; SSt III	39	39	hoher Komfort

Die Frequenzspektren der Trittschallpegel der Messungen mit den Estrichen befinden sich in Bild 5 rechts. In allen Kurven ist deutlich die Koinzidenz der Rohdecke in der zu erkennen. beim Zementestrich zeigt sich auch die Koinzidenz der Estrichplatte bei 500 Hz und weitere Plattenabhängige Spitzen. Beim Trockenestrich verläuft die Kurve oberhalb der 160 Hz relativ konstant, die Koinzidenz, die rechnerisch bei 800 bis 1000 Hz liegt, ist nur andeutungsweise zu erkennen.

Nach der Theorie von L. Cremer [10] steigt die Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs oberhalb der Resonanzfrequenz um 12 dB pro Oktave an, wobei er nur unendlich ausgedehnte Platten berücksichtigt. Bei endlichen Platten mit relativ niedrigem Verlustfaktor sorgen Reflexionen an den Rändern der Platte dafür, dass sich der Anstieg ab ca. $1,4 \cdot f_R$ auf 9 dB pro Oktave reduziert. Beim Trockenestrich kann von einem höheren Verlustfaktor ausgegangen werden, weshalb sich der Einfluss durch die Randreflexionen minimiert und der tatsächliche Anstieg wie bei der unendlichen Platte 12 dB pro Oktave beträgt. In Bild 5 ist links die berechnete Trittschallminderung der Estriche und rechts die gemessenen Pegeldifferenz im Empfangsraum dargestellt.

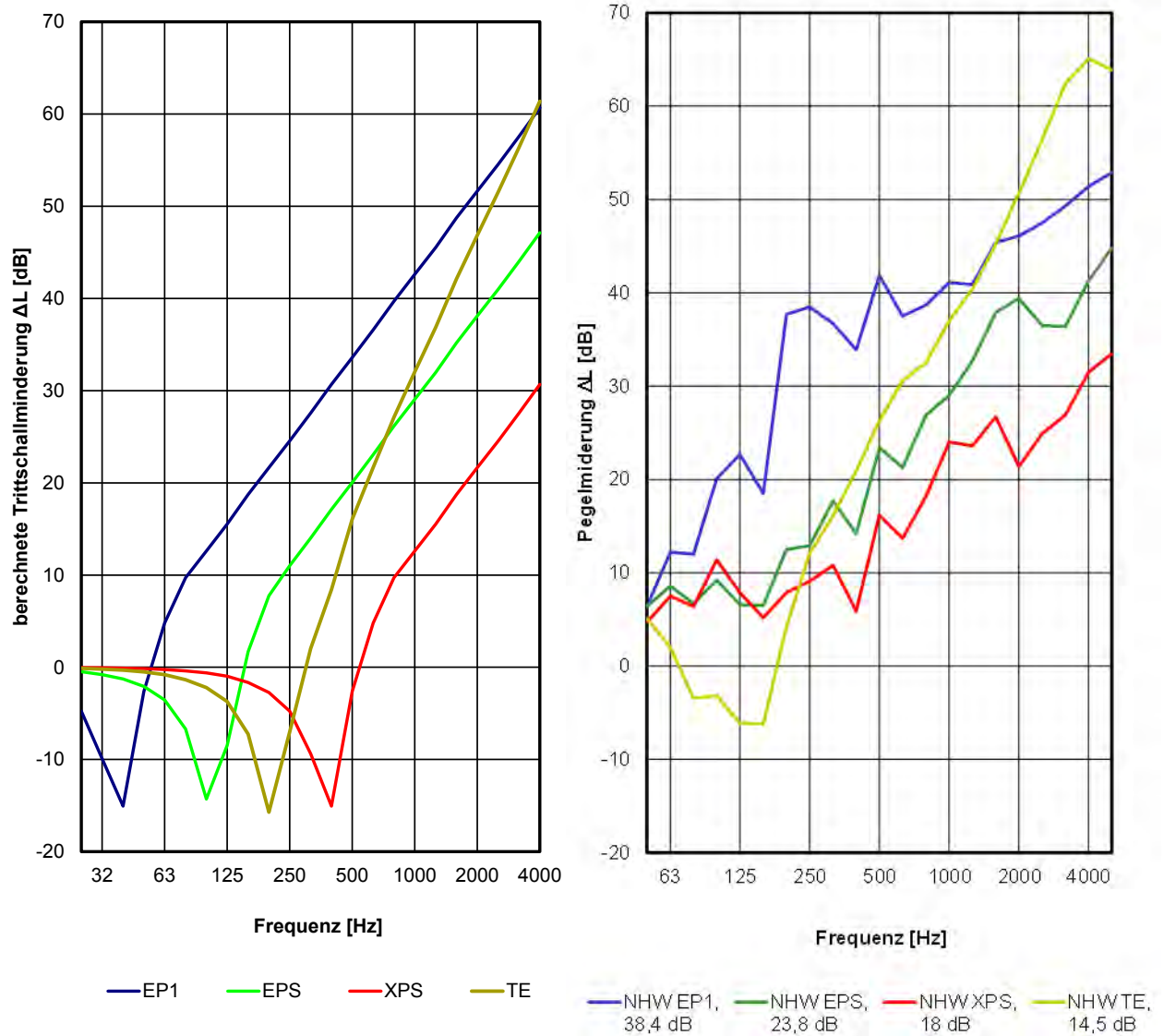


Bild 6: Berechnete Trittschallminderung der Estriche 1 bis 4 aus Tabelle 3 (links) und mit dem Norm-Hammerwerk gemessene Pegelminderung (rechts) der jeweiligen Estriche

Beispielhaft soll am an den Messungen auf Estrich EP1 und Estrich TE nochmals die Ermittlung der Einzahlwerte, verdeutlicht werden. In Bild 7 ist das Frequenzspektrum des Norm-Trittschallpegels des jeweiligen Teilestrichs auf der Rohdecke einschließlich der entsprechenden verschobenen Bezugskurve dargestellt. Rot markiert sind hier jeweils die Bereiche, in denen das gemessene Frequenzspektrum die Bezugskurve um insgesamt maximal 32 dB überschreitet. In beiden Diagrammen ist deutlich erkennbar, dass diese Überschreitungen ausschließlich in den unteren vier Terzen stattfinden, die Überschreitungen im oberen Frequenzbereich sind sehr gering, am Beispiel von Estrich TE treten bei den höheren Frequenzen sogar keine Überschreitungen mehr auf. Dies bedeutet, dass für die Bildung des bewerteten Norm-Trittschallpegels fast ausschließlich die unteren vier Terzen (100 bis 200 Hz) von Bedeutung sind.

In Bild 6 ist zu erkennen, dass Estrich EPS und XPS mit den steiferen Dämmschichten eine geringere Körperschallisolation bewirken. Da sich bei diesen beiden Kurvenverläufen mehrere Einbrüche überlagern, ist die Resonanzfrequenz aus dem Diagramm nicht eindeutig erkennbar. Über mehrere Terzen hinweg sind unterschiedliche Ein-

brüche vorhanden, die insgesamt weniger tief sind, als bei Estrich EP1 und Estrich TE. Der Trockenestrich weist eine ähnlich gute Entkopplung wie Estrich EP1 auf. Der Anstieg der Trittschallminderung zu hohen Frequenzen hin ist deutlich steiler als bei den restlichen Estrichen, so dass der Trockenestrich ab einer Frequenz von ca. 1700 Hz sogar eine höhere Trittschallminderung als Estrich EP1 besitzt. Da der Einzahlwert aber fast ausschließlich in den unteren vier Terzen bestimmt wird, hat dies auf die bewertete Trittschallminderung kaum einen Einfluss.

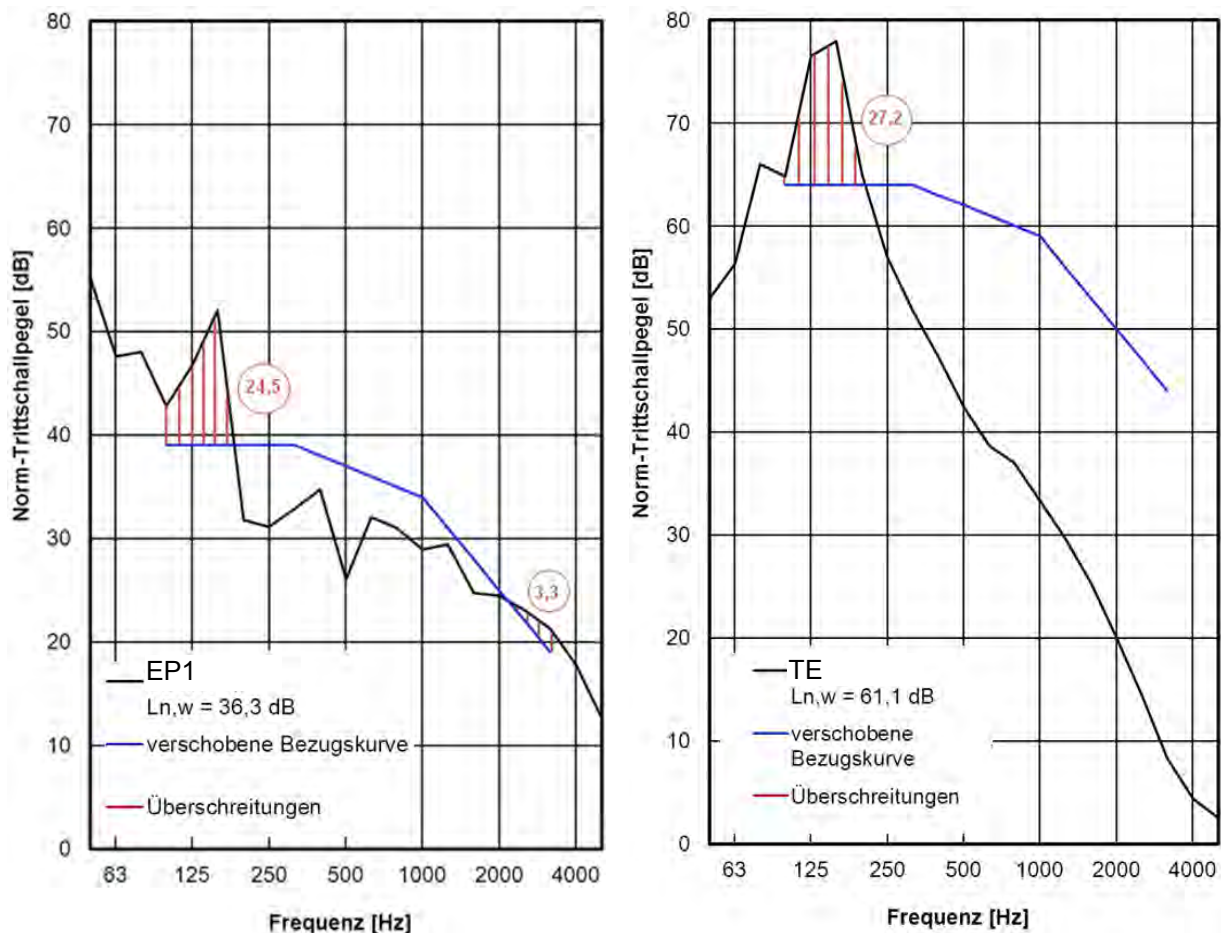


Bild 7 Darstellung der gemessenen Frequenzspektren von Estrich EP1 und Trockenestrich einschließlich der zugehörigen verschobenen Bezugskurve zur Erläuterung des Zustandekommens der Einzahlangebe $L_{n,w}$

5.2 Bodenbeläge auf der Rohdecke

Die zu untersuchenden Bodenbeläge wurden so ausgewählt, dass ein möglichst breites Spektrum der üblicherweise im Wohnbereich verwendeten austauschbaren Deckenauflagen abgedeckt wurde. Dazu zählen unter anderem Laminat und Parkett, Korkparkett, PVC-Böden und Teppichböden. Da die akustischen Eigenschaften von Laminat und Parkett sehr ähnlich sind, wurden nur ein Laminatbelag und ein Kork-Parkettbelag untersucht. Dieser Laminatbelag sowie das Korkparkett wurden jeweils mit und ohne Trittschalldämmung auf jedem Estrich untersucht, um unter anderem auch die Wirkung zu ermitteln die einzig durch die Unterlage erzielt wird. Bei den Teppichböden wurden ein dünner Nadelfilzteppich mit einer Florhöhe von 2,5 mm und zwei Lang.- bzw. Hochflorteppiche mit einer Gesamtdicke von 17 mm und 22 mm ausgewählt. Die PVC-Böden wurden in drei unter-

schiedlichen Dicken, 1,3 mm, 2,5 mm und 4,0 mm, gemessen. Der dünne Belag bestand nur aus der PVC-Deckschicht, die beiden dickeren hatten zusätzlich einen Schaumstoffrücken.

Im Wohnbereich findet man häufig die Situation vor, dass in einer neu bezogenen Wohnung bereits ein Bodenbelag, wie beispielsweise ein Laminatbelag oder ein Teppichboden, vorhanden ist. Aus Zeit- und Kostengründen wird hier oft eine neue Deckenauflage direkt auf der Bestehenden verlegt. Deshalb wurden zusätzlich die zwei Aufbauten Teppich auf Laminat und Laminat auf Teppich untersucht, obwohl diese keiner Herstellerspezifikation entsprechen.

Bei der Auswahl der Produkte wurden teilweise Bodenbeläge mit detaillierten Herstellerangaben, unter anderem zur bewerteten Trittschallminderung, aber auch Bodenbeläge ohne genauere Produktinformationen verwendet. Die vorhandenen Angaben zu den jeweiligen Bodenbelägen können Tabelle 6 entnommen werden. Damit im Folgenden, wie auch bei den Estrichen, auf die Verwendung der Herstellerbezeichnungen verzichtet werden kann, wurden zur Vereinfachung Kurzbezeichnungen für die unterschiedlichen Bodenbeläge festgelegt, die Tabelle 6 entnommen werden können. Im Anhang A1.4 sind außerdem nochmals alle untersuchten Bodenbeläge auf der Rohdecke dargestellt.

Nach DIN EN ISO 10140-1 [4] Anhang H werden bei der Ermittlung der bewerteten Trittschallminderung Deckenauflagen direkt auf die Rohdecke aufgelegt, aufgeklebt oder verlegt und so gemessen. In Anlehnung an DIN EN ISO 10140-1 [4] wurden deshalb Werte für die bewertete Trittschallminderung der untersuchten Bodenbeläge ermittelt. Da auch hier aus zeitlichen Gründen eine vollflächige Verlegung zu umfangreich wäre, wurden die Messungen mit Verweis auf die Ergebnisse aus 4.2 auf einer 1 m² großen Teilfläche durchgeführt. Für jeden Bodenbelag wurden auf einer Position auf der Rohdecke zwei Messungen durchgeführt, nach jeweils einer Messung wurden die Rotationsachsen der Mikrofone und die Hammerwerksausrichtung gedreht. Die Ergebnisse für die bewertete Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke, die bei allen folgenden Auswertungen mit $\Delta L_{w,0}$ bezeichnet wird, sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 6: Bezeichnung der untersuchten Bodenbeläge in diesem Abschnitt

Bezeichnung der Bodenbeläge	
Bodenbeläge	Bezeichnung
Laminat ohne Trittschalldämmung	Lam
Laminat mit Trittschalldämmung	U+Lam
Korkparkett ohne Trittschalldämmung	Park
Korkparkett mit Trittschalldämmung	U+Park
Teppichboden 2,5 mm	NF
Teppichboden 22 mm	HF
Teppichboden 17 mm	HF35
PVC 1,3 mm	PVC 1
PVC 2,5 mm	PVC 2
PVC 4,0 mm	PVC 4
Laminat ohne Trittschalldämmung auf Teppichboden 2,5 mm	Laminat 1 auf Teppich 1
Teppichboden 2,5 mm auf Laminat mit Trittschalldämmung	Teppich 1 auf Laminat 2

Tabelle 7: Bewertete Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke

Trittschallminderung der Bodenbeläge	
Bodenbeläge	$\Delta L_{w,0}$ [dB]
Lam	13,6
U+Lam	19,5
Park	17,4
U+Park	21,1
NF	16,6
HF	26,6
HF35	32,7
PVC 1	10,4
PVC 2	19,9
PVC 4	22,9
Laminat 1 auf Teppich 1	20,9
Teppich 1 auf Laminat 2	22,0

Tabelle 8: Materialdaten der untersuchten Bodenbeläge

Materialdaten der Bodenbeläge						
Art	Bezeichnung	Dicke [mm]	Besonderheiten	Gewicht [g/m²]	Material	Einsatzbereich
Laminat	Quick Step Classic	7	Klicksystem	6450	HDF (hochdichte Faserplatte)	Wohn-/Schlafbereich
Korkparkett	-	10	Klicksystem	5850	Kork/Holz	Wohn-/Schlafbereich
Trittschall-dämmung	Logoclic XPS Allround	2,2	-	100	extrudierter Polystyrol-Hartschaum	Schalldämmunterlage unter schwimmend verlegtem Laminat, Parkett, Korkparkett
Teppichboden	Rips Messina Blau	2,5	Schaumrücken	790	Polypropylen	leicht/mäßig benutzter Privatbereich
Teppich Hochflor	Bellini Aubergine	22	Vliesrücken	1540	Polypropylen	Wohnbereich
Teppich Langflor	AW L'Amour "75"	17	FusionBac Rücken	2540	Polyamid	Wohnbereich
PVC-Boden	Gerflor Clever	1,3	-	820	Polyvinylchlorid	Wohn-, Essbereich, Bad
PVC-Boden	IVC PVC Presto Memphis dunkel 549	2,5	-	1350	Polyvinylchlorid	Privatnutzung
PVC-Boden	Gerflor Quatro Granit Grau-Blau 0617	4,0	Schaumrücken	1790	Polyvinylchlorid Glasvlies	Wohn-, Essbereich, Bad

Die bewertete Trittschallminderung aller Bodenbeläge liegt zwischen 10 und über 33 dB und entspricht damit in etwa den Erwartungen wie sie aus Prüfungen am IBP und auch aus den Herstellerangaben, sofern vorhanden, bekannt sind.

Die Messungen von Laminat ohne und mit Trittschallunterlage unterschieden sich um ca. 6 dB. Bei den entsprechenden Messungen des Korkparketts wirkt sich die Verwendung der Trittschalldämmung weniger stark aus, die Differenz beträgt hier nur 3,7 dB. Die höchsten Werte erreichten die beiden Hochflur-Teppiche 2 und 3 mit 26,6 bzw. 32,7 dB. Der geringste Wert für die bewertete Trittschallminderung auf der Rohdecke wurde mit 10,4 dB für den 1,3 mm dicken PVC-Boden ermittelt. Vergleicht man die Messungen Laminat 2 und Laminat 1 auf Teppich 1 ergibt sich ein Unterschied von 1,4 dB. Ob das Laminat also auf einer Trittschalldämmung oder auf einem vorhandenen, dünnen Teppich verlegt wird, hat auf den Einzahlwert kaum eine Auswirkung.

Die Kurvenverläufe der Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke sind in den Anhängen A1.3 und 1.4 dargestellt. Aus den Diagrammen ist erkennbar, dass die Kurvenverläufe bis zu einer Frequenz von ca. 250 Hz relativ nahe beieinander liegen. Erst bei höheren Frequenzen ergeben sich zwischen den einzelnen Kurvenverläufen deutlichere Abweichungen. In den Diagrammen in Anhang 1 sind die jeweiligen Messungen der Bodenbeläge auf der Rohdecke nochmals im Vergleich zu den Messungen auf den Estrichen dargestellt.

5.3 Bodenbeläge auf Estrichen

Unter Ziffer 5.1 und 5.2 wurde die bewertete Trittschallminderung der Estriche und der Bodenbeläge auf der Rohdecke betrachtet. Da in der Praxis jedoch Bodenbeläge nicht direkt auf der Rohdecke, sondern in der Regel immer auf einem Estrich verlegt werden, soll untersucht werden, welche Werte sich für die bewertete Trittschallminderung ergeben, wenn diese nicht auf der Rohdecke, sondern auf den vier ausgewählten Estrichen gemessen wird. Für jeden Bodenbelag nach wurde die bewertete Trittschallminderung auf den vier Estrichen nach Tabelle 3 ermittelt.

Im Folgenden erfolgt der Vergleich der Trittschallminderung für die unterschiedlichen Bodenbeläge auf jeweils einem Estrich. In den Bildern in Anhang A 1.5 bis A 1.12 ist der terzweise Verlauf der Trittschallminderung der Bodenbeläge auf den vier verschiedenen schwimmendem Estrich dargestellt. Zusätzlich ist in jedem Bild der Verlauf der Trittschallminderung des jeweiligen Estrichs auf der Rohdecke enthalten.

5.3.1 Estrich 1

Die Bilder A 1.3 und A 1.4 zeigen die Trittschallminderung der untersuchten Bodenbeläge auf Estrich EP1. Zum direkten Vergleich ist in jedem Diagramm außerdem der Verlauf der Trittschallminderung von Estrich EP1 ohne Belag dargestellt. Grundsätzlich ist bei allen Kurvenverläufen erkennbar, dass die Frequenzspektren im tiefen Frequenzbereich sehr nahe beieinander liegen. Hier wird die Trittschallminderung des Estrichs durch den Bodenbelag nur sehr geringfügig beeinflusst. Wie bereits unter 5.1 beschrieben, bestimmt dieser tieffrequente Bereich

jedoch den Einzahlwert der Trittschallminderung. Erst bei mittleren und höheren Frequenzen ergeben sich deutlichere Verbesserungen durch die Bodenbeläge. Die Abweichungen in diesem Frequenzbereich haben jedoch, wie ebenfalls unter Ziffer 5.1 beschrieben, kaum einen Einfluss auf die Bildung des Einzahlwertes.

Dieser Zusammenhang kann beispielhaft anhand der Messung des Laminat in Bild A 1.3 verdeutlicht werden: Im tieffrequenten Bereich bis ca. 250 Hz sind die Abweichungen zur Messung auf dem Estrich ohne Bodenbelag nur sehr gering. Für die Messung Estrich EP1 mit Laminat ergibt sich eine bewertete Trittschallminderung von $\Delta L_{w,2} = 43,6$ dB, die bewertete Trittschallminderung des Estrichs beträgt $\Delta L_{w,1} = 40,8$ dB. Die Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung des Estrichs durch den Bodenbelag beträgt damit $(\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}) = 2,8$ dB. Die Unterschiede in den Kurvenverläufen ab 500 Hz von teilweise über 10 dB wirken sich demnach nicht auf die Bildung des Einzahlwertes aus.

In Bild A1.3 links sind alle Ergebnisse für die Messungen von Laminat und Parkett auf Estrich EP1 dargestellt. Die Kurvenverläufe sind bis zu einer Frequenz von ca. 500 Hz nahezu identisch. Erst im darüber liegenden Frequenzbereich sind Abweichungen zur Messung auf dem Estrich ohne Bodenbelag erkennbar, die jedoch für die dargestellten vier Messungen mit maximal ca. 10 dB relativ gering sind. Bei hohen Frequenzen laufen die Kurven wieder näher zusammen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Anregung mit dem Norm-Hammerwerk in der Amplitude begrenzt ist und somit die gemessenen Werte ab ca. 2000 Hz von Fremdgeräusch beeinflusst sind.

In Bild A1.3 rechts sind die Messungen mit dem Norm-Hammerwerk auf den drei Teppichen auf Estrich EP1 abgebildet. Hier ergeben sich für die Hochflorteppiche schon ab einer Frequenz von ca. 100 Hz leichte Verbesserungen. Da die Abweichungen hier im tieffrequenten Bereich deutlich größer sind, als bei den Messungen mit Laminat, Parkett, PVC sowie dem Nadelfilzteppich, ergeben sich für die Hochflorteppiche, bezogen auf Estrich EP1, auch die höchsten Werte für die Trittschallminderung von Bodenbelag mit schwimmendem Estrich. Die sehr hohe Trittschallminderung der beiden Hochflorteppiche lässt sich u.a. mit der verringerten Fallhöhe der Hämmer, aufgrund der großen Florhöhe der Beläge erklären. Beim Nadelfilz ist der Effekt nicht erkennbar. Bei diesem Teppich sind die Abweichungen im tieffrequenten Bereich am geringsten, hier ergibt sich mit 41,9 dB auch der geringste Wert für die bewertete Trittschallminderung von Estrich mit Bodenbelag. Der Verlauf ähnelt denen der Laminatböden auf dem Estrich EP1.

Bild A1.4 links zeigt die Messungen der PVC-Böden auf Estrich EP1. Wie auch bei den Teppichen, ergibt sich hier der höchste Wert für den dicksten Bodenbelag. Die Kurven sind bis ca. 200 Hz nahezu identisch und weichen erst zu höheren Frequenzen hin voneinander und von der Messung auf dem Estrich ohne Bodenbelag ab. Auch hier sind die Abweichungen des sehr dünnen PVC 1,3 im Vergleich zum Estrich EP1 ohne Belag am geringsten. Im Vergleich zu den Messungen auf den Teppichen zeigt sich, dass diese im Vergleich zu den PVC-Böden vor allem im mittleren Frequenzbereich eine höhere Trittschallminderung besitzen. Im oberen Frequenzbereich sind die Verläufe wieder nahezu identisch. In A1.4 rechts sind die Messungen Laminat auf Nadelfilzteppich und Nadelfilzteppich auf Laminat mit Unterlage dargestellt, die ebenfalls bis zu einer Frequenz von ca. 200 Hz fast den gleichen Verlauf wie die Messung auf Estrich EP1 besitzen.

In Bild A1.5 links sind beispielhaft und zum direkten Vergleich nochmals die Messungen von Laminat und Laminat mit Unterlage jeweils auf Estrich EP1 und auf der Rohdecke dargestellt. Bild A1.5 rechts zeigt die Messungen von Laminat mit Unterlage und Parkett mit Unterlage ebenfalls jeweils auf Estrich EP1 und auf der Rohdecke. In beiden Diagrammen erkennt man, dass die Unterschiede durch die Trittschallunterlage auf der Rohdecke bei tieferen Frequenzen deutlich größer sind als bei den Messungen auf dem Estrich. Für die Messungen Laminat und Laminat mit Unterlage auf der Rohdecke ergibt sich eine Differenz von 5,9 dB, für die entsprechenden Messungen auf Estrich EP1 beträgt die Differenz nur noch 0,6 dB. Auch der Anstieg zu hohen Frequenzen hin ist auf der Rohdecke deutlich steiler als auf dem Estrich. Die Trittschallunterlage unter dem Laminat bzw. Parkett bewirkt also eine Trittschallverbesserung gegenüber der Verlegung von Laminat oder Parkett ohne Unterlage von ca. 5 dB bei der Messung nach Norm auf der Rohdecke und ca. 1 dB bei der Messung auf dem Estrich EP1.

In Bild A1.6 sind die Trittschallminderungen Laminat auf Trittschallunterlage und Laminat auf Teppich jeweils beide auf Estrich EP1 und auf der Rohdecke dargestellt. Im Diagramm ist erkennbar, dass sich die Messungen auf dem Estrich sowohl in der Einzahlangabe als auch im Kurvenverlauf nur wenig unterscheiden. Die Messungen auf der Rohdecke unterscheiden sich sowohl im tiefen als auch im hohen Frequenzbereich deutlicher voneinander als die Messungen auf dem Estrich, wobei sich mit dem Teppich höhere Verbesserungen, als mit der kommerziellen Trittschallunterlage ergeben.

5.3.2 Estrich 2

Für den Estrich EPS ist in den Bildern A1.7 und 1.8 der Verlauf der Trittschallminderung von Estrich mit Bodenbelag und zum Vergleich die des Estrichs ohne Bodenbelag dargestellt. A 1.7 zeigt im linken Teil die Messungen von Laminat und Parkett jeweils mit und ohne Unterlage sowie im rechten Teil die Messungen der drei Teppichböden.

In A1.8 sind links die Messungen der drei PVC-Böden und rechts die Kombinationen Laminat auf Teppich und Teppich auf Laminat auf dem Estrich EPS dargestellt. Auch hier sind die Abweichungen zwischen den einzelnen Kurvenverläufen im tieffrequenten Bereich insgesamt deutlich geringer als im mittel- und hochfrequenten Bereich.

Im Vergleich zu den Messungen auf Estrich EP1 schwanken bei Estrich EPS die Kurvenverläufe der Trittschallminderung von Estrich mit Bodenbelag im tieffrequenten Bereich stärker um die Trittschallminderung des Estrichs, sowohl in positive als auch in negative Richtung. Bei den in A 1.7 dargestellten Messungen von Laminat und Teppich sind im tieffrequenten Bereich, der die Bildung des Einzahlwertes hauptsächlich bestimmt, die negativen Abweichungen sogar größer als die positiven, weshalb die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,2}$ von Estrich mit Bodenbelag hier geringer ist als die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ des Estrichs ohne Bodenbelag. In diesen beiden Fällen führt also das Aufbringen eines Bodenbelags zu einer Verschlechterung der bewerteten Trittschallminderung des Deckenaufbaus.

Bei den Messungen auf Estrich EP1 erfolgt der Anstieg der Trittschallminderung schon bei tiefen Frequenzen kontinuierlich zu hohen Frequenzen hin. Im Vergleich dazu, steigt die Trittschallminderung bei den Messungen auf Estrich EPS im tiefen Frequenzbereich bis ca. 150 Hz deutlich flacher an. Dies ist vermutlich auf die höhere Resonanzfrequenz von Estrich 2 zurückzuführen (siehe Bild 6).

5.3.3 Estrich 3

In den Bildern A 1.9 und A 1.10 ist die Trittschallminderung von Estrich XPS mit und ohne Bodenbelag dargestellt. Der Verlauf der Trittschallminderung der Bodenbeläge ist dem auf Estrich EPS sehr ähnlich, wobei die Schwankung der Trittschallminderung im tiefen Frequenzbereich zum Verlauf der Trittschallminderung des Estrichs in positive und negative Richtung hier noch stärker ist.

Auch hier ist der Verlauf im tiefen Frequenzbereich zunächst relativ flach und steigt im mittelfrequenten Bereich ab einer Frequenz von ca. 500 Hz zu den hohen Frequenzen stark an. Ab ca. 2000 Hz laufen die Kurven wieder näher zusammen, da aufgrund der hohen Trittschallminderung und der begrenzten Anregung mit dem Norm-Hammerwerk der Einfluss des Hintergrundgeräusches wächst.

5.3.4 Estrich 4

Der Trockenestrich TE stellt im Vergleich zu den drei mineralischen Estrichen einen Sonderfall dar. Auch für diesen Estrich sind in den Bildern A1.11 und 1.12 der Verlauf der Trittschallminderung von Bodenbelag mit Estrich sowie die Trittschallminderung vom Estrich ohne Belag dargestellt.

Im tieffrequenten Bereich bei ca. 160 Hz kommt es zu einem Einbruch der Trittschallminderung des Estrichs. Dies ist der Bereich in dem in etwa die Resonanzfrequenz des Estrichs liegt (siehe Bild 6). Oberhalb der Resonanzfrequenz steigt die Trittschallminderung im Vergleich zu den mineralischen Estrichen steil zu hohen Frequenzen hin an. Dies ist ähnlich wie beim Verlauf der berechneten Trittschallminderung in Bild 5. Die Kurven laufen, ähnlich wie bei Estrich EP1, im tiefen Frequenzbereich sehr dicht beieinander. Die Abweichungen zwischen den Kurvenverläufen der Trittschallminderung von Estrich mit Bodenbelag und der Trittschallminderung des Estrichs im mittel- und hochfrequenten Bereich sind dabei deutlich geringer als bei allen mineralischen Estrichen.

5.3.5 Diskussion der Messergebnisse

Unter den Ziffern 5.1 und 5.2 wurde die Ermittlung der bewerteten Trittschallminderung der Estriche und der Bodenbeläge auf der Rohdecke beschrieben. Unter den Ziffern 5.3.1 bis 5.3.4 erfolgte dann der terzweise Vergleich der Messergebnisse der Bodenbeläge auf den Estrichen. Nun sollen die Einzahlangaben miteinander verglichen und die Verbesserung der des Estrichs durch den Bodenbelag beurteilt werden. Wie in 2.1.2. beschrieben wird die Auswertung der trittschallmindernden Wirkung der Bodenbeläge in Bezug auf Einzahlangaben Bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk mit den Differenzen von $L_{n,w}$ und ΔL_w durchgeführt, da es keine rechtliche

Vorgabe gibt. In Tabelle 9 sind die dazu verwendeten Formelzeichen für die diversen Einzahlwerte zusammengefasst.

Tabelle 9: Zusammenstellung der verwendeten Formelzeichen für die Trittschallminderung und die Norm-Trittschallpegel sowie deren Bedeutung

Kenngrößen	
Bezeichnung	Bedeutung
$\Delta L_{w,0}$	Bewertete Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke
$\Delta L_{w,1}$	Bewertete Trittschallminderung der Estriche
$\Delta L_{w,2}$	Bewertete Trittschallminderung von Estrich mit Bodenbelag
$\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$	Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung des Estrichs durch den Bodenbelag
$L_{n,w,0}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke
$L_{n,w,1}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel der Fertigdecke
$L_{n,w,2}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel der Fertigdecke mit Bodenbelag
$L_{n,w,3}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke mit Bodenbelag
$L_{n,w,0} - L_{n,w,3}$	Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke durch den Bodenbelag
$L_{n,w,0} - L_{n,w,1}$	Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke durch den Estrich
$L_{n,w,0} - L_{n,w,2}$	Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke durch den Estrich mit Bodenbelag
$L_{n,w,1} - L_{n,w,2}$	Differenz der bewerteten Norm-Trittschallpegel der Fertigdecke ohne und mit Bodenbelag

Die Differenz ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) entspricht der Wirkung des Bodenbelags, wenn er auf der jeweiligen Modell-Fertigdecke (Rohdecke + Teilestrich) verlegt wird. Die Ergebnisse stehen zusammengefasst in Tabelle 10. Sie zeigt, dass die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke insgesamt deutlich größer ist, als die vergleichbaren Werte ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$), also die Wirkung die die Bodenbeläge auf der Decke mit Estrich erreichen. Für $\Delta L_{w,0}$ bewegen sich die Werte in einem Bereich von 10,4 bis 32,7 dB. Für ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) liegen die Werte dagegen nur zwischen -0,8 und 15,0 dB.

In Bild 8 sind die ermittelten Messergebnisse aus Tabelle 10 in Balkendiagrammen dargestellt. Jeweils die ersten Balken (rot) zeigen die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke, die folgenden Balken (blau und grau) stellen die Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) des Estrichs durch die Bodenbeläge dar. Es ist zu erkennen, dass die Werte der Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke deutlich größer sind, als die Werte, die sich bei Messung auf der Rohdecke mit Teilestrich ergeben. Betrachtet man die Einzahlwerte in Tabelle 9 und die Darstellung in Bild 8, so zeigt sich, dass die Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) von Estrich XPS durch die entsprechenden Bodenbeläge ins-

gesamt am höchsten ist. Die insgesamt geringste Verbesserung wird durch die Bodenbeläge auf Estrich EPS erreicht. Hier führt das Auflegen eines Bodenbelags auf den Estrich in zwei Fällen, bei Laminat und Nadelfilzteppich, sogar zu einer Verschlechterung der Trittschalldämmung der gesamten Decke. Die höchsten Ergebnisse für ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) werden durch den Hochflorteppich HF35 erreicht. Durch ihn ergeben sich Werte von 7,7 dB bis maximal 15,0 dB auf den einzelnen Estrichen. Selbst auf dem sehr guten Estrich EP1 führt dieser Teppich noch zu einer Verbesserung von fast 9 dB. Die geringsten Werte ergeben sich für den Nadelfilzteppich. Dieser erreicht auf dem Estrich EP1 eine Verbesserung von 1,1 dB, auf dem Estrich EPS eine Verschlechterung von 0,8 dB und auf dem Estrich XPS 4,4 dB. Nach Norm auf der Rohdecke war die gemessene Verbesserung des Nadelfilzteppichs 16,6 dB.

Eine Alternative Angabe zur Wirkung der Bodenbeläge auf den Estrichteilstücken bietet die Auswertung der Differenzen der bewerteten Norm-Trittschallpegel. Die Ergebnisse hierfür sind in Tabelle 11 und grafisch in Bild 9 dargestellt. Dabei gibt die Differenz ($L_{n,w,0} - L_{n,w,1}$) an, um wie viel der bewertete Norm-Trittschallpegel der Rohdecke durch den jeweiligen Estrich vermindert wird. Die Differenz ($L_{n,w,0} - L_{n,w,3}$) beschreibt die Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke durch den Bodenbelag, bei direkter Verlegung des Bodenbelags auf der Rohdecke, mit ($L_{n,w,0} - L_{n,w,2}$) wird die durch Estrich mit Bodenbelag verursachte Verringerung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke gekennzeichnet. Dann wurde mit ($L_{n,w,1} - L_{n,w,2}$) die Differenz der bewerteten Norm-Trittschallpegel der Fertigdecke ohne und mit Bodenbelag ermittelt. Diese Werte sind vergleichbar mit der Differenz ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) aus Tabelle 10. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit denen aus Tabelle 10 und Bild 8. Die Unterschiede zur Auswertung mit den bewerteten Trittschallminderungen sind gering und resultieren aus dem Bezug auf die standardisierte Bezugsdecke (siehe 2.1.2).

In Tabelle 12 sind die Differenzen der Normtrittschallpegel und die Trittschallminderungen noch einmal gegenübergestellt. Vergleicht man die beiden Auswertungsarten miteinander, zeigt sich, dass auch bei Verwendung der bewerteten Norm-Trittschallpegel die Ergebnisse für die Messungen der Bodenbeläge auf der Rohdecke deutlich höher sind, als die Verbesserung, die die Bodenbeläge bei Messung auf einer Fertigdecke erreichen. Auch ein Vergleich der ermittelten Einzahlangaben zeigt, dass sich die Ergebnisse der beiden Auswertungsmöglichkeiten nur geringfügig unterscheiden. Die Differenz zwischen der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke und den vergleichbaren Werte ($L_{n,w,0} - L_{n,w,3}$) beträgt maximal 1,8 dB. Betrachtet man die Ergebnisse für die Verbesserung der Trittschallminderung des Estrichs durch den Bodenbelag, unterscheiden sich die Werte ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) auf Estrich EP1 von den vergleichbaren Werten ($L_{n,w,1} - L_{n,w,2}$) um maximal 0,9 dB, auf Estrich EPS beträgt die Differenz dieser Werte im Durchschnitt ca. 0,5 dB, für Estrich 3 ca. 0,2 dB und für Trockenestrich ca. 0,1 dB. Da sich die Ergebnisse der beiden Auswertungsarten also sehr ähnlich sind, beschränkt sich die ausführliche Diskussion der Messergebnisse auf die Auswertung mit ΔL_w .

In Bild 10 werden durch die roten Balken die Messungen der Bodenbeläge auf der Rohdecke dargestellt. Bei den restlichen Balken veranschaulicht der ausgefüllte Teil die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,1}$ des jeweiligen Estrichs. Der gestrichelte Teil zeigt wiederum die Verbesserung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$), die nur durch den Bodenbelag hervorgerufen wird. Der gesamte Balken stellt demnach die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,2}$ von Estrich mit Bodenbelag dar.

Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen folgendes ableiten: Wird ein Bodenbelag, wie in der Praxis üblich, auf einer Fertigdecke – bestehend aus Rohdecke und Estrich – verlegt, erreicht dieser Bodenbelag nicht die nach Norm angegeben oder ermittelte trittschallmindernde Wirkung. Der Großteil der trittschallmindernden Wirkung einer Deckenauflage bestehend aus Estrich und Bodenbelag wird durch den Estrich erzielt.

Bei den restlichen Balken veranschaulicht der ausgefüllte Teil die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,1}$ des jeweiligen Estrichs. Der gestrichelte Teil zeigt wiederum die Verbesserung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$), die nur durch den Bodenbelag hervorgerufen wird. Der gesamte Balken stellt demnach die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,2}$ von Estrich mit Bodenbelag dar.

In DIN EN ISO 717-2 [5] wird eine Möglichkeit beschrieben, die Bewertung der Trittschallminderung von Deckenauflagen mit Spektrum-Anpassungswerten auf bestimmte Bausituationen anzupassen und damit den Praxisbezug zu verbessern. Die Ergebnisse bei Anwendung der Spektrum-Anpassungswerte befinden sich in Anhang A2 in vergleichbarer Form tabellarisch und grafisch. zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke bei Anwendung der Spektrum Anpassungswerte zwar geringer ausfällt, dennoch ist das Ergebnis weit entfernt von den Werten bei praxisnaher Verlegung auf einem schwimmenden Estrich.

Tabelle 10 Bewertete Trittschallminderung von Estrichen, Bodenbelägen auf der Rohdecke, sowie der Bodenbeläge auf Estrichen

Bodenbe- läge	$\Delta L_{w,0}$ [dB]	Trittschallminderung							
		EP1	EPS		XPS		TE		
		$\Delta L_{w,1}$							
		40,8		26,3		20,8		17	
		$\Delta L_{w,2}$	$\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$	$\Delta L_{w,2}$	$\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$	$\Delta L_{w,2}$	$\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$	$\Delta L_{w,2}$	$\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$
Lam	13,6	43,6	2,8	26,1	-0,2	25,7	4,9	19,7	2,7
U+Lam	19,5	44,2	3,4	28,2	1,9	25,8	5	19,1	2,1
Park	17,4	43	2,2	27,6	1,3	25,1	4,3	19,4	2,4
U+Park	21,1	43,3	2,5	27,3	1	26,1	5,3	18,9	1,9
NF	16,6	41,9	1,1	25,5	-0,8	25,2	4,4	17,6	0,6
HF	26,6	47,3	6,5	31,9	5,6	30,2	9,4	20,9	3,9
HF35	32,7	49,5	8,7	35,8	9,5	35,8	15	24,7	7,7
PVC 1,3	10,4	43,1	2,3	27,9	1,6	24,9	4,1	17,7	0,7
PVC 2,5	19,9	43,3	2,5	28,3	2	26,9	6,1	17,9	0,9
PVC 4,0	22,9	43,8	3	28,1	1,8	27,3	6,5	18,4	1,4
Lam auf NF	20,9	43,9	3,1	28,3	2	27,7	6,9	21,3	4,3
NF auf U+Lam	22	43,3	2,5	29,3	3	27,3	6,5	20,1	3,1

 $\Delta L_{w,0}$

= bewertete Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke

 $\Delta L_{w,1}$

= bewertete Trittschallminderung der Estriche auf der Rohdecke

 $\Delta L_{w,2}$

= bewertete Trittschallminderung der Estriche mit Bodenbelag auf der Rohdecke

Tabelle 11: Einzahlangaben für die Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke durch den Bodenbelag ($L_{n,w,0} - L_{n,w,3}$), durch den Estrich ($L_{n,w,0} - L_{n,w,1}$), durch den Estrich mit Bodenbelag ($L_{n,w,0} - L_{n,w,2}$) und die Differenz der bewerteten Norm-Trittschallpegel der Fertigdecke ohne und mit Bodenbelag ($L_{n,w,1} - L_{n,w,2}$)

Bodenbeläge	Differenz der Norm-Trittschallpegel [dB]							
	EP1		EPS		XPS		TE	
	$L_{n,w,0} - L_{n,w,3}$		$L_{n,w,0} - L_{n,w,1}$		$L_{n,w,0} - L_{n,w,2}$		$L_{n,w,1} - L_{n,w,2}$	
	39,9		25		19,4		15,1	
	$L_{n,w,0}$	$L_{n,w,1}$	$L_{n,w,0}$	$L_{n,w,1}$	$L_{n,w,0}$	$L_{n,w,1}$	$L_{n,w,0}$	$L_{n,w,1}$
	$L_{n,w,2}$	$L_{n,w,2}$	$L_{n,w,2}$	$L_{n,w,2}$	$L_{n,w,2}$	$L_{n,w,2}$	$L_{n,w,2}$	$L_{n,w,2}$
Lam	13,6	41,9	2	24,4	-0,6	5	17,9	2,8
U+Lam	19,1	42,4	2,5	26,4	1,4	4,2	17,2	2,1
Park	16,8	41,5	1,6	26,1	1,1	4,3	17,6	2,5
U+Park	19,9	41,5	1,6	25,5	0,5	5,5	17,1	2
NF	16,3	40,1	0,2	23,7	-1,3	24	15,7	0,6
HF	25,1	45,5	5,6	30,1	5,1	28,8	19,1	4
HF35	30,9	47,7	7,8	34	9	34	22,9	7,8
PVC 1,3	10,5	41,6	1,7	26,5	1,5	23,6	15,8	0,7
PVC 2,5	19,3	41,5	1,6	26,5	1,5	25,5	16,1	1
PVC 4,0	21,7	42	2,1	26,3	1,3	25,7	16,6	1,5
Lam auf NF	19,7	42,9	3	26,4	1,4	26,5	19,5	4,4
NF auf U+Lam	20,8	41,5	1,6	27,5	2,5	26,1	18,2	3,1

- $L_{n,w,0}$ = bewerteter Trittschallpegel der Bodenbeläge auf der Rohdecke
 $L_{n,w,1}$ = bewerteter Trittschallpegel der Rohdecke mit Estrich (Fertigdecke)
 $L_{n,w,2}$ = bewerteter Trittschallpegel Fertigdecke mit Bodenbelag
 $L_{n,w,3}$ = bewerteter Trittschallpegel Rohdecke mit Bodenbelag

Tabelle 12: Vergleich der Herstellerangaben für die untersuchten Bodenbeläge, der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke und der Ergebnisse der beiden Auswertungsarten mit ΔL_w und $L_{n,w}$

Bodenbeläge	Trittschallminderung und Differenz der Norm-Trittschallpegel [dB]										
	Her- steller- angabe ΔL_w [dB]	Wirkung der Bodenbeläge auf der Rohdecke		Wirkung der Bodenbeläge auf der Fertigdecke bei Auswertung mit ΔL_w				Wirkung der Bodenbeläge auf der Fertigdecke bei Auswertung mit $L_{n,w}$			
		$\Delta L_{w,0}$ [dB]	$L_{n,w,0}-L_{n,w,3}$ [dB]	EP1	EPS	XPS	TE	EP1	EPS	XPS	TE
Lam	-	13,6	13,6	2,8	-0,2	4,9	2,7	2	-0,6	5	2,8
U+Lam	-	19,5	19,1	3,4	1,9	5	2,1	2,5	1,4	4,2	2,1
Park	-	17,4	16,8	2,2	1,3	4,3	2,4	1,6	1,1	4,3	2,5
U+Park	-	21,1	19,9	2,5	1	5,3	1,9	1,6	0,5	5,5	2
NF	-	16,6	16,3	1,1	-0,8	4,4	0,6	0,2	-1,3	4,6	0,6
HF	-	26,6	25,1	6,5	5,6	9,4	3,9	5,6	5,1	9,4	4
HF35	35	32,7	30,9	8,7	9,5	15	7,7	7,8	9	14,6	7,8
PVC 1,3	10	10,4	10,5	2,3	1,6	4,1	0,7	1,7	1,5	4,2	0,7
PVC 2,5	21	19,9	19,3	2,5	2	6,1	0,9	1,6	1,5	6,1	1
PVC 4,0		22,9	21,7	3	1,8	6,5	1,4	2,1	1,3	6,3	1,5
Lam auf NF	-	20,9	19,7	3,1	2	6,9	4,3	3	1,4	7,1	4,4
NF auf U+Lam	-	22	20,8	2,5	3	6,5	3,1	1,6	2,5	6,7	3,1

- $\Delta L_{w,0}$
 $\Delta L_{w,1}$
 $\Delta L_{w,2}$
 $L_{n,w,0}$
 $L_{n,w,1}$
 $L_{n,w,2}$
 $L_{n,w,3}$
- = bewertete Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke

= bewertete Trittschallminderung der Estriche auf der Rohdecke

= bewertete Trittschallminderung der Estriche mit Bodenbelag auf der Rohdecke

= bewerteter Trittschallpegel der Bodenbeläge auf der Rohdecke

= bewerteter Trittschallpegel der Rohdecke mit Estrich (Fertigdecke)

= bewerteter Trittschallpegel Fertigdecke mit Bodenbelag

= bewerteter Trittschallpegel Rohdecke mit Bodenbelag

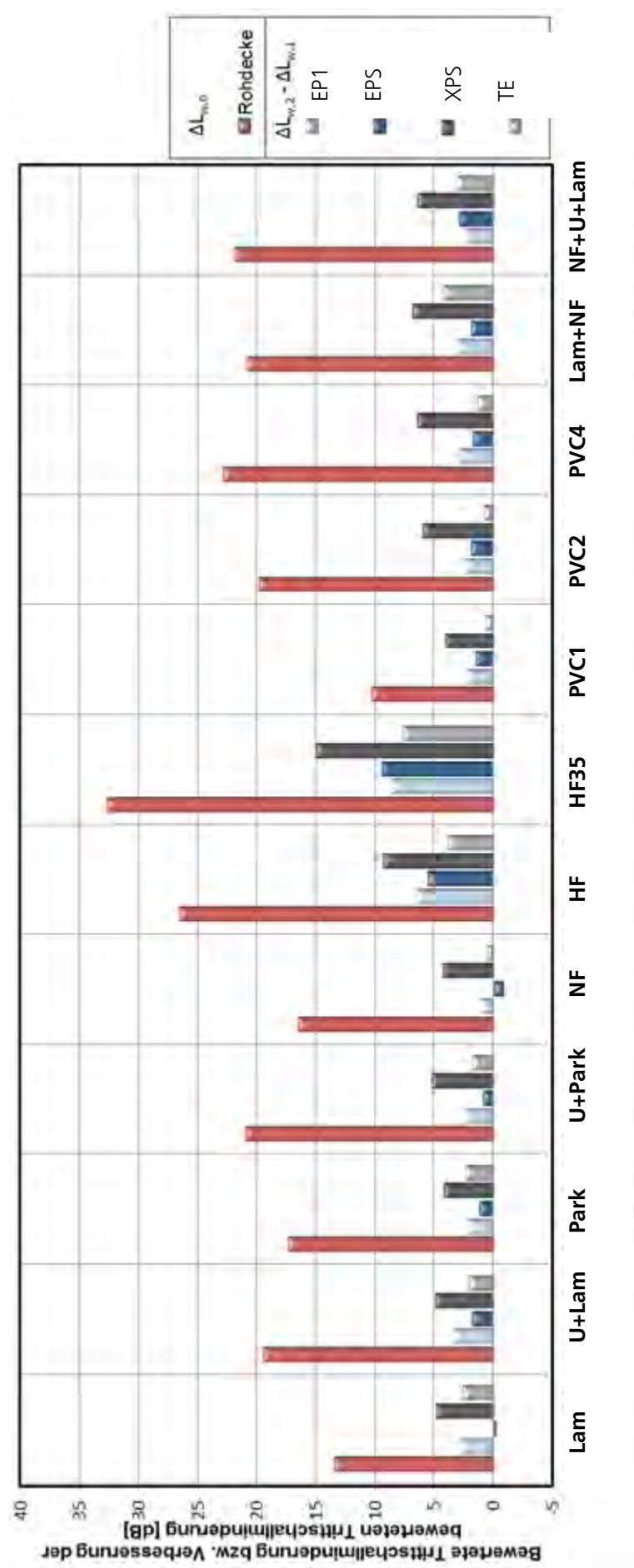


Bild 8: Bewertete Trittschallminderung der Estriche und Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung durch die Bodenbeläge

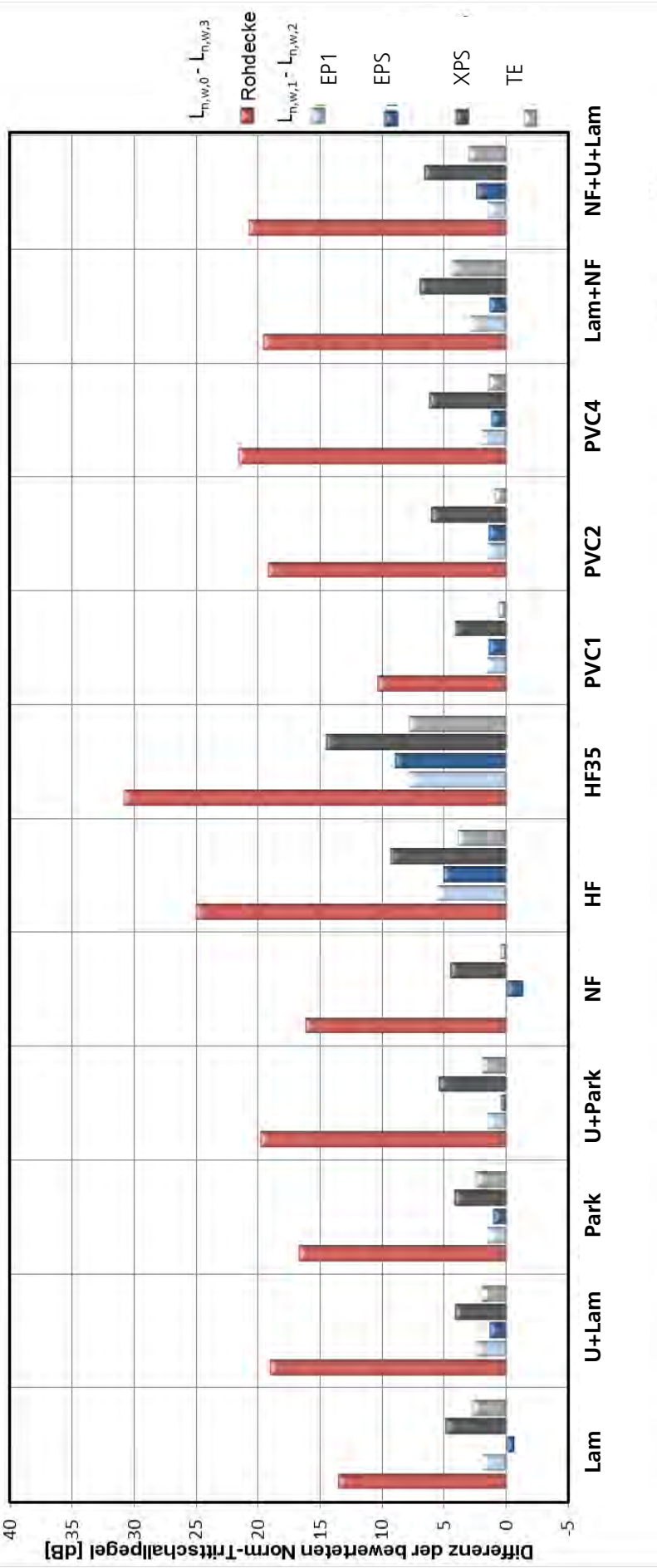


Bild 9: Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke durch den Bodenbelag ($L_{n,w,0} - L_{n,w,3}$) und der Differenz der bewerteten Norm-Trittschallpegel der Decke mit Teilestrich ohne und mit Bodenbelag ($L_{n,w,1} - L_{n,w,2}$)

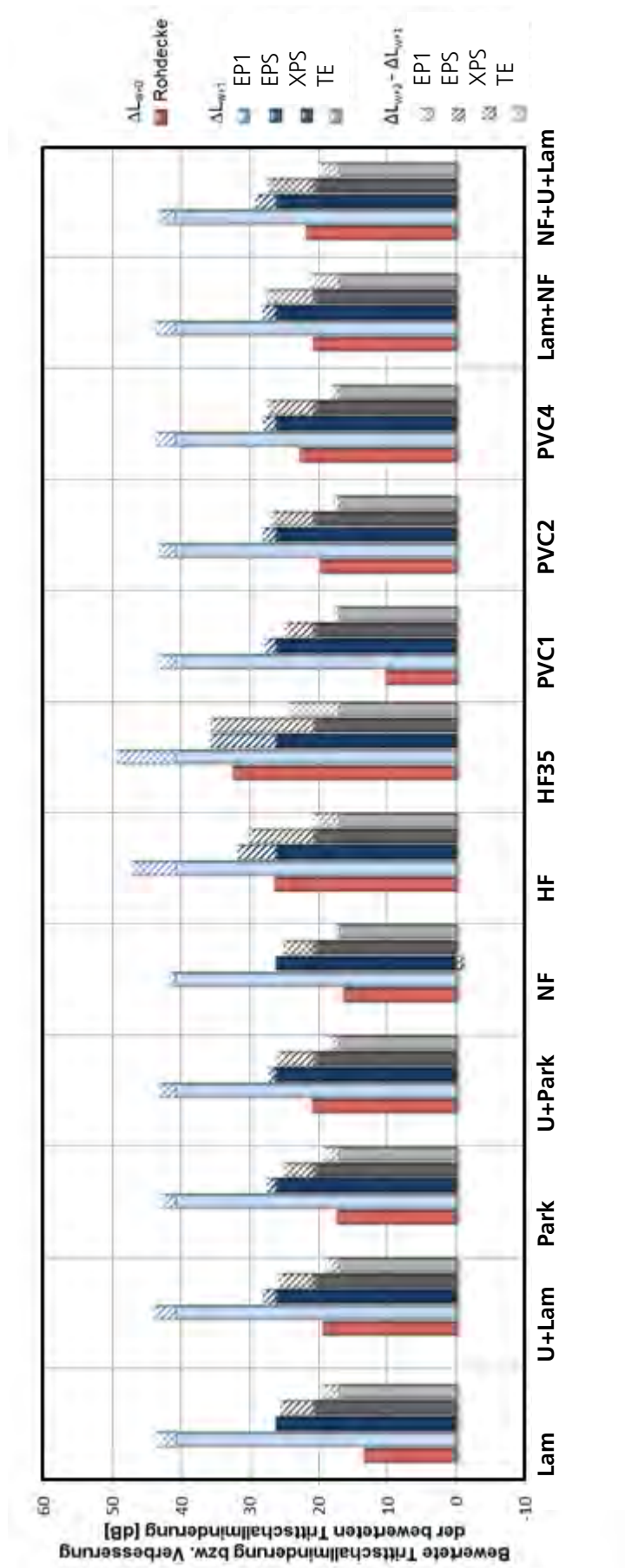


Bild 10: Darstellung der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke, der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,1}$ der Estriche und der Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) des Estrichs durch den Bodenbelag

5.3.6 Korrelation der Messergebnisse

Nach Ermittlung der Verbesserung der Trittschallminderung des Estrichs durch den Bodenbelag soll untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Werten ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) und den in Anlehnung an DIN EN ISO 10140 ermittelten Werten $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke besteht. Dazu wurden die beiden o.g. Größen in einem Diagramm gegeneinander aufgetragen (siehe Bild 11)

Auf den ersten Blick führt die Korrelation der Messergebnisse zu keinem eindeutigen Zusammenhang zwischen den beiden dargestellten Größen. Das Diagramm zeigt aber, dass Estrich XPS bei den mineralischen Estrichen die höchsten Werte für die Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung des Estrichs durch den Bodenbelag erreicht. Die geringsten Werte für ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) werden in den meisten Fällen bei den mineralischen Estrichen auf Estrich EPS erreicht.

Außerdem erkennbar ist, dass die Messwerte für ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) für $\Delta L_{w,0}$ bis ca. 25 dB in einem Bereich von 0-8 dB liegen. Des Weiteren gilt für die meisten Bodenbeläge folgender Zusammenhang: Je höher die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ eines Bodenbelags auf der Rohdecke, desto höher sind die Werte für die Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung des Estrichs durch den Bodenbelag. Auch die Spreizung bei ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) steigt, je höher die Messwerte für $\Delta L_{w,0}$ sind. Die beiden Hochflorteppiche stellen Sonderfälle dar, jedoch gilt auch bei diesen Bodenbelägen, dass die Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) umso größer ist, je größer die Werte für $\Delta L_{w,0}$ sind

Die Korrelation der beiden dargestellten Größen lässt also auf den ersten Blick keinen eindeutigen mathematischen Zusammenhang erkennen, mit Hilfe der Diagramme können aber für die in Anlehnung an DIN EN ISO 10140 ermittelten Werte der bewerteten Trittschallminderung auf der Rohdecke in etwa die in der Praxis tatsächlich erreichbaren Verbesserungen der jeweiligen Bodenbeläge auf einer Fertigdecke, abgelesen werden.

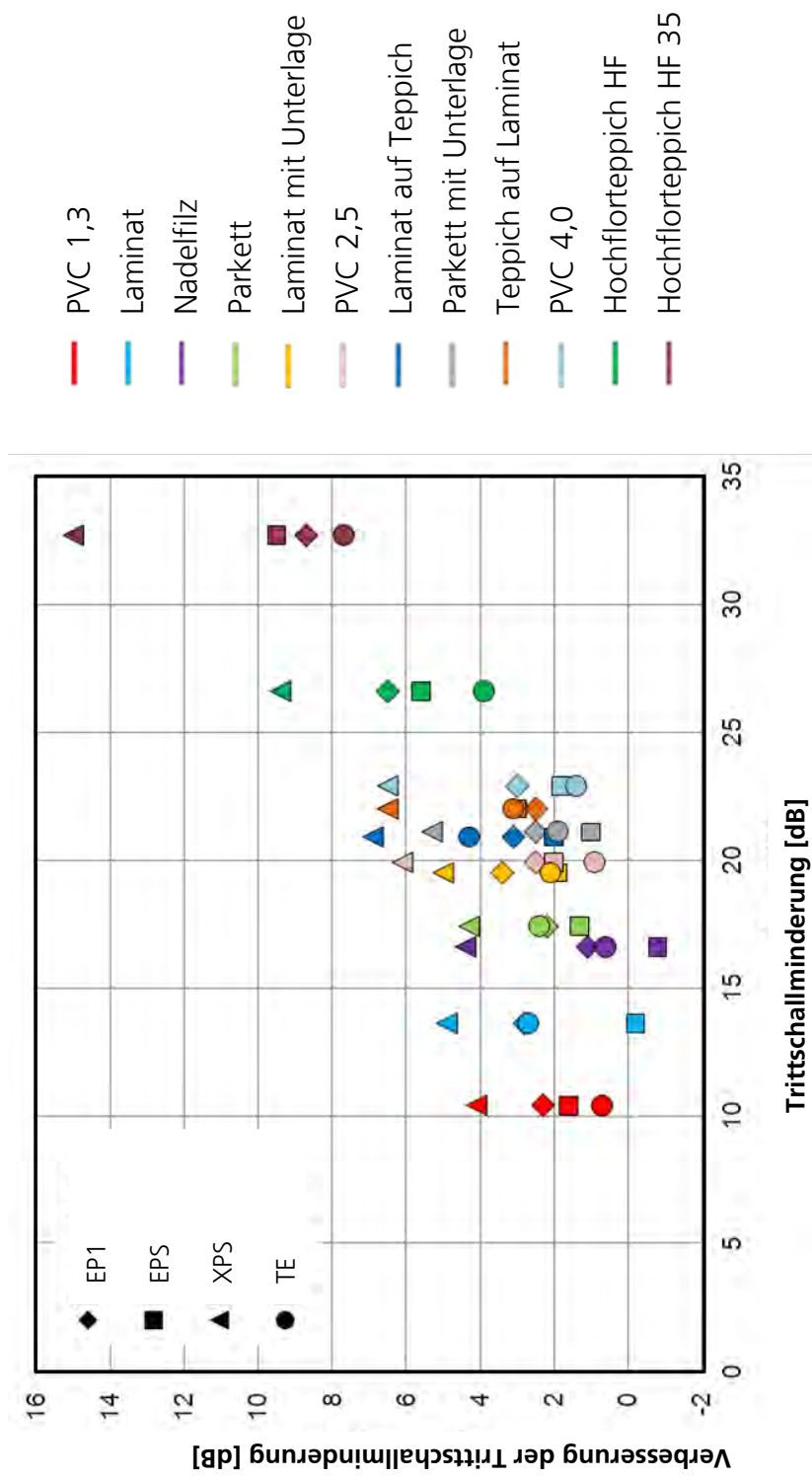


Bild 11: Verbesserung der Trittschallminderung der Bodenbeläge auf einer Fertigdecke über der Trittschallminderung nach Norm auf der Rohdecke

5.4 Modell zur Beschreibung der Wirkung von Bodenbelägen

Die Messergebnisse in 5.2 und 5.3 haben gezeigt, dass die in Anlehnung an DIN EN ISO 10140 ermittelten Werte der Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke und die Werte der Trittschallminderung der Bodenbeläge bei Verlegung auf den Estrichteilstücken weichen deutlich voneinander ab. Ziel ist es aber die seither ermittelten Werte für Bodenbeläge nicht unbrauchbar werden zu lassen. Aus diesem Grund soll mit Hilfe der gemessenen Daten ein empirisches Modell entwickelt werden, mit dessen Hilfe sich die Werte der Trittschallminderung von Bodenbelägen bei Verlegung auf einem Estrich ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) mit Hilfe der bekannten Werte der Trittschallminderung von Bodenbelägen auf der Rohdecke näherungsweise berechnen lassen.

Wie aus Bild 12 zu erkennen ist, besteht zwischen der Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung Belags auf der Rohdecke und auf der Rohdecke mit Estrich ein verhältnismäßig einfacher Zusammenhang: Unterhalb einer Grenze von 20 dB ist die Verbesserung mit einer Abweichung von ca. ± 1 dB näherungsweise konstant. An diesen im Folgenden als Plateau bezeichneten Bereich schließt sich ein linearer Anstieg der Verbesserung mit einer Steigung von 6 dB je Dekade an. Dieser einfache Zusammenhang gilt in gleicher Weise für alle untersuchten Estriche einschließlich des Trockenestrichs. Lediglich die Höhe des Plateaus fällt je nach Estrich unterschiedlich aus. Die entsprechenden Werte für die verschiedenen Estriche betragen:

mineral. Estrich EP1 ($\Delta L_{w,Estr.} = 40,8$ dB): 2,1 dB,

mineral. Estrich EPS ($\Delta L_{w,Estr.} = 26,3$ dB): 1,1 dB,

mineral. Estrich XPS ($\Delta L_{w,Estr.} = 20,8$ dB): 5,2 dB,

Trockenestrich TE ($\Delta L_{w,Estr.} = 17,0$ dB): 1,3 dB.

Die Übereinstimmung dieses einfachen Modells mit den Messergebnissen ist überraschend gut. Die Standardabweichung zwischen Messung und Rechnung beträgt lediglich etwa 1,0 dB und auch die maximale Abweichung von 2,5 dB ist verhältnismäßig gering. Bei Estrichen mit abweichenden akustischen Eigenschaften kann unter Verwendung der bewerteten Trittschallminderung zwischen den oben genannten Werten für die Plateauhöhe interpoliert werden. In Tabelle 13 sind die Abweichungen zwischen Messung und Berechnung der Trittschallminderungen der Bodenbeläge auf den Estrichen, sowie Maxima, Minima, Mittelwerte der Abweichungen und die Standardabweichung dargestellt.

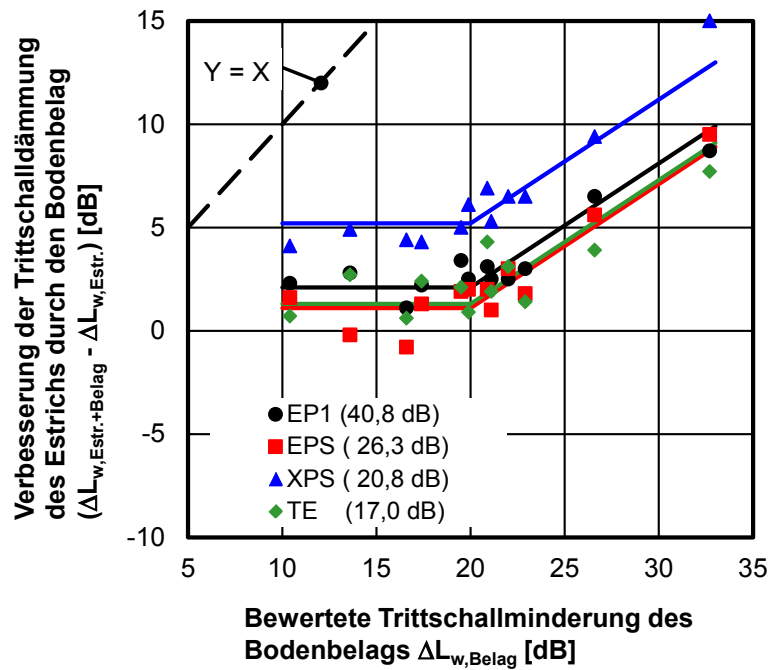


Bild 12: Zusammenhang zwischen der Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung der Estriche durch die Bodenbeläge, $\Delta L_{w,Estr.+Belag} - \Delta L_{w,Estr.}$, und der bewerteten Trittschallminderung der Beläge bei Verlegung auf der Rohdecke, $\Delta L_{w,Belag}$. Die Werte für die verschiedenen Estriche sind jeweils in unterschiedlichen Farben dargestellt. Die gleichfarbigen Linien wurden mit einem im Text beschriebenen Modell für den jeweiligen Estrich berechnet.

Tabelle 13: Abweichungen der Ergebnisse aus Messung und Berechnung der Trittschallminderung von Bodenbelägen auf verschiedenen Estrichen, sowie die Mittelwerte

	Abweich. Rechn. - Mess. [dB]			
	EP1	EPS	XPS	TE
	-0,7	1,3	0,3	-1,4
	-1,3	-0,8	0,2	-0,8
	-0,1	-0,2	0,9	-1,1
	0,3	0,8	0,6	0,1
	1,0	1,9	0,8	0,7
	-0,4	-0,5	-0,2	1,4
	1,0	-0,8	-2,2	1,2
	-0,2	-0,5	1,1	0,6
	-0,4	-0,9	-0,9	0,4
	0,8	1,0	0,4	1,6
	-0,5	-0,4	-1,2	-2,5
	0,8	-0,7	-0,1	-0,6
Mittelwert	0,0	0,0	0,0	0,0
Minimum	-1,3	-0,9	-2,2	-2,5
Maximum	1,0	1,9	1,1	1,6
Standardabweichung	0,8	1,0	1,0	1,3

6 Messergebnisse bei verschiedenen Trittschallquellen

Das Norm-Trittschallhammerwerk hat messtechnische Vorteile bei der Reproduzierbarkeit und eine relativ gleichmäßige spektrale Pegelverteilung. Das Anregespektrum stimmt aber mit vielen realen Wohn- und Trittschallgeräuschen nicht überein. Aus diesem Grund wurde die Wirkung der Bodenbeläge auch mit anderen Trittschallquellen, die eine bessere Vergleichbarkeit mit natürlichen Gehgeräuschen besitzen, untersucht.

6.1 Verwendete Trittschallquellen:

- Das modifizierte Hammerwerk

Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurde gegen Ende der 90er Jahre ein modifiziertes Hammerwerk entwickelt, mit dem Ziel eine Trittschallquelle zu erhalten, die reproduzierbare Anregungsspektren mit vergleichbarem Frequenzverlauf zum realen Geher bzw. zum auftretenden Fuß erzeugt. Hierzu wurde eine Elastomerschicht (dynamische Steifigkeit $s = 34 \text{ kN/m}^2 \pm 10 \%$, Verlustfaktor $0,2 < \eta < 0,5$) unter den Stahlhämmern des Hammerwerks angebracht. Dadurch wird das Anregungsspektrum des Hammerwerks bei hohen Frequenzen reduziert und es ergibt sich eine gute Korrelation zu Gehern. Diese „Bedämpfung“ des Aufpralls der Hämmer führt allerdings zu dem Nachteil, dass die ohnehin begrenzte Energie des fallenden Hammers nun teilweise nicht mehr ausreichend groß ist, um ein messbares Nutzsignal im Empfangsraum zu erzeugen.

- Fallende Kugeln

In den 1960er Jahren wurden am damaligen Institut für Schall- und Wärmeschutz Prof. Dr. Dr. Zeller in Essen erste Versuche mit fallenden Gummikugeln durchgeführt. Ziel war es die Messergebnisse der Trittschalldämmung mit der Wahrnehmung von Trittschallgeräuschen insbesondere bei tiefen Frequenzen unter 100 Hz in Einklang zu bringen. Später wurde in der Normung die schwere weiche Trittschallquelle eingeführt. Sie beschreibt einen in Japan entwickelten Gummiball zur Anregung von Trittschall auf leichten Decken und bei tiefen Frequenzen unterhalb von 630 Hz. In Deutschland findet sie bisher wenig Anwendung, obwohl das Kraftspektrum der aufprallenden Kugel sehr gut mit dem von real gemessenen Gehern übereinstimmt.



Bild 13: Japanischer Gummiball, Foto

- Gehwerk

Das Spektrum des modifizierten Hammerwerks und des Gummiballs stimmen relativ gut mit dem des realen Gehvorgangs bei weichem Schuhwerk überein. Beim modifiziertem Hammerwerk jedoch weicht die Schrittfrequenz und beim Gummiball die Amplitude stark von denen des realen Gehvorgangs ab. Um den realen Gehvorgang reproduzierbar nachzubilden, wurde für dieses Projekt das modifizierte Hammerwerk nochmals modifiziert. Es entspricht im Prinzip dem modifizierten Hammerwerk, jedoch arbeitet es mit einer reduzierten Schrittfrequenz von 2 Hz, was dadurch erreicht wird, dass 4 der 5 Hämmer durch eine entsprechend hohe Unterlage am Fallen gehindert werden. Es regt also nur einer der fünf Hammer die Decke an.

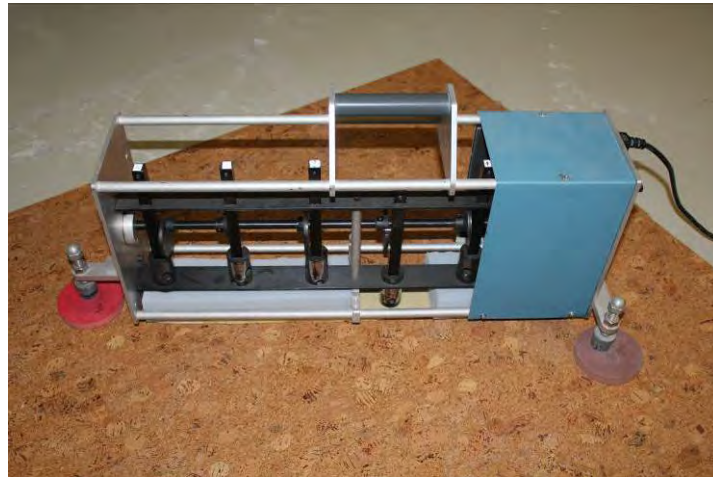


Bild 14: Gehwerk (modifiziertes Hammerwerk mit nur einem aktiven Hammer)

Während im vorangegangenen Teil des Berichts ausschließlich der Norm-Trittschallpegel gebildet und verglichen wurde, muss beim Vergleich der verschiedenen Anregungen auf einen anderen Einzahlwert zurückgegriffen werden, da der Norm-Trittschallpegel nur auf Anregung mit dem Norm-Hammerwerk angewendet werden darf. Für alle stationären Geräusche, wie z.B. dem modifizierten Hammerwerk und dem Gehwerk eignet sich der A-bewertete Summenpegel L_A aus dem um Nachhallzeit und Fremdgeräusch korrigierten Spektrum im Empfangsraum. Für die impulsartigen Geräusche bei Anregung der Decken mit dem japanischen Gummiball wird der mittlere A- bewertete Maximalpegel L_{max} verglichen. Eine vorangegangene Statistik hat gezeigt, dass hierbei ein Mittel aus 5 Messungen zu einem reproduzierbaren Ergebnis führt. Zwar können L_{eq} und L_{max} nicht direkt mit einander verglichen werden, jedoch kann man die Verbesserung der Trittschalldämmung durch die Aufbauten, im Folgenden als ΔL_A und ΔL_{max} bezeichnet vergleichen.

In Bild 15 ist der A-bewertete Trittschallpegel im Empfangsraum von Norm-Hammerwerk, modifiziertem Hammerwerk, Gehwerk und japanischem Gummiball auf der Rohdecke dargestellt. Zum Vergleich ist auch ein Mittelwert aus 10 menschlichen Gehvorgängen eingezeichnet. Hier wirken aufgrund der hohen Eingangsimpedanz der Decke alle Quellen quasi als Kraftquelle und die Übertragungsfunktion wird durch die

massive Decke als konstant angesehen. Es besteht also ein direkter Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schalldruckpegel und der anregenden Kraft der Quelle.

Die Anregung durch das Norm-Hammerwerk ist in seiner Eigenschaft dem einem Rauschen nachempfunden. Das bedeutet, dass bei Anregung einer homogenen Struktur wie der Betonrohdecke alle Frequenzen des bauakustischen Bereichs von 100 Hz bis 5000 Hz möglichst gleich laut angeregt werden. Diese Eigenschaft führt dazu, dass man bei bauüblichen Deckenkonstruktionen in allen interessierenden Terzbändern ausreichend Körperschallenergie erzeugt um von Störgeräuschen unbeeinflusst messen zu können. Beim modifizierten Hammerwerk wird durch die weiche Unterlage sowohl das Spektrum der Anregung zu den tiefen Frequenzen verschoben, als auch das Niveau der eingeleiteten Schallenergie in der Summe um 40 dB herabgesetzt. Bei hohen Frequenzen sind es bis zu 70 dB Pegelunterschied zum Norm Hammerwerk. Außerdem sind hier zwei eindeutige Spitzen bei der Anregung in den Terzen um 160 Hz und 500 Hz erkennbar. Der japanische Gummiball ist vom Kurvenverlauf vergleichbar mit den modifizierten Hammerwerksvarianten und den Gehern, liegt aber parallel verschoben circa 20 bis 25 dB darüber, was angesichts der relativ hohen Trittschalldämmungen der hier untersuchten Konstruktionen ein Vorteil ist.

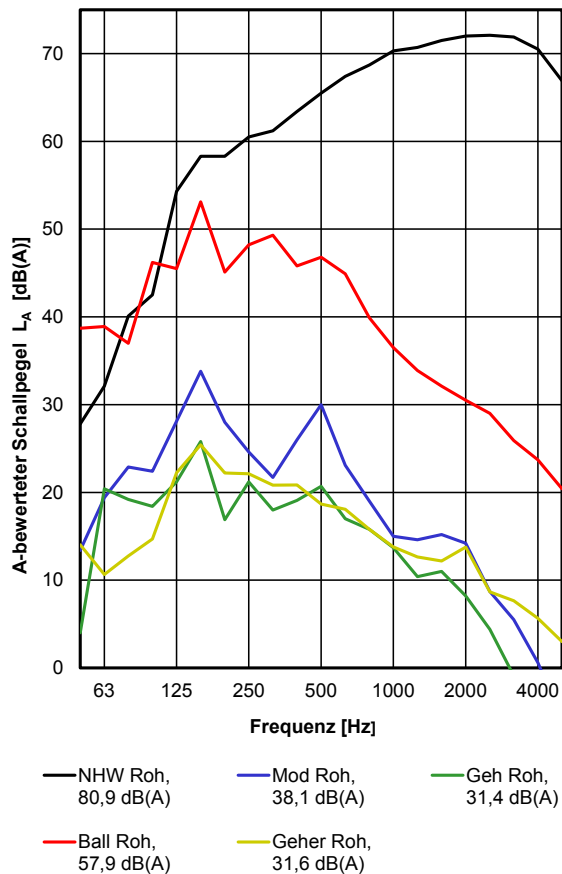


Bild 15: A-bewerteter Schallpegel im Empfangsraum bei verschiedenen Anregungen auf der Rohdecke

Der Trittschallpegel bei Anregung mit dem Gehwerk entspricht von allen künstlichen Quellen am ehesten dem von realen Gehgeräuschen. Es liegt dabei im Summenpegel noch einmal 7 dB unter dem modifizierten Hammerwerk, was aufgrund der fehlenden 8 von 10 Schlägen pro Sekunde ziemlich genau der theoretischen Erwartung entspricht, da $10 \log(10) - 10 \log(2) \approx 7$. Der Kurvenverlauf weist keine so deutlichen Spitzen auf.

Um die Übersichtlichkeit der Präsentation der Ergebnisse bei der großen Anzahl verschiedener Deckenkombinationen und der Darstellung mehrerer Kurven in einem Diagramm zu verbessern, werden für die einzelnen Konstruktionsbestandteile und Trittschallquellen weitere Abkürzungen eingeführt. Die Abkürzungen und deren Bedeutung werden in Tabelle 14 erläutert. In den Diagrammen werden dann die Abkürzungen gemäß der schematischen Darstellung der untersuchten Kombinationen in Bild 16 kombiniert. Als Beispiel: „NHW EPS+U+Lam“ bedeutet: Der Deckenaufbau Laminat auf Trittschallunterlage auf EPS-Estrich wurde mit dem Norm-Hammerwerk angeregt. Hinter der Legende im Diagramm ist jeweils der A-Schallpegel als Summe des dazugehörigen Spektrums von 50 bis 5000 Hz angegeben.

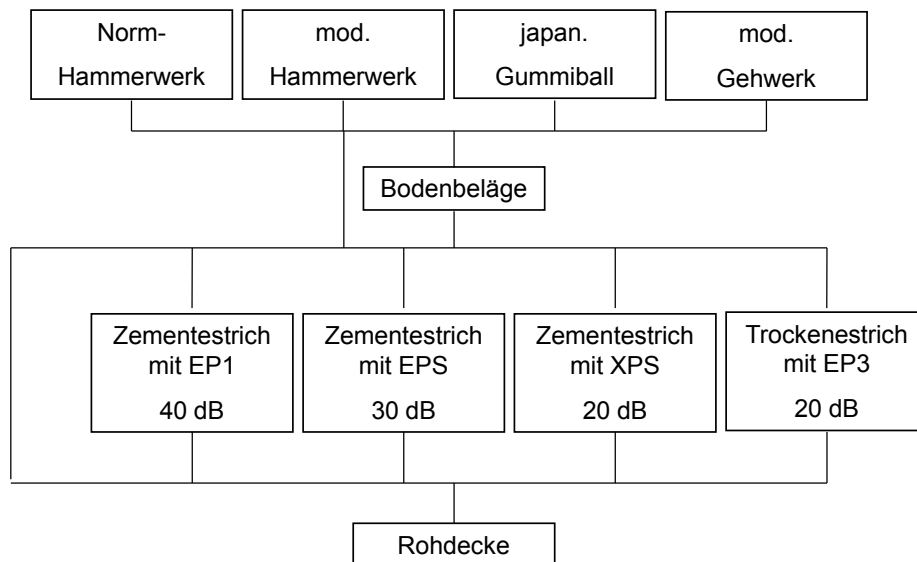


Bild 16: Schematische Darstellung des Messplans

Tabelle 14: Verwendete Abkürzungen in der folgenden Auswertung

Trittschallquelle	
NHW	Norm-Hammerwerk
Mod	Modifiziertes Hammerwerk
Geh	Gehwerk
Ball	japanischer Gummiball
Geher	Mittelwert aus 10 realen Gehvorgängen
Decke	
Roh	Rohdecke
EP1	Zementestrich mit EP1 auf der Rohdecke
EPS	Zementestrich mit EP1 auf der Rohdecke
XPS	Zementestrich mit EP1 auf der Rohdecke
TE	Trockenestrich auf der Rohdecke
Bodenbeläge	
Lam	Laminat
U+Lam	Laminat auf Trittschallunterlage
Park	Korkparkett
U+Park	Korkparkett auf Unterlage
NF	Nadelfilzteppich
HF	Hochflorteppich ohne Angabe
HF35	Hochflorteppich 35 dB
PVC13	PVC Belag mit 1,3 mm
PVC25	PVC Belag mit 2,5 mm
PVC40	PVC Belag mit 4,0 mm

6.2 Estriche

In Abschnitt 5.1 ist die Pegelminderung der Estriche bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk beschrieben. In diesem Abschnitt in Bild 17 ist die Pegelminderung der Estriche bei Anregung mit dem modifizierten Hammerwerk und dem Gehwerk dargestellt. Der Bereich ab 1000 Hz aufwärts ist von Fremdgeräusch beeinflusst. Trotz des verwendeten „low noise Mikrofons“ mit einem Eigenrauschen in der Terz von nur -15 dB konnten hier aufgrund der niedrigen Anregungskraft beziehungsweise der hohen Trittschalldämmung der Estriche keine unbeeinflussten Werte ermittelt werden. Das bedeutet für die Praxis, dass diese Quellen in dem Frequenzbereich ungeeignet sind. Insbesondere bei Feldmessungen sind die Bedingungen oft um einiges schlechter. Da der sich der Schalldruckpegel jedoch um einiges unterhalb der Hörschwelle befindet, kann man die Geräusche nicht hören und damit wäre die Trittschalldämmung im Sinne der Bauakustik mehr, als ausreichend hoch, was sich im Übrigen auch mit der Feststellung deckt, dass die Einzahlwerte dieser Konstruktionen durch die Pegel bei tiefen Frequenzen bestimmt werden. Ferner fällt auf, dass die Trittschallminderung des Trockenestrichs bei ca. 100 bis 160 Hz negativ ist. (siehe Abschnitt 5.1) Bild 18 zeigt die Pegelminderung der Estriche bei Anregung mit dem Gummiball. Auch hier ist die Messung bei den hohen Frequenzen von Fremdgeräusch beeinflusst. Der Einfluss beginnt jedoch erst ab ca. 2000 Hz. Ebenso ist die Trittschalldämmung des Trockenestrichs im Bereich von 63 Hz bis 160 Hz negativ. Auch der mittlere und schlechte Zementestrich (EPS und XPS) haben bei Anregung mit dem Gummiball im Bereich unter 100 Hz negative Trittschallminderungen.

Nun kann ein Vergleich zwischen bewerteter Trittschallminderung ΔL_w und der Pegelminderung ΔL_A angestellt werden. Ein Blick in Tabelle 15 zeigt, dass beim direkten Vergleich ΔL_A konstant circa 2,5 dB niedriger, als die normgerechte Trittschallminderung ΔL_w ist.

Tabelle 15 Einzahlwerte der Trittschallpegel und Trittschallminderung der Estriche bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk

	$L_{n,w}$	L_A	ΔL_w	ΔL_A	$\Delta L_w - \Delta L_A$	f_R
	[dB]	[dB(A)]	[dB]	[dB]		[Hz]
Rohdecke	76,2	80,9	-	-		-
EP1	36,3	42,5	40,8	38,4	2,4	38
EPS	51,2	57,1	26,3	23,8	2,5	108
XPS	56,8	62,9	20,8	18,1	2,7	381
TE	61,1	66,4	17,0	14,5	2,5	209

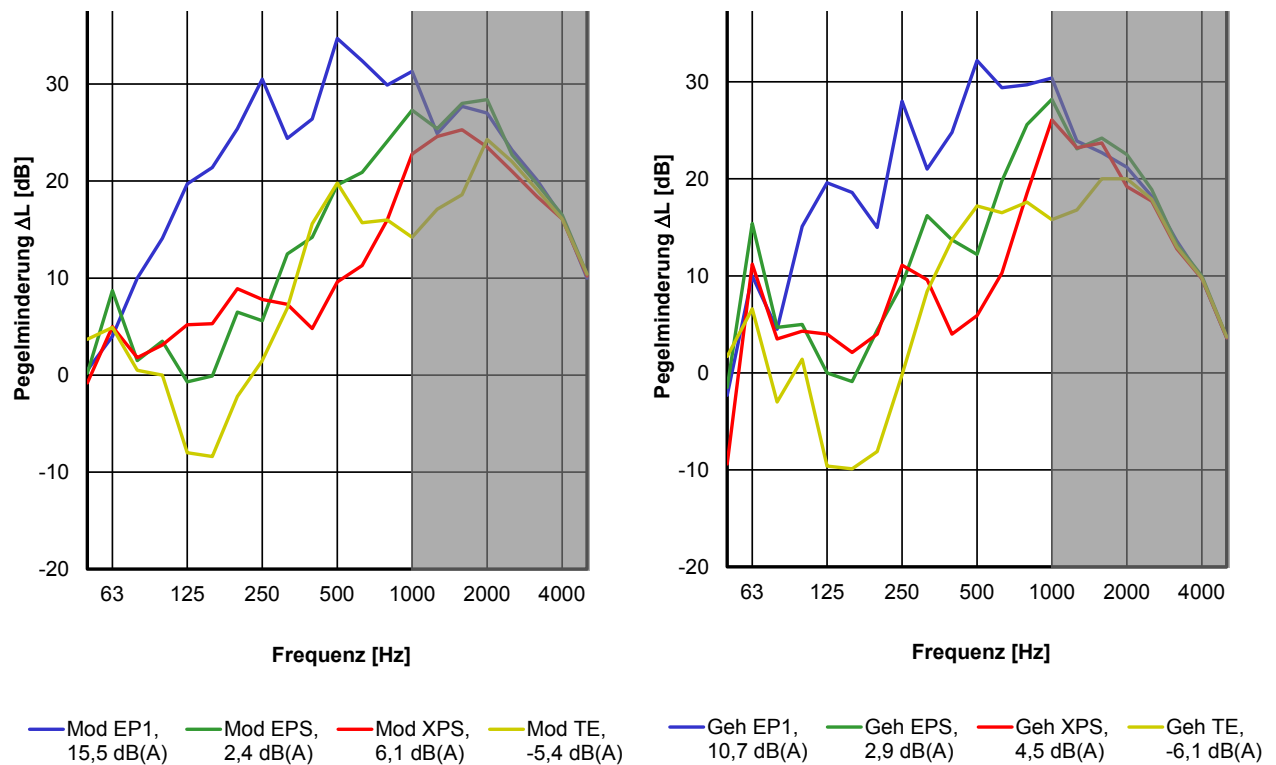


Bild 17: Pegelminderung der Estriche bei Anregung mit dem modifizierten Hammerwerk (links) und dem Gehwerk (rechts)

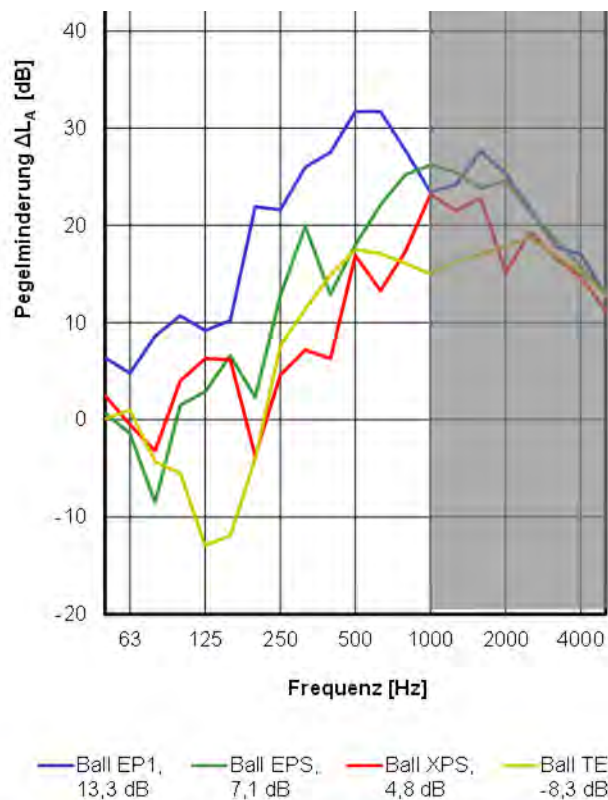


Bild 18: Pegelminderung der Estriche bei Anregung mit dem Ball

6.3 Bodenbeläge

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Bodenbeläge betrachtet. Auf der Rohdecke bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk sind die Einzahlwerte in Tabelle 16 zusammengefasst. Auch hier ist, wie bei den Estrichen der L_A höher, als der $L_{n,w}$ und die Pegelminderung ΔL_A fällt niedriger aus, als die nach Norm bestimmte bewertete Trittschallminderung ΔL_w . Die Trittschallpegel und –Minderungen entsprechen im Rahmen der Genauigkeit der Einzahlangaben den Angaben der Hersteller. Am besten ist die Trittschallminderung der beiden Hochflorteppichböden, Schlusslichter sind der dünne PVC Boden und Laminat ohne Unterlage.

Die Diagramme mit den Frequenzspektren befinden sich in den Bildern A4.1 und A4.2 Dabei ist wieder zu erkennen, dass die Bodenbeläge bei hohen Frequenzen eine relativ gute Wirkung haben und bei tiefen so gut wie keine. Entscheidend für den Einzahlwert ist, in welchem Frequenzbereich die Wirkung beginnt. Beim Laminat und Parkett beginnt die Wirkung unabhängig von der Unterlage etwa bei 500 Hz, bei den Teppichböden bereits bei 125 bis 250 Hz und beim PVC zwischen 250 und 500 Hz.

Tabelle 16: bewertete Trittschallpegel und bewertete Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke im Vergleich mit A-Schallpegel L_A und Pegeldifferenz ΔL_A

	$L_{n,w}$	L_A	ΔL_w	ΔL_A	$\Delta L_w - \Delta L_A$
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Laminat	62,6	70,8	13,6	10,1	3,5
Laminat mit Unterlage	57,1	65,2	19,5	15,7	3,8
Parkett	59,4	67,3	17,4	13,6	3,8
Parkett mit Unterlage	56,3	62,6	21,1	18,3	2,8
Nadelfilz	59,9	68,2	16,6	12,7	3,9
Hochflor	51,1	55,9	26,6	25,0	1,6
Hochflor 35	45,3	48,9	32,7	32,0	0,7
	$L_{n,w}$	L_A	ΔL_w	ΔL_A	$\Delta L_w - \Delta L_A$
PVC 1,3	65,7	73,3	10,4	7,6	2,8
PVC 2,5	56,9	64,5	19,9	16,4	3,5
PVC 4,0	54,5	59,9	22,9	21,0	1,9

Die Bodenbeläge bewirken im Einzahlwert bei Norm-Anregung auf der Rohdecke eine Trittschallverbesserung von 10 bis 32 dB, was in etwa den Erwartungen aus den Herstellerangaben für ΔL_w nach Norm entspricht.

Im Folgenden werden in den Bildern Bild 19 bis Bild 24 und Tabellen Tabelle 17 bis Tabelle 20 sind die Messergebnisse zusammengefasst dargestellt. Dabei beschränkt sich die Darstellung auf die Einzahlwerte, also dem A-bewerteten Summenpegel der Spektren aus den Trittschallpegeln $L_{n,A}$ bei den kontinuierlichen Quellen, beziehungsweise dem Maximalpegel L_{max} bei der Anregung mit dem Ball. Darüber hinaus wird jeweils die Differenz der oben genannten A-bewerteten Pegel mit Bodenbelag zu den Messungen der jeweiligen Deckenkonstruktion auf denen sie verlegt waren als ΔL_A und ΔL_{max} dargestellt. Dies entspricht der Wirkung der Bodenbeläge in Anlehnung an das Norm-Messverfahren, jedoch mit den unterschiedlichen Trittschallquellen ermittelt.

Da die Schalldruckpegel im Empfangsraum beim Estrich mit EP1 und Anregung mit dem modifizierten Hammerwerk und dem Gehwerk zu niedrig waren, so dass das Fremdgeräusch die Pegel stark beeinflusste, wurden hier die Messungen mit Teppichboden und PVC nicht ausgewertet.

Tabelle 17: A-Schallpegel L_A und Pegeldifferenzen ΔL_A von Laminat bei verschiedenen Anregungen

	Schallpegel und Pegeldifferenzen							
	Norm-Hammerwerk		Modifiziertes Hammerwerk		Gehwerk		Ball	
	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _{max}	ΔL _{max}
	[dB]		[dB]		[dB]		[dB]	
Laminat								
Rohdecke	70,8	10,1	37,5	0,4	31,9	-1,2	60,4	-2,6
Decke mit EP1	40,6	1,9	7,5	8,0	3,5	7,2	43,4	1,8
Decke mit EPS	57,4	-0,3	30,9	4,6	26,6	1,7	51,3	-0,6
Decke mit XPS	58,8	4,0	31,4	0,1	24,5	1,7	52,7	0,3
Decke mit TE	62,1	4,3	47,8	-4,3	40,1	-2,7	60,6	5,5
Laminat mit Unterlage								
Rohdecke	65,2	15,7	39,2	-1,3	32,6	-1,9	58,2	-0,4
Decke mit EP1	38,8	3,7	7,3	8,2	3,8	6,9	44,2	1,0
Decke mit EPS	55,1	2,0	31,5	4,0	28,1	0,2	49,1	1,6
Decke mit XPS	58,0	4,8	30,7	0,8	23,7	2,5	53,2	-0,2
Decke mit TE	62,5	3,9	44,5	-1,0	38,3	-0,9	61,2	4,9

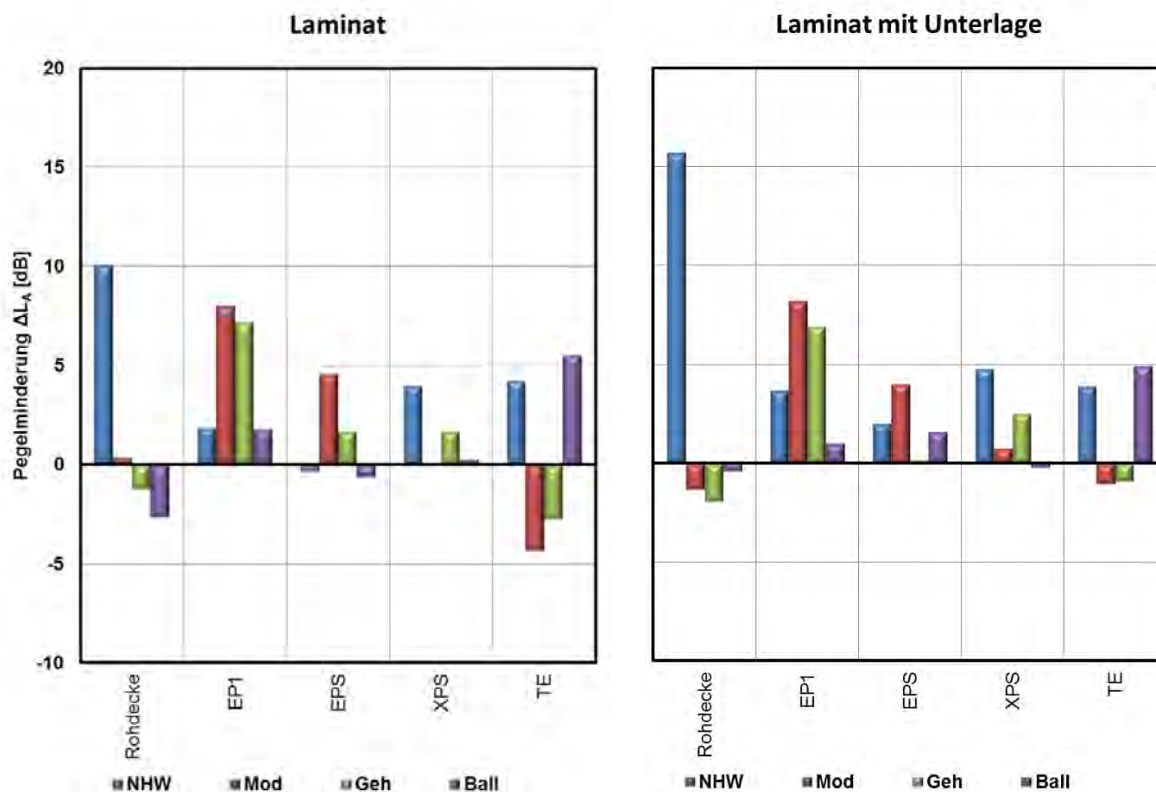


Bild 19: Wirkung von Laminat bei verschiedenen Anregungen auf unterschiedlichen Deckenkonstruktionen (Pegeldifferenz ΔL_A [dB])

Tabelle 18: A-Schallpegel L_A und Pegeldifferenzen ΔL_A des Korkparkett bei verschiedenen Anregungsformen

	Schallpegel und Pegeldifferenzen							
	Norm-Hammerwerk		Modifiziertes Hammerwerk		Gehwerk		Ball	
	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _{max}	ΔL _{max}
	[dB]		[dB]		[dB]		[dB]	
Parkett								
Rohdecke	67,3	13,6	41,8	-3,9	36,3	-5,6	61,9	-4,1
Decke mit EP1	40,4	2,1	6,4	9,1	4,7	6,0	45,0	0,2
Decke mit EPS	56,0	1,1	29,7	5,8	26,0	2,3	49,8	0,9
Decke mit XPS	59,4	3,4	30,3	1,2	24,5	1,7	52,6	0,4
Decke mit TE	62,5	3,9	47,1	-3,6	41,0	-3,6	62,5	3,6
Parkett mit Unterlage								
Rohdecke	62,6	18,3	42,0	-4,1	37,2	-6,5	59,9	-2,1
Decke mit EP1	39,0	3,5	9,3	6,2	1,9	8,8	44,1	1,1
Decke mit EPS	55,9	1,2	31,7	3,8	27,7	0,6	50,0	0,7
Decke mit XPS	57,1	5,7	31,8	-0,3	24,9	1,3	53,1	-0,1
Decke mit TE	63,0	3,4	46,9	-3,4	39,8	-2,4	60,7	5,4

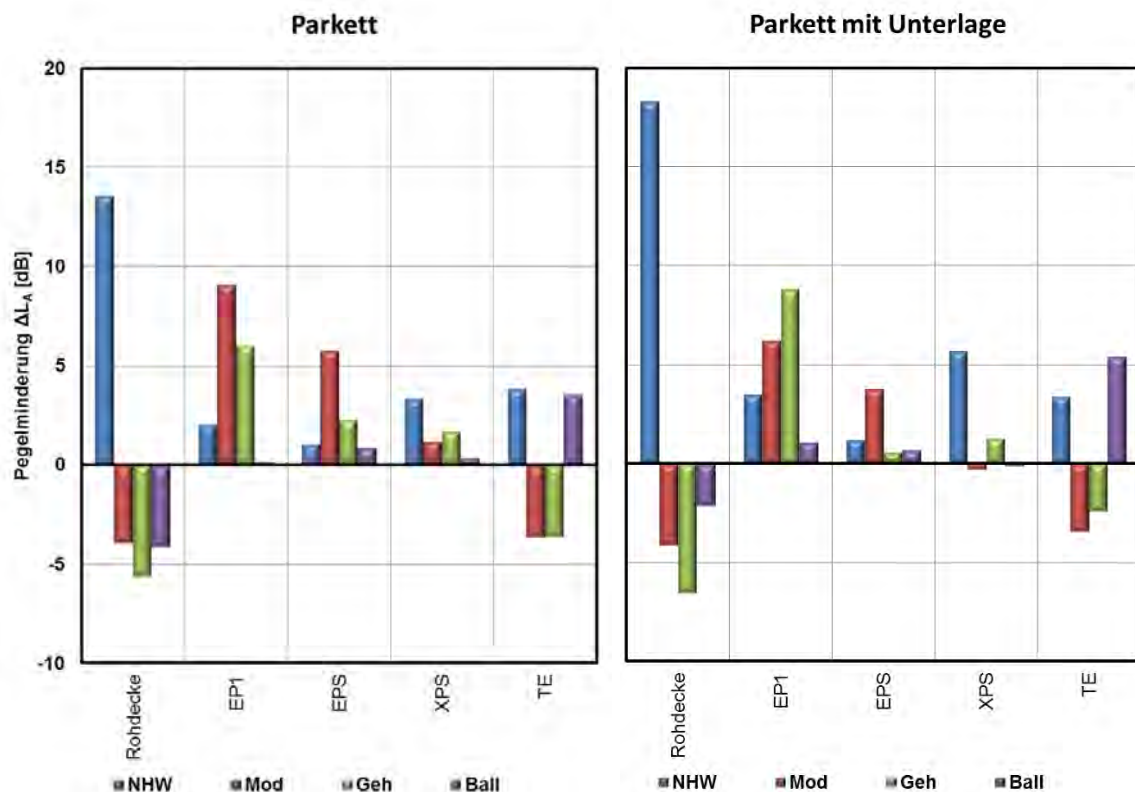


Bild 20: Wirkung von Parkett bei verschiedenen Anregungen auf unterschiedlichen Deckenkonstruktionen (Pegeldifferenz ΔL_A [dB])

Tabelle 19: A-Schallpegel L_A und Pegeldifferenzen ΔL_A der Teppiche bei verschiedenen Anregungsformen

	Schallpegel und Pegeldifferenzen							
	Norm-Hammerwerk		Modifiziertes Hammerwerk		Gehwerk		Ball	
	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _{max}	ΔL _{max}
	[dB]		[dB]		[dB]		[dB]	
Nadelfilzteppich								
Rohdecke	68,2	12,7	36,7	1,2	31,9	-1,2	58,9	-1,1
Decke mit EP1	42,0	0,5	x	0,0	x	0,0	45,2	0,0
Decke mit EPS	57,8	-0,7	27,4	8,1	22,5	5,8	49,9	0,8
Decke mit XPS	59,3	3,5	29,6	1,9	21,7	4,5	53,5	-0,5
Decke mit TE	65,4	1,0	43,5	0,0	39,6	-2,2	66,0	0,1
Hochflorteppich								
Rohdecke	55,9	25,0	33,3	4,6	25,7	5,0	58,8	-1,0
Decke mit EP1	34,6	7,9	x	0,0	x	0,0	44,2	1,0
Decke mit EPS	51,0	6,1	18,4	17,1	16,6	11,7	50,1	0,6
Decke mit XPS	52,4	10,4	13,6	17,9	17,3	8,9	52,2	0,8
Decke mit TE	62,2	4,2	39,3	4,2	32,1	5,3	65,4	0,7
Hochflorteppich 35 dB								
Rohdecke	48,9	32,0	30,9	7,0	26,8	3,9	58,0	-0,2
Decke mit EP1	32,8	9,7	x	0,0	x	0,0	45,3	0,0
Decke mit EPS	47,3	9,8	20,6	14,9	15,2	13,1	50,0	0,7
Decke mit XPS	45,9	16,9	21,1	10,4	17,5	8,7	52	1
Decke mit TE	57,9	8,5	39,0	4,5	31,5	5,9	63,8	2,3

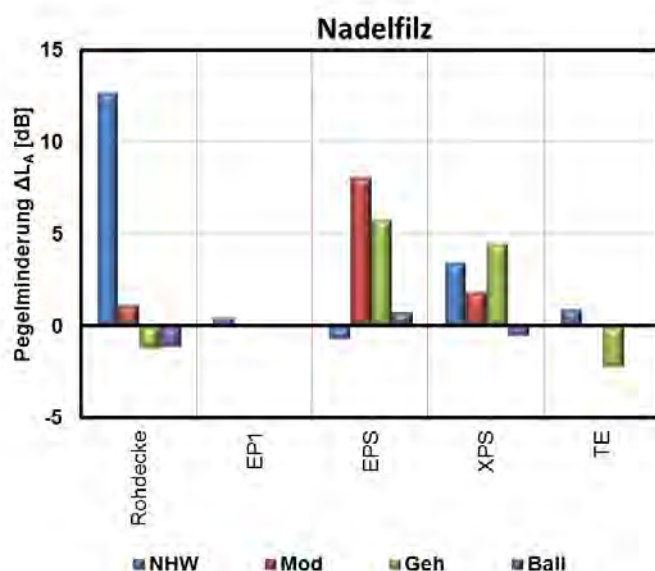


Bild 21: Abbildung 1: Wirkung von Nadelfilzteppich bei verschiedenen Anregungen auf unterschiedlichen Deckenkonstruktionen (Pegeldifferenz ΔL_A [dB])

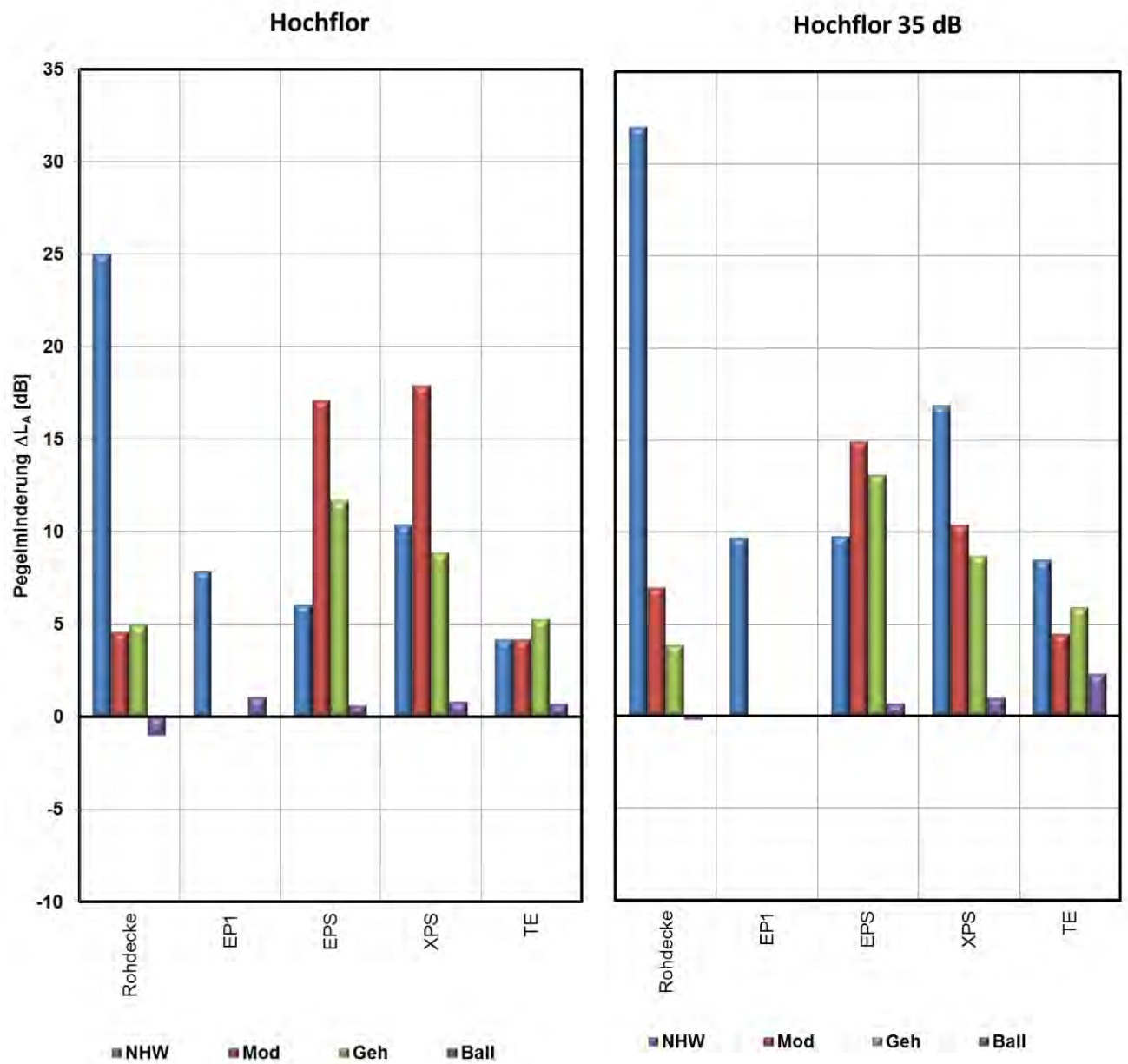


Bild 22: Wirkung von Hochflorteppich bei verschiedenen Anregungen auf unterschiedlichen Deckenkonstruktionen (Pegeldifferenz ΔL_A [dB])

Tabelle 20: A-Schallpegel L_A und Pegeldifferenzen ΔL_A der PVC Beläge bei verschiedenen Anregungsformen

	Schallpegel und Pegeldifferenzen							
	Norm-Hammerwerk		Modifiziertes Hammerwerk		Gehwerk		Ball	
	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _A	ΔL _A	L _{max}	ΔL _{max}
	[dB]		[dB]		[dB]		[dB]	
PVC 1,3 mm								
Rohdecke	73,3	7,6	40,9	-3,0	35,2	-4,5	59,1	-1,3
Decke mit EP1	42,0	0,5	x	0,0	x	0,0	45,2	0,0
Decke mit EPS	55,9	1,2	32,5	3,0	23,1	5,2	49,4	1,3
Decke mit XPS	60,5	2,3	29,4	2,1	23,1	3,1	53,1	-0,1
Decke mit TE	65,4	1,0	47,8	-4,3	40,7	-3,3	64,3	1,8
PVC 2,5 mm								
Rohdecke	64,5	16,4	41,1	-3,2	33,9	-3,2	59,1	-1,3
Decke mit EP1	40,3	2,2	x	0,0	x	0,0	45,2	0,0
Decke mit EPS	54,8	2,3	31,5	4,0	31,3	-3,0	51,2	-0,5
Decke mit XPS	56,5	6,3	31,3	0,2	25,4	0,8	52	1
Decke mit TE	65,1	1,3	49,4	-5,9	41,3	-3,9	63,8	2,3
PVC 4,0 mm								
Rohdecke	59,9	21,0	40,5	-2,6	34,4	-3,7	58,6	-0,8
Decke mit EP1	39,9	2,6	x	0,0	x	0,0	45,0	0,2
Decke mit EPS	55,4	1,7	32,7	2,8	23,9	4,4	51,2	-0,5
Decke mit XPS	55,6	7,2	29,4	2,1	23,9	2,3	52,6	0,4
Decke mit TE	64,4	2,0	44,9	-1,4	38,8	-1,4	64,7	1,4

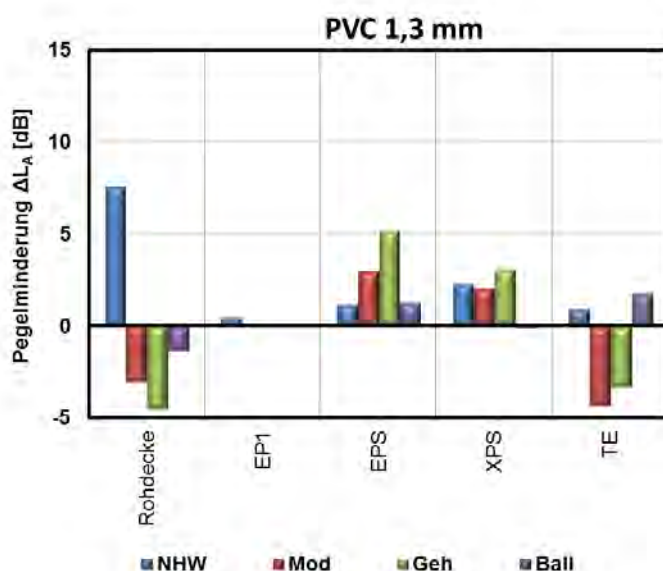


Bild 23: Wirkung von PVC bei verschiedenen Anregungen auf unterschiedlichen Deckenkonstruktionen (Pegeldifferenz ΔL_A [dB])

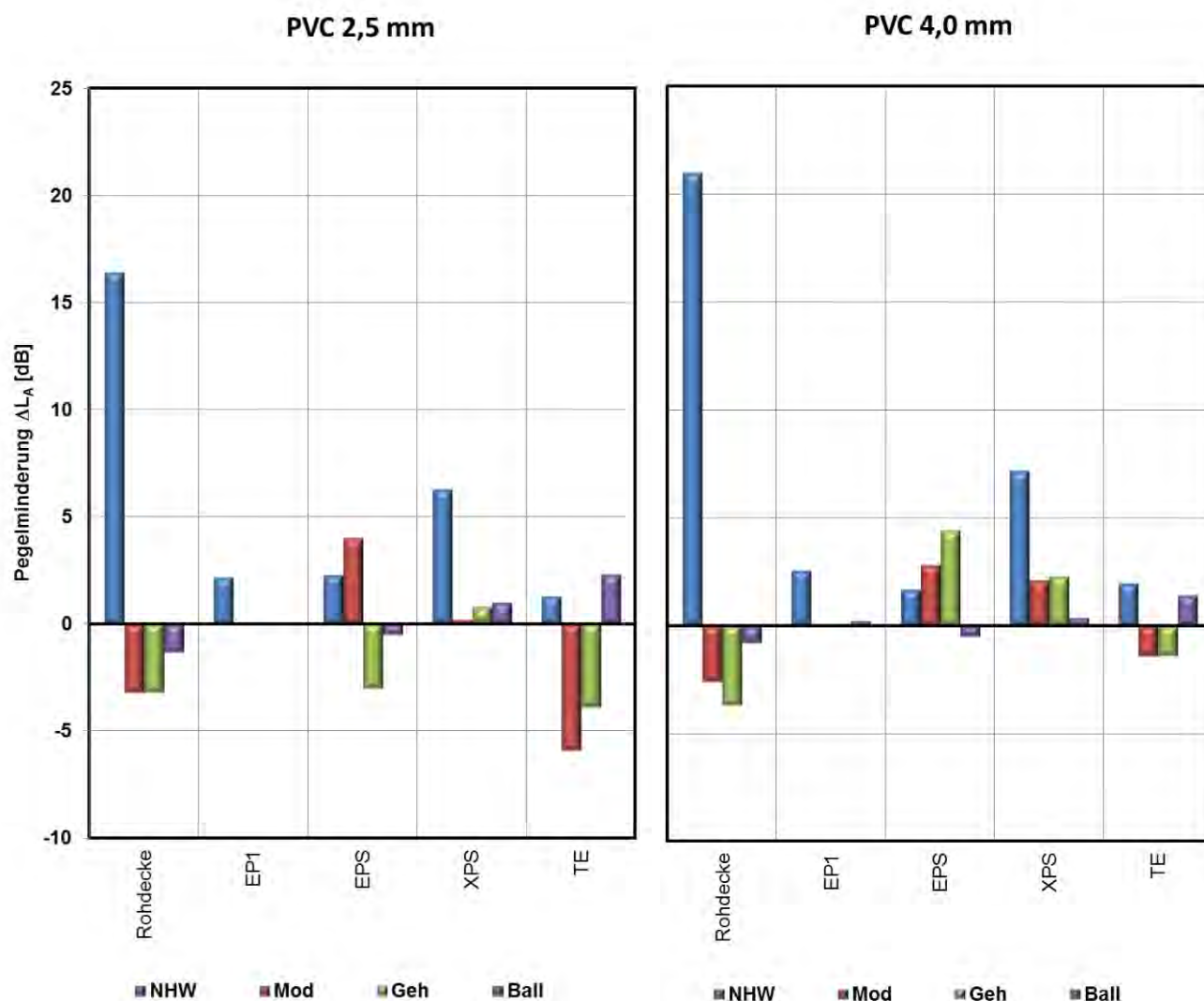


Bild 24: Wirkung von PVC bei verschiedenen Anregungen auf unterschiedlichen Deckenkonstruktionen (Pegeldifferenz ΔL_A [dB])

6.3.1 Diskussion der Ergebnisse

- Laminat und Parkett

Mit dem Norm-Hammerwerk erster Balken (blau) sind die gemessenen Pegelminderungen der Laminat und Parkettböden in der Regel positiv. Bei Anregung mit dem modifizierten Hammerwerk und dem Gehwerk kommt es bei Verlegung auf der Rohdecke und auf dem Trockenestrich zu negativen Werten. Dies könnte durch die zusätzlich aufgebrachte Masse-Feder-Resonanz erklärt werden. Die Kurven in den Bildern A4.11; A4.14 und A4.16 haben je einen tieffrequenten und einen hochfrequenten Einbruch. Während der tieffrequente Einbruch zwischen 80 und 160 Hz auch bei anderen Bodenbelägen auftritt, ist der hochfrequente zwischen 500 und 1000 Hz auf die Laminat- und Parkettböden beschränkt.

Erstaunlich ist auch, dass die relativ leichten Laminat- und Parkettböden bei Anregung mit dem modifizierten Hammerwerk und dem Gehwerk eine tieffrequente Verbesserung auf den relativ schweren Zementestrichen bewirken. Dieser Effekt hängt vermutlich mit der Wechselwirkung von Quelle und Struktur zusammen und tritt bei Anregung mit dem Ball und dem Norm-Hammerwerk nicht oder nur ansatzweise auf.

Es wurde im Vorfeld erwartet, dass die Wirkung aller Laminat- und Parkettböden mit steigender Estrichqualität abnimmt. Die Messergebnisse zeigen, dass diese Annahme sich nicht pauschal bestätigt.

- Teppich

Die Teppichböden haben von allen Bodenbelägen zunächst die beste Wirkung auf den Trittschallpegel. Die Werte der hochflorigen Teppiche liegen mitunter im Bereich der mittleren bis gut wirkenden Estrichkonstruktionen. Sie sind auch die einzigen Beläge bei denen es zu keiner Verschlechterung der Trittschalldämmung bei irgendeiner Anregeform kommt. Während sie besonders gut bei Anregung mit dem Hammerwerk und seinen beiden Variationen wirken, ist bei Anregung mit dem Ball jedoch keine Verbesserung vorhanden.

Bei den Teppichböden ist keine zusätzliche Masse-Feder-Masse Resonanz zu erwarten. Hier wirkt vor allem der Effekt, dass der den Trittschall anregenden Quelle beim oder bereits vor dem Aufprall Energie entzogen wird, die so nicht mehr vollständig in die Deckenkonstruktion eingeleitet werden kann. Dieser Effekt wird bei den hochflorigen Teppichböden dadurch verstärkt, dass der Hammer aufgrund der langen Teppichfasern keine 40 mm freie Fallhöhe mehr besitzt, sondern bereits vor dem Aufprall auf das Gewebe durch die 17 bis 22 mm hohen stehenden Fasern abgebremst wird. Die hochflorigen Teppichböden wirken dadurch auf allen Estrichen zumindest bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk positiv. Der Effekt wird beim modifizierten Hammerwerk und beim Gehwerk noch verstärkt. Hierbei schwimmt die Unterlage auf den Tep-

pichfasern auf und während das Norm-Hammerwerk die Fasern während der Messung plastisch verformt und bei längerer Anregung den Effekt abschwächt, gilt dies für die modifizierte Variante und das Gehwerk nicht. Dadurch ist auch die Fallhöhe von nur 40 mm nicht mehr exakt einstellbar, denn der erste Kontakt des Hammers mit der Unterlage beginnt bereits ca. 15 bis 20 mm über der steifen Struktur. Durch diese Wechselwirkung zwischen Schallquelle und Struktur wird praktisch die eingeleitete Kraft des Hammerschlages von der Art des Bodenbelages abhängig. Da der HF35 kürzere Fasern hatte, aber eine höhere Trittschallminderung hat, als der HF, wird davon ausgegangen, dass deren Elastizität der entscheidende Faktor ist.

In der Theorie sollte das Normhammerwerk unabhängig von der angeregten Struktur immer dasselbe Kraftspektrum liefern. Davon kann nur ausgegangen werden, wenn sich das Normhammerwerk als Kraftquelle betrachten lässt. Voraussetzung hierfür ist, dass die Impedanz der Quelle sehr viel kleiner ist, als die Impedanz der angeregten Struktur. Bei Massivdecken ist dies der Fall. Bei leichten Auflagen, von denen Teppichböden den Extremfall darstellen, ist diese Bedingung nicht mehr zwangsläufig erfüllt.

Betrachtet man nun die Wirkung der Teppichböden auf den Estrichen, fällt zunächst auf, dass die Hochflorteppichböden auch hier die höchste Trittschallverbesserung bewirken, das Niveau der Verbesserung ist jedoch im Durchschnitt auf Werte von $\Delta L_A = 0$ bis 10 dB reduziert. Da die Teppichböden auf dem Estrich verlegt keine weitere Entkoppelung zur Betondecke bewirken, ist das positive Ergebnis überwiegend auf den Verzögerungseffekt des Hammers durch die Teppichfasern zurückzuführen.

Das Niveau ist dabei fast unabhängig von der Art beziehungsweise Qualität des Estrichs. Auch beim Trockenestrich mit der aus akustischer Sicht schlechtesten Qualität mit einer Trittschallminderung von 17 dB auf der Rohdecke, ist die zusätzliche Trittschallminderung durch die Bodenbeläge nicht mehr, als 8,5 dB beim Hochflorteppich und 1,0 dB beim Nadelfilz.

Der japanische Gummiball hingegen funktioniert als schwere Trittschallquelle auch bei weichen Bodenbelägen wie eine relativ konstante Kraftquelle. Durch seine vergleichsweise hohe Aufprallenergie wird er durch die Teppichfasern nur wenig abgebremst. In der Praxis wäre so ein Anregeverhalten vergleichbar mit einem Barfußgeher, welcher die Kraft des Schrittes überwiegend mit der Ferse in den Boden leitet. Durch die vergleichsweise hohe Masse und Aufprallgeschwindigkeit des Balles gegenüber dem Hammerwerk, wird die Verzögerung durch Teppichfasern praktisch wirkungslos und auch sonst scheint es nur geringe Wechselwirkungen zwischen Quelle und angeregter Struktur zu geben. Aus diesem Grund ist keine trittschallmindernde Wirkung der Bodenbeläge bei Anregung mit dem Ball und Verlegung auf den Estrichen gemessen worden. Die Werte für $\Delta L_{\max}$ schwanken im Rahmen der Messgenauigkeit um null.

- PVC

Bei den PVC-Böden ist wie bei den Teppichböden die Wirkung auf Entkoppelung und Wechselwirkung verteilt. Unter anderem aufgrund der gekrümmten Oberfläche der Hämmer des Norm-Hammerwerks ist die Wirkung extrem von der Dicke des Belags abhängig. Der Dünne PVC-Belag wirkt in Kombination mit dem gekrümmten Hammer eher steif, während beim dicken PVC Belag der Hammer mit der vollen Fläche anliegt, bevor er die Kraft wirklich übertragen wird. Es kommt also auch hier zu einer Wechselwirkung zwischen Quelle und Struktur, was dazu führt, dass das Hammerwerk keine konstante Kraftquelle darstellt. Die Pegelminderung der PVC-Beläge ist zumindest bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk, direkt abhängig von der Dicke des Belags. Der 1,5 mm Dünne Belag liegt mit einer Pegelminderung von mit 7,6 dB auf der Rohdecke am unteren Ende im Vergleich aller Bodenbeläge, der 4,0 mm dicke ist mit einer Pegelminderung von 21 dB besser, als Laminat und Parkett mit Unterlage.

Bei den PVC Böden kommt es, wie beim Laminat, zu Verschlechterungen auf der Rohdecke und auf dem Trockenestrich bei Anregung mit dem modifizierten Hammerwerk und dem Gehwerk. Da die Unterlage zur Modifikation des Hammerwerks weicher ist, als die PVC Böden und die Steifigkeit von aufeinanderliegenden weichen Unterlagen zu:

$$\frac{1}{S_{\text{ges}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_n} \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

berechnet werden kann, haben die PVC Böden beim modifizierten Hammerwerk und beim Gehwerk vermutlich keine wirkliche trittschallmindernde Wirkung. Die gemessenen negativen Werte könnten damit erklärt werden, dass durch die noch weichere Feder die Resonanzen der Decke noch stärker angeregt werden. Der A-Schallpegel wird nur in den ein bis zwei Terzen um 160 Hz bildet (siehe Anhang A1.3). Bild 25 zeigt beispielhaft, dass gerade in diesem Bereich der die Pegelminderungen negativ sind. Bei Anregung mit dem Ball ist keine trittschallmindernde Wirkung messbar, beziehungsweise sie ist so gering, dass Sie nicht spürbar wäre und im Bereich der gängigen Toleranzen bei Material, Montage und Messung liegt.

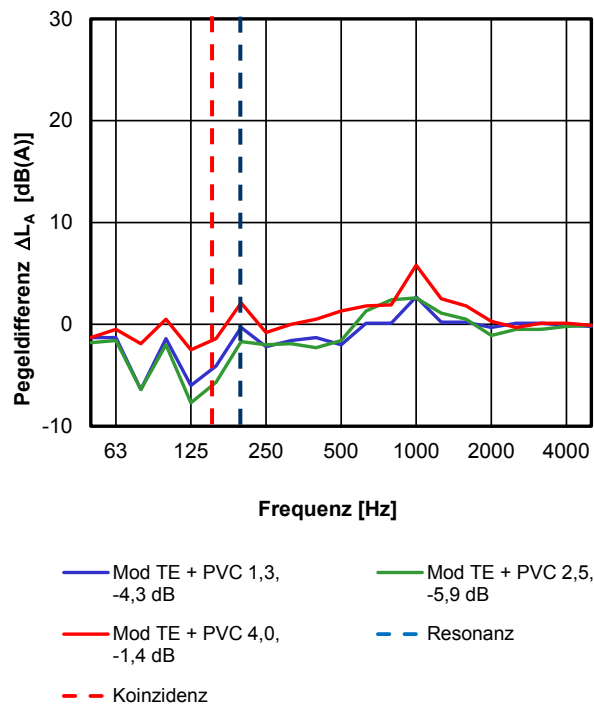


Bild 25: Pegelminderung ΔL_A [dB] der PVC Böden auf dem Trockenestrich bei Anregung mit dem Modifizierten Hammerwerk mit Resonanz des Estrichs und Koinzidenz der Rohdecke

6.4 Vergleich bei Verwendung verschiedener Beurteilungsgrößen

Nach Aussage von DIN EN ISO 717-2 [5], welche aktuell die in Deutschland und international gültige Norm zur Bewertung von Trittschall ist, hat der $L_{n,w}$ sich Zitat: „zur Beschreibung des Trittschallverhaltens von Holz- und Betondecken mit wirkungsvollen Deckenauflagen wie Teppichböden oder schwimmenden Estrichen als geeignet erwiesen.“ Ferner wird erwähnt, dass tiefe Pegelspitzen nur ungenügend bewertet werden. Hierzu wurde der Spektrum Anpassungswert C_1 eingeführt. Er wird nach [5] Anhang 2.1 ermittelt. In [5] Anhang A2.2 ist beschrieben, wie der Spektrum-Anpassungswert C_{1A} für die bewertete Trittschallminderung ΔL_w ermittelt werden kann. Hier erfolgt die Berechnung der Spektrum Anpassungswerte entgegen der Norm [5] mit erhöhter Genauigkeit auf eine Stelle nach dem Komma. Das Verfahren ist aus [12] Ziffer 2.5 entnommen.

Praktisch bedeutet die Verwendung des Spektrum Anpassungswertes beim Trittschall eine Re-Linearisierung der Bewertung bei der Bildung des Einzahlwertes. Aus diesem Grund wird für $\Delta L_w + C_{1A}$ auch ΔL_{lin} geschrieben (siehe [5] Anhang A2.2).

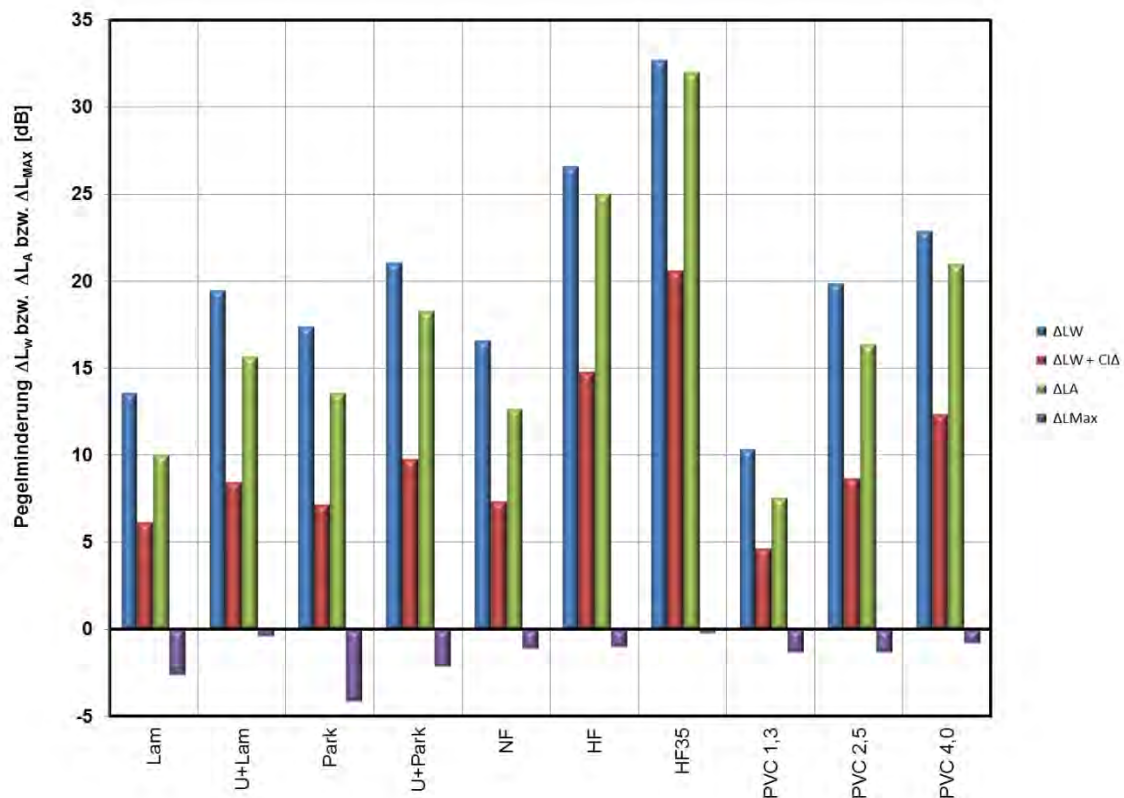
Die Ermittlung und Anwendung dieser Spektrum-Anpassungswerte ist relativ kompliziert und überfordert oft Entwickler, Planer und vor allem Nutzer und Bauherren. Einfacher für die Bauplanung wäre es einen neuen Wert wie zum Beispiel das hier verwendete ΔL_A für die Bewertung einzuführen. Der große Vorteil bei

der Verwendung von Spektrum-Anpassungswerten ist, dass man auf die alten Laborwerte für $L_{n,W}$ und ΔL_W zurückgreifen kann. Bei der Einführung von neuen Bewertungsverfahren, müssten alte Messungen neu ausgewertet werden. In diesem Abschnitt soll nun verglichen werden, in wie weit das Ergebnis aus $\Delta L_W + C_{I\Delta}$ mit dem hier ermittelten ΔL_A übereinstimmt. Da $\Delta L_W + C_{I\Delta}$ sinngemäß nur auf der Rohdecke ermittelt werden kann, werden zunächst alle Bodenbeläge auf der Rohdecke bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk und für den entsprechenden Einsatzfall des Spektrum-Anpassungswertes der tiefen Pegelspitzen mit dem Ball verglichen.

In Tabelle 21 ist zu erkennen, dass weder $\Delta L_{A; NHW}$, noch ΔL_{Max} mit der Linearen Trittschallminderung $\Delta L_W + C_{I\Delta}$ übereinstimmen. Während $\Delta L_{A; NHW}$ in den meisten Fällen etwa doppelt so hoch ist, wie $\Delta L_W + C_{I\Delta}$, ist zwischen ΔL_{Max} und $\Delta L_W + C_{I\Delta}$ gar kein Zusammenhang erkennbar.

Tabelle 21: Vergleich $\Delta L_w + C_{I\Delta}$ und ΔL_A bzw. ΔL_{Max} der Bodenbeläge

	ΔL_w	$C_{I\Delta}$	$\Delta L_w + C_{I\Delta}$	ΔL_A ; NHW	ΔL_{Max}
			[dB]	[dB]	[dB]
Laminat	13,6	-7,4	6,2	10,1	-2,6
Laminat mit Unterlage	19,5	-11,0	8,5	15,7	-0,4
Parkett	17,4	-10,2	7,2	13,6	-4,1
Parkett mit Unterlage	21,1	-11,3	9,8	18,3	-2,1
Nadelfilz	16,6	-9,2	7,4	12,7	-1,1
Hochflor	26,6	-11,8	14,8	25	-1,0
Hochflor 35	32,7	-12,1	20,6	32	-0,2
PVC 1,3	10,4	-5,7	4,7	7,6	-1,3
PVC 2,5	19,9	-11,2	8,7	16,4	-1,3
PVC 4,0	22,9	-10,5	12,4	21	-0,8

Bild 26: Vergleich $\Delta L_w + C_{I\Delta}$ und ΔL_A bzw. ΔL_{Max} der Bodenbeläge

7 Psychoakustische Analysen

7.1 Vorgehensweise

Zur Durchführung von sogenannten Hörversuchen, bei denen die Wahrnehmung und Beurteilung von spezifischen Geräuschen durch Probanden ermittelt wird, hat das Fraunhofer IBP ein Speziallabor, bezeichnet als »HiPIE-Labor« (High Performance Indoor Environment) eingerichtet. Hier können die bauphysikalischen Parameter Akustik, Raumklima und Beleuchtung gezielt synthetisiert werden, um deren Zusammenspiel und ihre Wirkung auf den Menschen zu untersuchen. Mit einem eingebauten Soundsystem, das auf dem Prinzip der Wellenfeldsynthese beruht, lassen sich reale Schallfelder wie zum Beispiel Büro-, Schul-, oder Baustellenzenarien nachbilden. Die Wellenfeldsynthese ist ein Verfahren, in dem das Originalschallfeld physikalisch rekonstruiert unter Laborbedingungen wiedergegeben wird. Bei den hier durchgeführten Hörversuchen werden die Audioaufnahmen an Einzelarbeitsplätzen per Kopfhörer wiedergegeben.

Für die Hörversuche wurden fünfmal vier, also insgesamt 20 Probanden eingeladen die Audioaufnahmen zu beurteilen. Die Wiedergabesoftware wurde dabei in das Umfragetool LimeSurvey eingebunden. So konnten die Probanden direkt das über Kopfhörer wiedergegebene Signal auf dem Bildschirm bewerten. Die Lautstärke der Kopfhörer wurde mit Hilfe eines künstlichen Ohres und einem Kalibriersignal fest auf den Wert eingestellt, der im Labor bei der entsprechenden Messung gemessen wurde. Die Bewertungsskala wurde in Anlehnung an ISO/TS 15666 [7] erstellt und umfasste drei Schritte. In der ersten Stufe wurde die Lästigkeit in einer numerischen Skala von 0 bis 10 bewertet. Die Elfstufige Skala wird verwendet, da die meisten Menschen mit einer Abstufung von Zahlen von 0 bis 10 eher Vertraut sind, als dies z.B. von 0 bis 7 der Fall wäre.

In der zweiten Stufe erfolgte eine grobe Einstufung der empfundenen Lautstärke auf einer verbalen fünfstufigen Skala, welche in der dritten Stufe um eine weitere zehnstufige, numerische Skala verfeinert wurde. Die Verbale Skala hat dabei genaugenommen sieben mögliche Antworten, wobei die erste und die letzte jedoch als Grenzwerte (0 und 50) zu betrachten sind. Bei Auswahl des Probanden von „zu laut“ (50) oder „nicht gehört“ (0) wird die Feinabstufung daher übersprungen und zum nächsten Schritt gewechselt. Da bei der verbalen Skala keine numerische Assoziation zwischen den Abstufungen gebildet werden muss, ist es besser weniger Stufen zu verwenden, wobei nach [7] fünf Stufen bevorzugt werden.

Mit Hilfe des open Source Softwaretools LimeSurvey, wurde dann aus dem Plan aus Tabelle 15 ein benutzerfreundlichen Fragebogen erstellt. Dieser wurde zusammen mit dem VLC Player in den Webbrowser Mozilla Firefox eingebunden, so dass die Probanden die Möglichkeit hatten die Geräusche eigenständig zu starten und wiederholen, während sie die Lautheit und Lästigkeit bewerteten. Bild 27 zeigt ein Bildschirmfoto vom fertigen Fragebogen, wie er den Probanden vorgestellt wurde. Dieser wurde für 120 Audiosignale wiederholt, welche während der Bauakustischen Messungen aufgezeichnet wurde. Es wurden jeweils 6 Bodenbeläge, bei vier Trittschallquellen auf der Rohdecke und auf den Estrichen ausgewählt. Die Zeit, die jeder Proband für die gesamte Umfrage zur Verfügung hatte, wurde dabei auf 1 Stunde begrenzt.

0% 100%

Starten Sie die Wiedergabe und geben Sie Ihre Urteile ab. Nehmen Sie keine Änderungen an der Lautstärke vor.

Denken Sie darüber nach, welche Nummer auf der Skala von 0 bis 10 am besten zeigt, wie sehr Sie sich durch das gehörte Geräusch beeinträchtigt, gestört oder verärgert fühlen.

Wie sehr fühlen Sie sich durch das gehörte Geräusch beeinträchtigt, gestört oder verärgert?

gar nicht 0 10 außerordentlich

Wie laut empfinden Sie das gehörte Geräusch?
Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

☐ zu laut
☐ sehr laut
☐ laut
☐ mittel
☐ leise
☐ sehr leise
☐ nicht gehört

Nehmen Sie nun die Feinabstufung vor.

leise 21 27 mittel 30 laut

Stellen Sie sich vor, Sie seien zu Hause und würden das eben abgespielte Geräusch hören, während Sie in Ruhe eine Zeitung, Zeitschrift oder ein Buch lesen. Würde das Geräusch Sie dabei beeinträchtigen, stören oder verärgern?

☐ Ja ☒ Nein

<< Zurück Weiter >> Umfrage verlassen und löschen

Bild 27: Bildschirmfoto der Umfrage

Tabelle 22: Schematische Darstellung der Bewertungsskala zur empfundenen Lautheit

zu laut									
sehr laut									
laut									
mittel									
leise									
sehr leise									
nicht gehört									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Um die Durchführung der Hörversuche aus zeitlicher und finanzieller Sicht in Grenzen zu halten, wurden 6 der 10 Bodenbeläge aus den Bauakustischen Messungen für die Hörversuche ausgewählt. Diese waren:

- Laminat mit Unterlage
- Parkett mit Unterlage
- Nadelfilzteppich
- Hochflorteppich 35 dB
- PVC 1,3 mm
- PVC 4,0 mm

Die Aufnahmen auf dem EP1 Estrich waren allesamt zu leise und wurden daher aus der Untersuchung gestrichen.

7.2 Ergebnisse und Diskussion

Analog zu den Bauakustischen Messungen soll zunächst ein Vergleich der verwendeten Trittschallquellen untereinander und mit realen Gehgeräuschen stattfinden. Die folgenden beiden Diagramme zeigen den Vergleich der Beurteilung der Trittschallquellen mit dem Mittelwert aus 10 realen Gehvorgängen auf einem vollflächig verlegten Zementestrich von geringer akustischer Qualität ($\Delta L_w = 17$ dB) aus dem Hörversuch.

In Bild 28 und Bild 29 wird deutlich, dass das Norm-Hammerwerk auch bei der subjektiven Beurteilung am lautesten ist. Die tieffrequenten Trittschallquellen liegen bei der Bewertung alle in etwa gleichauf mit den realen Gehvorgängen und werden im Allgemeinen als leise bewertet. Der Ball wird zwar etwas lauter bewertet, jedoch sind die Unterschiede eher gering, obwohl er einen etwa 20 dB höheren Pegel erzeugt. Ein Grund dafür könnte sein, dass das Signal des Balles aus einem Impuls bestand, während die anderen Signale kontinuierliche Geräusche darstellen. Es wäre denkbar, dass ein Impuls in Bezug auf seine Lautheit von den Probanden schwerer zu bewerten ist und sicherlich als weniger lästig wahrgenommen wird.

In den Bildern Bild 30 und Bild 31 ist die Beurteilung der Trittschallquellen zu den in Ziffer 5.1 bauakustisch gemessenen 1 m² großen Teilestrich- Konstruktionen dargestellt, auf denen später auch die Bodenbeläge untersucht werden. Auf den kleinen Teilestrichen konnte kein realer Gehvorgang durchgeführt werden.

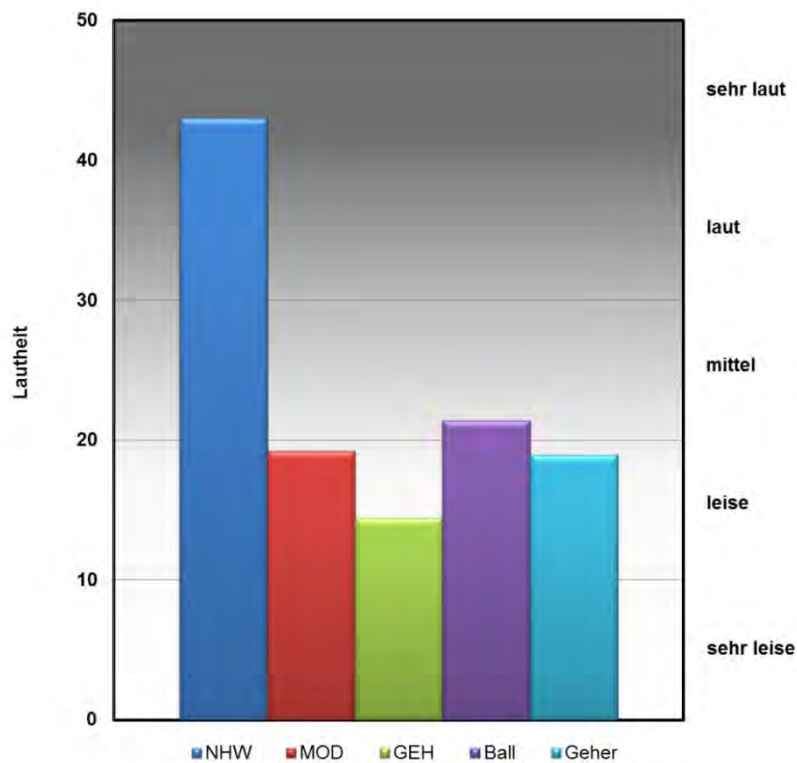


Bild 28: Ergebnisse des Hörversuches: Vergleich der Bewertung der Lautheit der Trittschallquellen mit 10 gemittelten realen Gehern

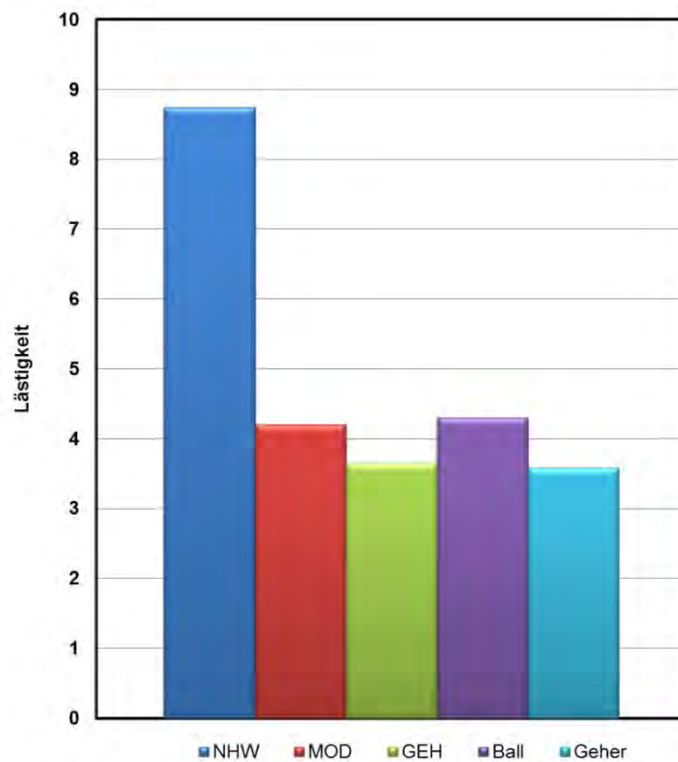


Bild 29: Ergebnisse des Hörversuches: Vergleich der Bewertung der Lästigkeit der Trittschallquellen mit 10 gemittelten realen Gehern

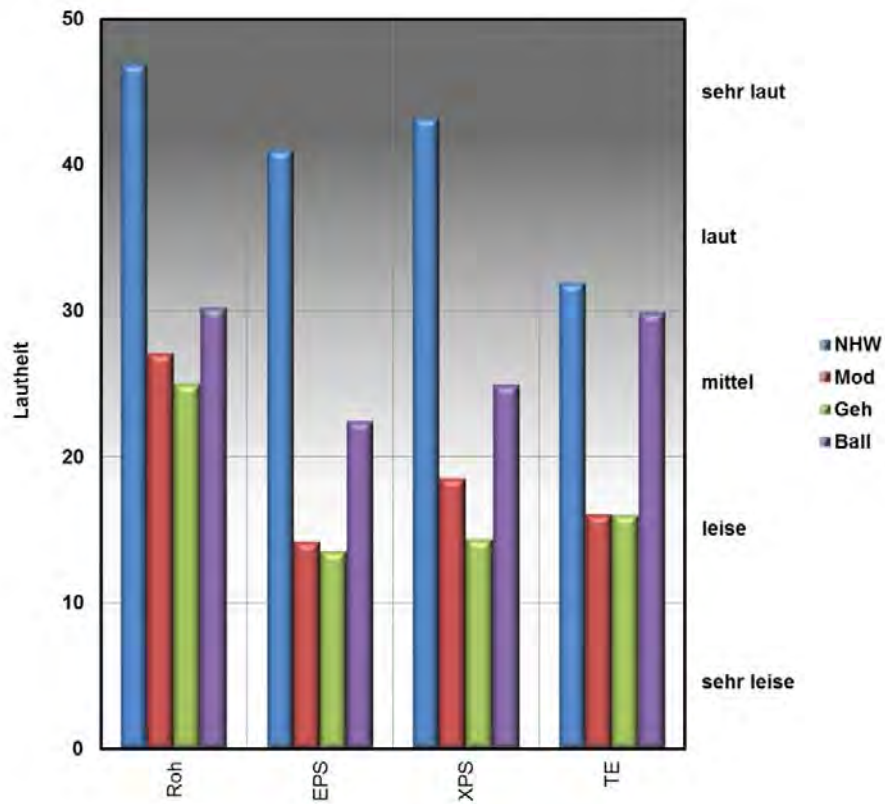


Bild 30: Bewertung der Lautheit der verwendeten Quellen auf den Estrichen

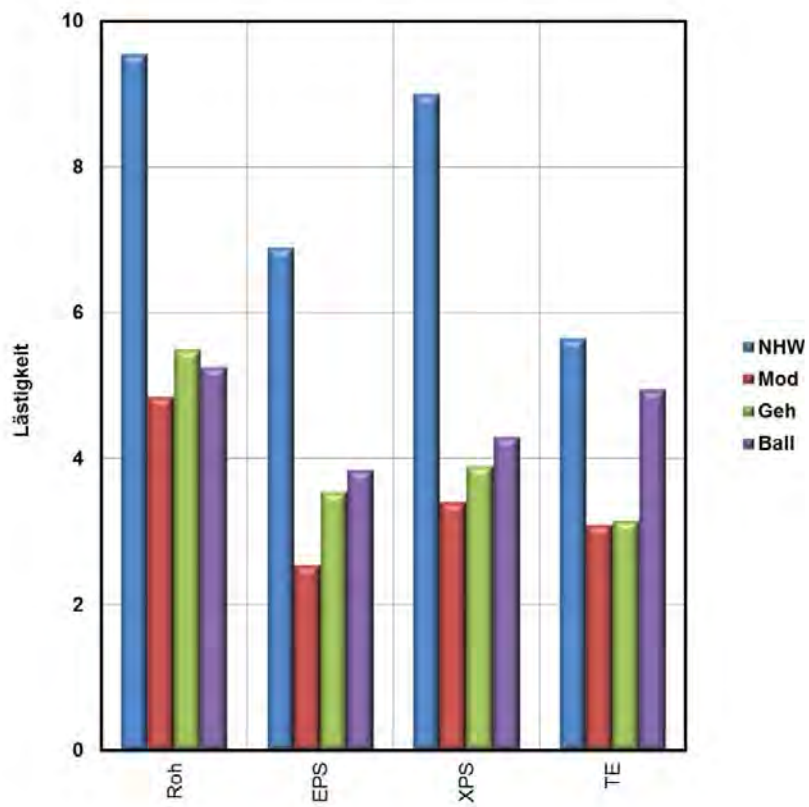


Bild 31: Bewertung der Lästigkeit der verwendeten Quellen auf den Estrichen

Während das Norm-Hammerwerk auf allen Estrichen als „laut“ bis „sehr laut“ und als ebenso lästig wahrgenommen wird, wirken das modifizierte Hammerwerk und das Gehwerk gemäß den gemessenen Pegeln gleichermaßen moderat. Interessanterweise wird das Normhammerwerk auf dem Trockenestrich am leisensten bewertet, obwohl die Pegelminderung bei dieser Kombination die schlechtesten Werte aller Estriche lieferte und damit die gemessenen Pegel, also A-Schallpegel und bewerteter Trittschallpegel, am höchsten sind. Dieser Effekt tritt bei den anderen Anregeformen nicht in dem Maße auf. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass das Norm-Hammerwerk die Decke im oberen Frequenzbereich von 500 bis 5000 Hz im Vergleich zu den anderen Quellen stärker anregt. Gerade in diesem Frequenzbereich ist die Wirkung des Trockenestrichs besonders gut. Allerdings wirkt sich der obere Frequenzbereich gar nicht auf die Bildung der Einzahlwerte aus. Ein weiteres Indiz dafür ist, dass die wahrgenommene Lautheit und Lästigkeit bei Anregung mit dem Ball auf dem Trockenestrich höher liegt, als auf den Zementestrich-Konstruktionen. Diese haben wiederum bei den tiefen Frequenzen eine höhere Trittschallminderung, als der leichte Trockenestrich.

Es folgen auf den Bildern Bild 32 bis Bild 37 die Ergebnisse der Hörversuche mit Bodenbelägen. Dabei werden die in Tabelle 14 erläuterten Abkürzungen verwendet. Zur Erinnerung: „EPS+U+Lam“ bedeutet Laminatboden mit Unterlage auf dem Zementestrich mit EPS-Dämmstoff auf der Stahlbetonrohdecke des Prüfstands verlegt.

Folgende Daten konnten aufgrund eines Softwarefehlers nicht ausgewertet werden und ergeben „Nullstellen“ in den Diagrammen:

- Lautheit: NHW auf EPS+HF
- Lautheit: Ball auf TE+NF
- Lästigkeit Ball auf TE+NF

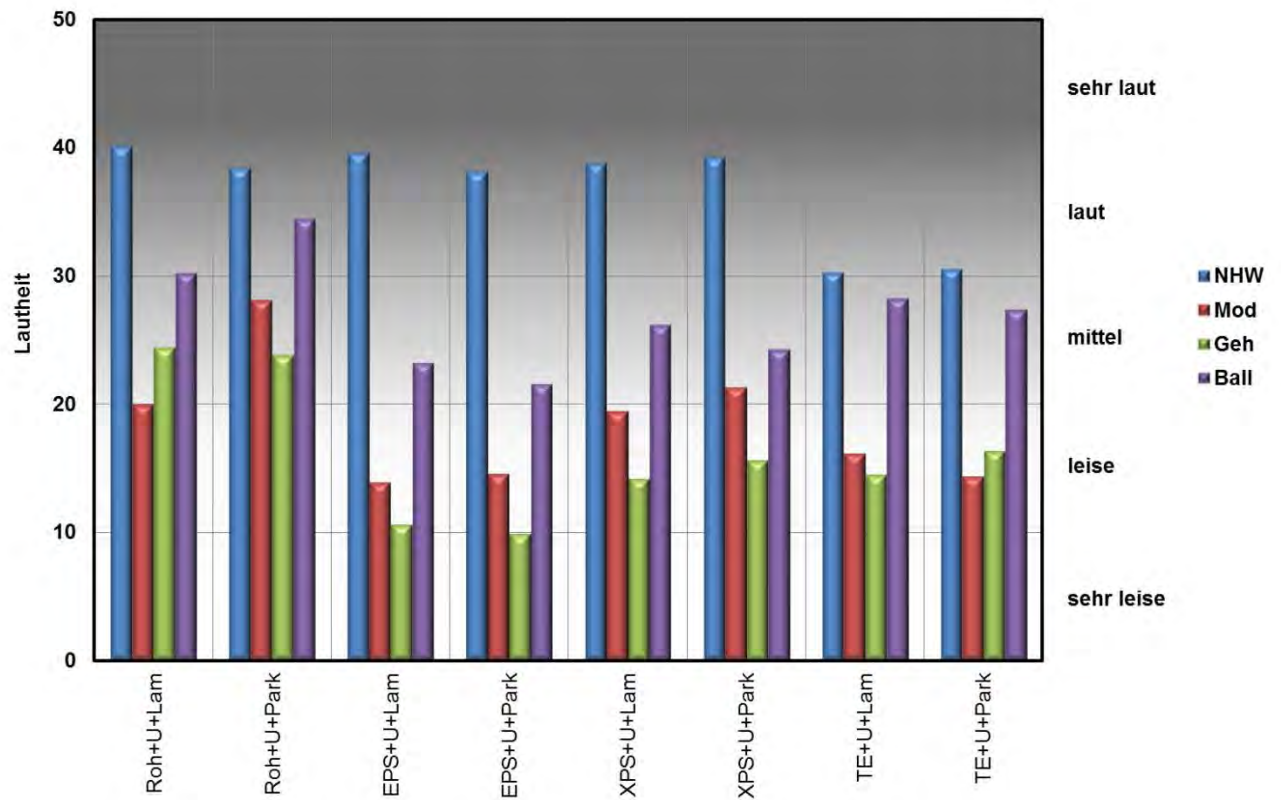


Bild 32: Bewertung der Lautheit auf Laminat und Parkett

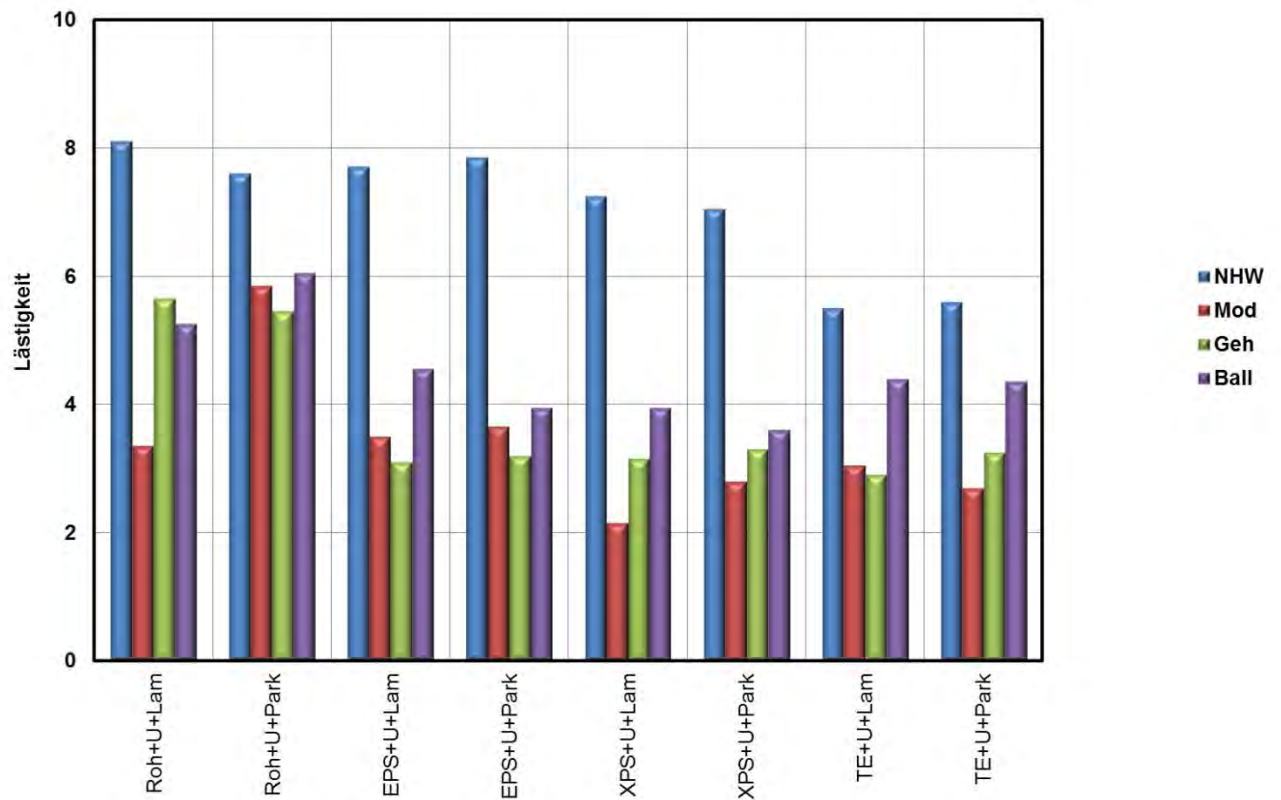


Bild 33: Bewertung der Lästigkeit auf Laminat und Parkett

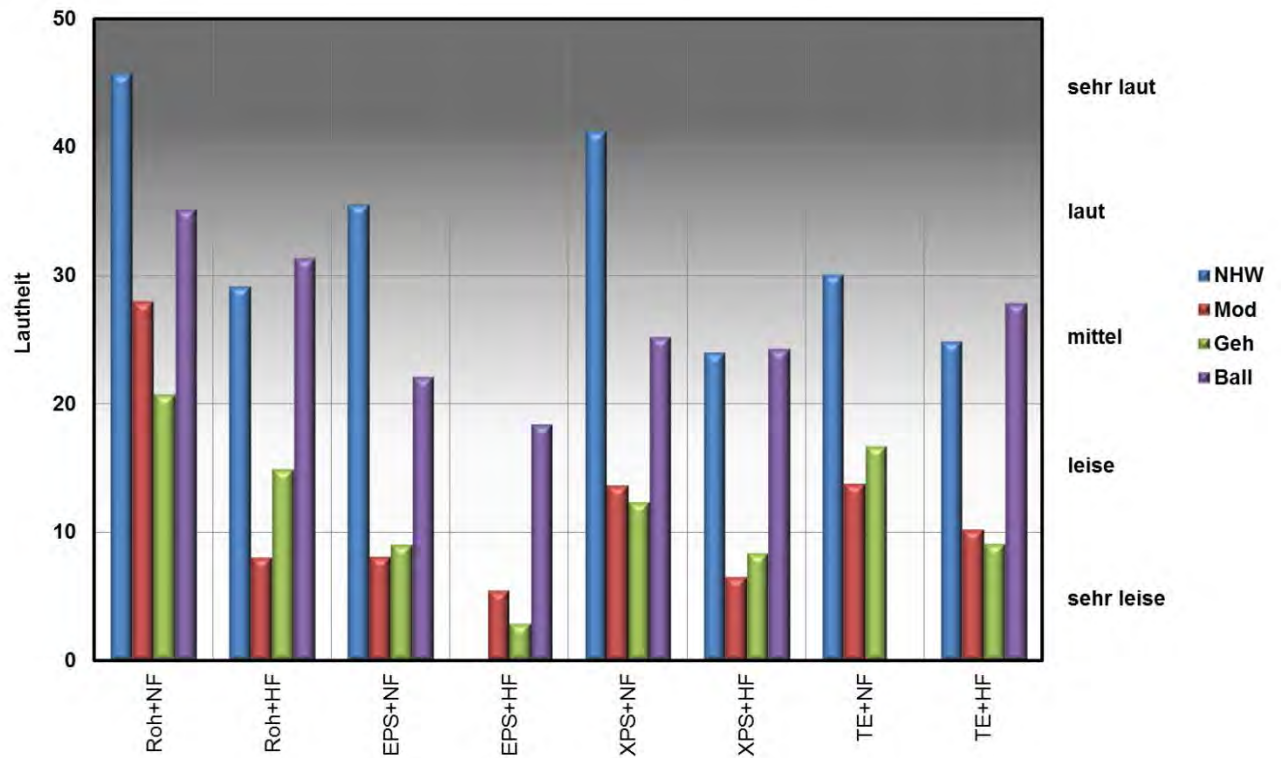


Bild 34: Bewertung der Lautheit auf Teppichboden

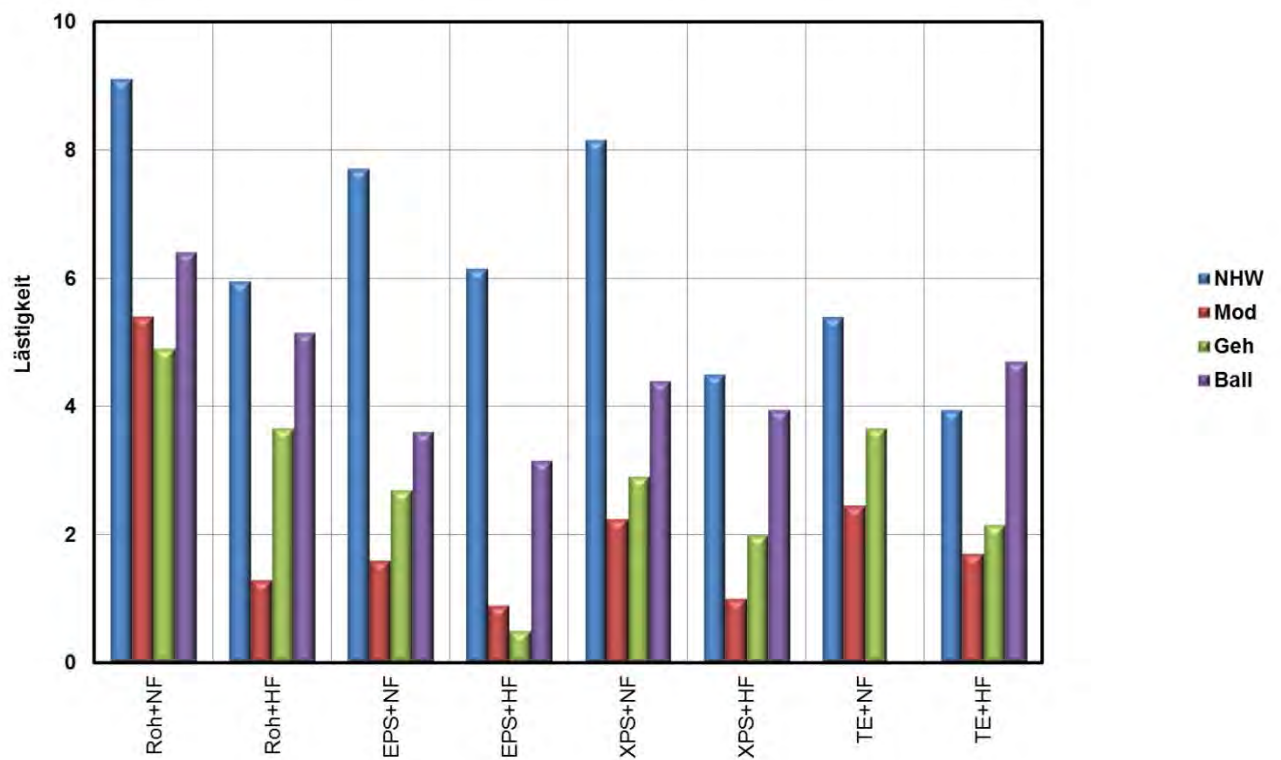


Bild 35: Bewertung der Lästigkeit auf Teppichboden

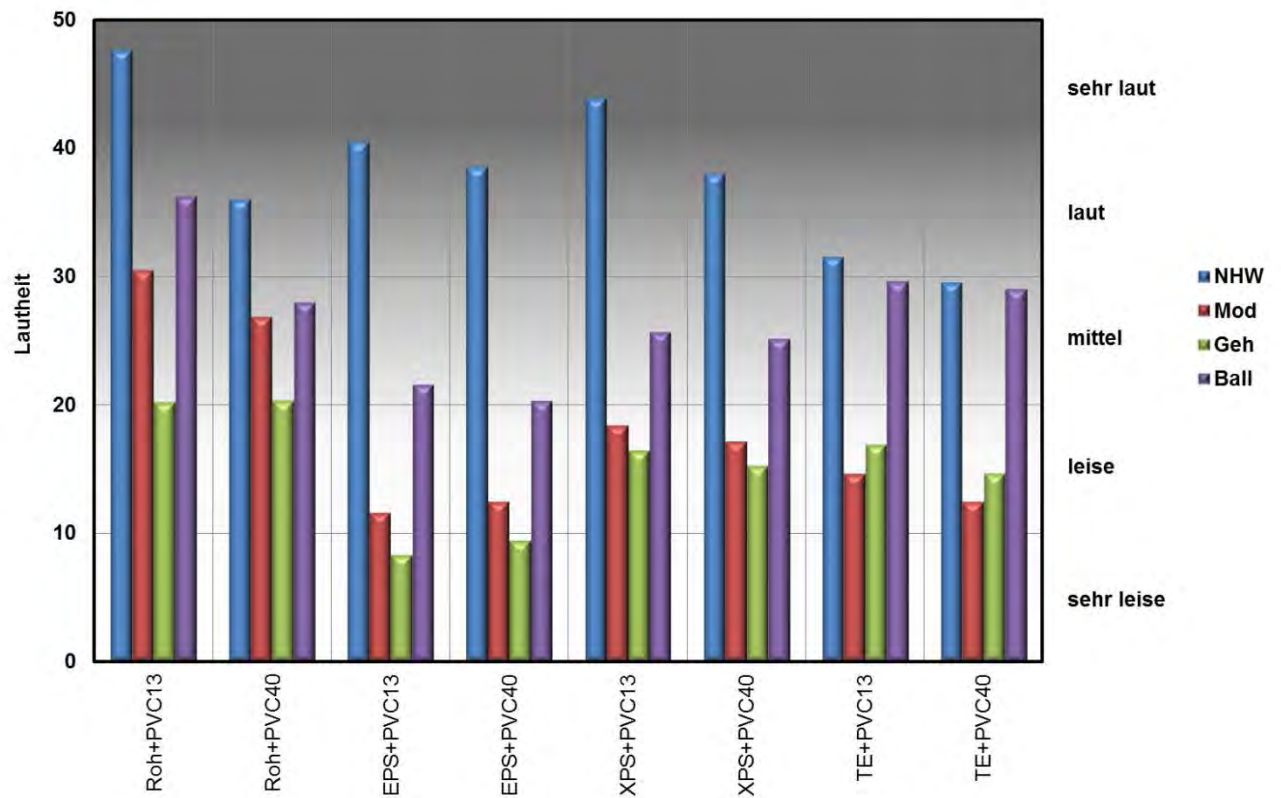


Bild 36: Bewertung der Lautheit auf PVC-Belag

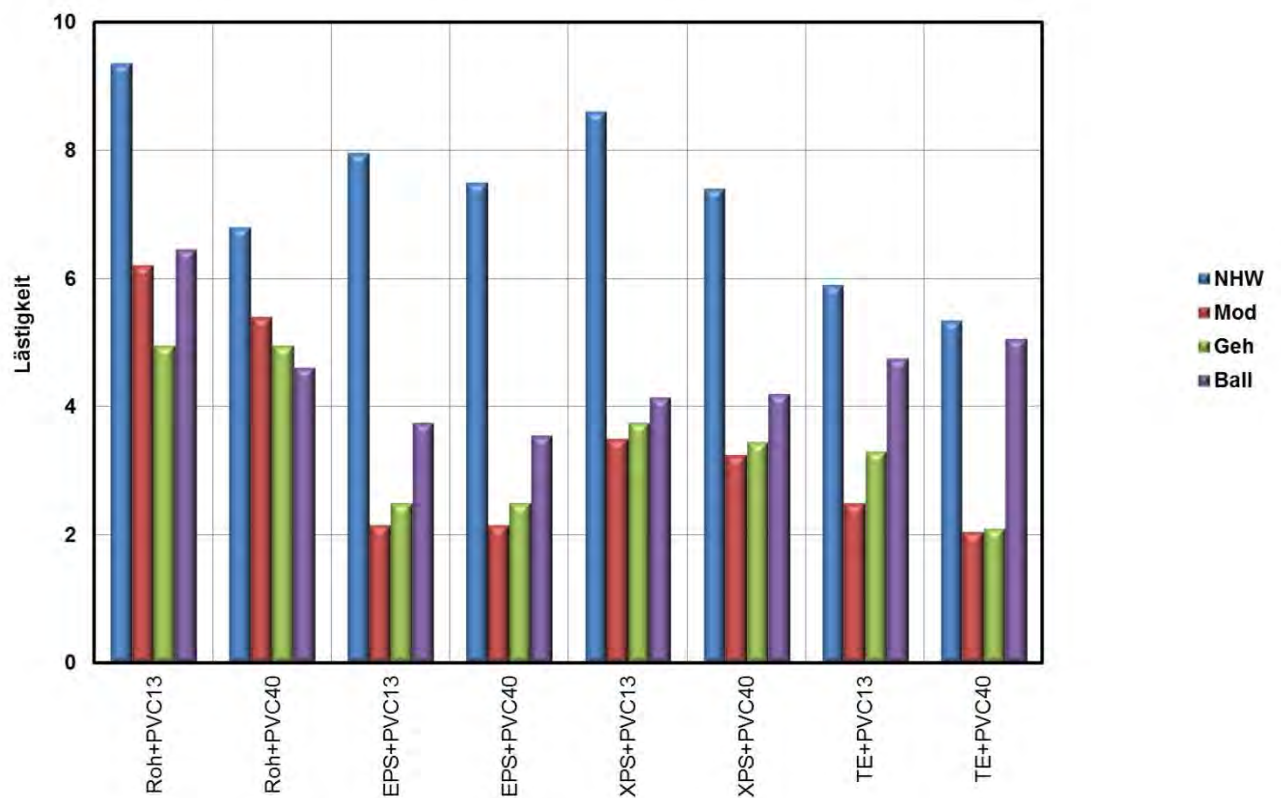


Bild 37: Bewertung der Lästigkeit auf PVC-Belag

Wenn man in den Bildern Bild 32 bis Bild 37 die Ergebnisse der Hörversuche als Ganzes betrachtet, fällt sofort auf, dass das Norm-Hammerwerk (erster Balken / blau) als laut und lästig wahrgenommen wird, das modifizierte Hammerwerk (zweiter Balken / rot) und das Gehwerk (dritter Balken / grün) dagegen in beiden Skalen eher als leise bis mittel. Der Ball (vierter Balken / violett) hingegen wird zwar als mittel-laut bis laut, aber als weniger lästig beurteilt. Eventuell ist dieses Ergebnis darauf zurückzuführen, dass bei der Ballanregung nur Einzelimpulse zu hören sind, während die Hammerwerksaufnahmen kontinuierlich waren.

Bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk werden alle Bodenbeläge auf allen Estrichen als mittel-laut bis sehr laut beurteilt, wobei analog zu den Pegeln die hochflorigen Teppichböden besser bewertet werden. Die Laminatböden, der Nadelfilzteppich und der 1,3 mm dünne PVC Belag scheinen bei der Beurteilung im Vergleich zum jeweiligen Estrich ohne Belag keine Wirkung zu haben. Selbst mit dem Norm-Hammerwerk, wo durchaus geringe positive Pegelminderungen durch Bodenbeläge auf Estrichen gemessen wurden ist die subjektive Bewertung von Lautheit und Lästigkeit gleich. Für die anderen Trittschallquellen gilt dies gleichermaßen, wobei bei ihnen auch keine Verbesserungen der Pegel gemessen wurden. Die Bewertung scheint vorrangig von der Wahl des Estrichs und der Trittschallquelle abhängig zu sein.

Auch mit Bodenbelägen wird der Trockenestrich bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk leiser bewertet. Selbst der Aufbau 4,0 mm PVC ($\Delta L_w = 22,9$ dB) auf dem EPS Estrich ($\Delta L_w = 26,3$ dB) ist mit Norm-Hammerwerk angeregt lauter bewertet worden, als der Trockenestrich ($\Delta L_w = 17,0$ dB) ohne Belag. Bei Anregung mit dem Ball ist der EPS-Estrich ohne Belag leiser bewertet, als der Trockenestrich mit Bodenbelägen. Allerdings war hier die Wirkung der Bodenbeläge ohnehin kaum mess- und spürbar.

Im Prinzip bedeutet dieses Ergebnis, dass austauschbare Bodenbeläge in Bezug auf reale Gehgeräusche keinen Einfluss haben, obwohl sie nach DIN 4109: 1989 [3] BBl.2 für Wohnungen mit erhöhtem Komfort mit dem Labor-Messwert ermittelt mit dem Norm-Hammerwerk auf der Rohdecke anrechenbar sind.

7.3 Gegenüberstellung von bauakustischen und psychoakustischen Ergebnissen

In ISO 16832 [6] Anhang A.6 sind Ergebnisse von Untersuchungen dargestellt, die zeigen, wie die Bewertungen bei Hörversuchen von der Frequenz abhängig sind. In Bild 38 sind die Ergebnisse entsprechend für die die Einzahlwerte entscheidenden 3 Oktaven dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass eine Schwankung von ca. ± 5 um den Mittelwert normal angesehen werden kann. Darüber hinaus zeigen die Diagramme, dass die Bewertung der Lautheit über dem tatsächlichen Pegel bis ca. 80 dB linear verläuft und dann oberhalb etwas stärker ansteigt. Töne werden zwischen 60 dB und 80 dB als „mittel“ und ab 100 bis 110 dB als „zu laut“ bezeichnet.

A.6 Typical results

Figure A.1 shows typical results yielded with the method given in this Annex for 22 normal-hearing listeners (aged 16 years to 42 years, median age 25 years). Both ears of each subject were tested monaurally. Signals were one-third-octave noises centred around 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 1,5 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz, and 10 kHz, respectively. Signals had a duration of 1 000 ms and were presented monaurally via Sennheiser HDA 200 headphones¹⁾.

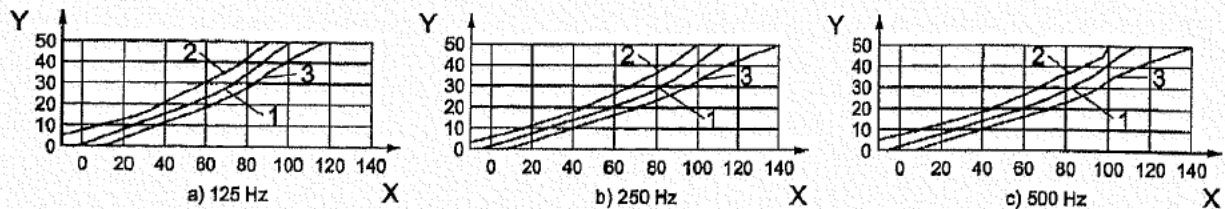


Bild 38: Typische Ergebnisse für die Befragung nach der Lautheit von Geräuschen bei verschiedenen Frequenzen, Zitat: ISO 16832: 2006(E) Anhang A.6

Mit Hilfe der in Bild 38 dargestellten Kurven aus [6] bei denen die bewertete Lautheit über dem tatsächlichen Pegel für Töne dargestellt wird kann für den Vergleich der Trittschallmessungen und der Ergebnisse des Hörversuches eine Anpassung der Pegel an die Bewertungsskala durchgeführt werden. Da hier über das gesamte Frequenzspektrum verglichen werden soll, wird die Anpassung vereinfacht durchgeführt. Das bedeutet, dass analog zu den Kurven aus Bild 38 vereinfacht ein Trittschallpegel von 0 dB (Hörschwelle) mit der Bewertung „0 = zu leise“ und ein Trittschallpegel von 100 dB mit der Bewertung „50 = zu laut“ gleichgesetzt wird und die Bereiche dazwischen linear verbunden werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die jeweiligen Bewertungskurven für die Deckenaufbauten in einem Diagramm darzustellen und zu vergleichen.

Der Vergleich der bauakustischen Messungen und der Hörversuche ist in den Bildern Bild 39 bis Bild 42 dargestellt. Er macht deutlich, dass Bewertungen von Decken die nach Norm im Labor untersucht werden nicht immer dem tatsächlichen Höreindruck entsprechen. So wird zum Beispiel die Anregung mit dem Norm-Hammerwerk auf der Rohdecke und auf den Zementestrich-Konstruktionen von den Probanden als lauter und lästiger empfunden, als es der gemessene Pegel im direkten Vergleich wiedergibt, während dies auf dem Trockenestrich umgekehrt ist.

Wenn man berücksichtigt, dass die nach Norm ermittelten bewerteten Trittschallpegel allesamt unter den hier dargestellten A-Schallpegeln liegen (siehe Tabelle 15) kommt man zu dem Schluss, dass der A-Schallpegel sogar bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk die bessere Beurteilungsgröße bezogen auf die tatsächlich empfundene Lautheit darstellt.

Beim modifizierten Hammerwerk und beim Gehwerk stimmen die Beurteilungen und die Pegel recht gut überein. Allerdings waren die Signale im Allgemeinen eher leise und dadurch der Beurteilungsspielraum eingeschränkt.

Bei Anregung mit dem Ball stimmen die Messwerte mit den Beurteilungen ebenfalls sehr gut überein. Dieses Ergebnis ist erstaunlich, da es sich beim impulsartig anregenden Ball um eine schwer zu beurteilende Schallquelle handelt und da der gemessene Maximalpegel größeren Toleranzen bei der Messung unterliegt, als der energieäquivalente Mittelwert bei einer Messzeit von einer Minute. Darüber hinaus liegt das Niveau der Bewertung bereits in der oberen Hälfte, so dass genügend Spielraum für die Bewertung vorhanden wäre. Damit eignet sich der japanische Gummiball sehr gut als Trittschallquelle.

Der Vergleich der Trittschallpegel mit den Beurteilungen der Lautheit kann ebenso auf die Pegelminderung beziehungsweise Wirkung der Bodenbeläge übertragen werden. Hierzu werden jeweils die Differenzen der Beurteilungsergebnisse mit Bodenbelag und ohne Bodenbelag auf der jeweiligen Decke (Rohdecke oder Rohdecke plus Estrich) gebildet und mit den Pegelminderungen verglichen. Beim Vergleich wird die Skala für die Pegelminderung dabei wieder doppelt so groß gewählt wie bei der empfundenen Lautheitsabnahme. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich die Linearität der Kurven aus Bild 38 auf die Differenzen übertragen lässt. Die Ergebnisse sind in den Bildern Bild 41 und Bild 42 dargestellt.

Tendenziell stimmen die Ergebnisse aus den Messungen der Trittschallminderung und der empfundenen Lautheitsabnahme aus dem Hörversuch bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk und mit dem Gummiball gut überein. Bei Anregung mit dem modifizierten Hammerwerk und dem Gehwerk ergeben sich größere Abweichungen zwischen Messung und Hörversuch.

Vor dem Hintergrund, dass sich bei Verwendung des japanischen Gummiballs die beste Übereinstimmung der Trittschallpegel ergibt und darüber hinaus reale Gehgeräusche gut beschrieben werden, liefert er bei der Bewertung von Decken, Deckenauflagen und Bodenbelägen von den hier untersuchten Trittschallquellen die Ergebnisse mit dem besten Praxisbezug von allen hier untersuchten Quellen.

Die trittschallmindernde Wirkung der untersuchten austauschbaren Bodenbeläge ist bei praxisbezogener Verlegung auf Decken mit Estrich und praxisnaher Trittschallanregung sowohl bei Messungen, als auch bei der subjektiven Bewertung als kaum Wahrnehmbar einzustufen.

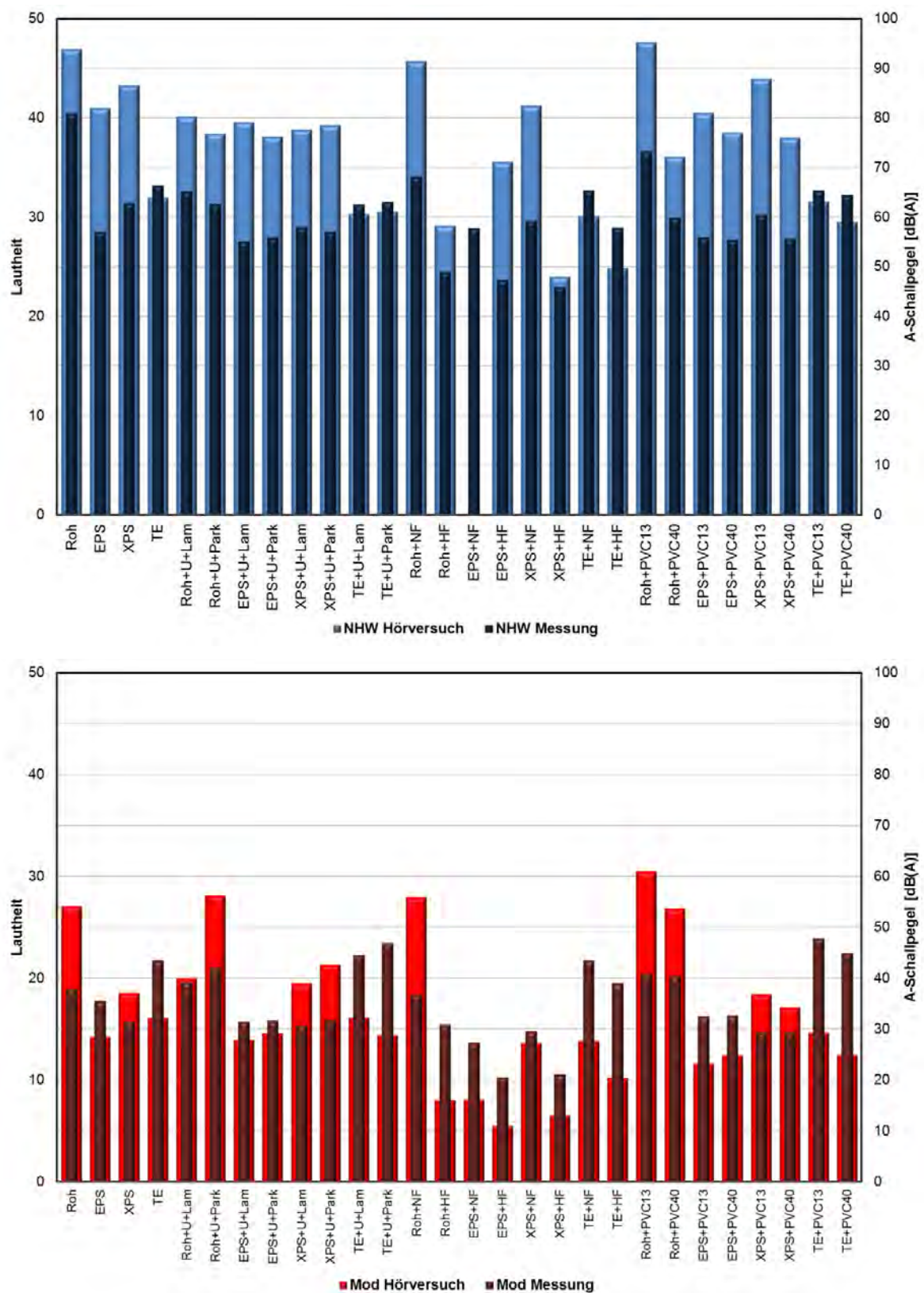


Bild 39: Vergleich der Ergebnisse aus Messung und Hörversuch – Norm-Hammerwerk (oben) und modifiziertes Hammerwerk (unten)

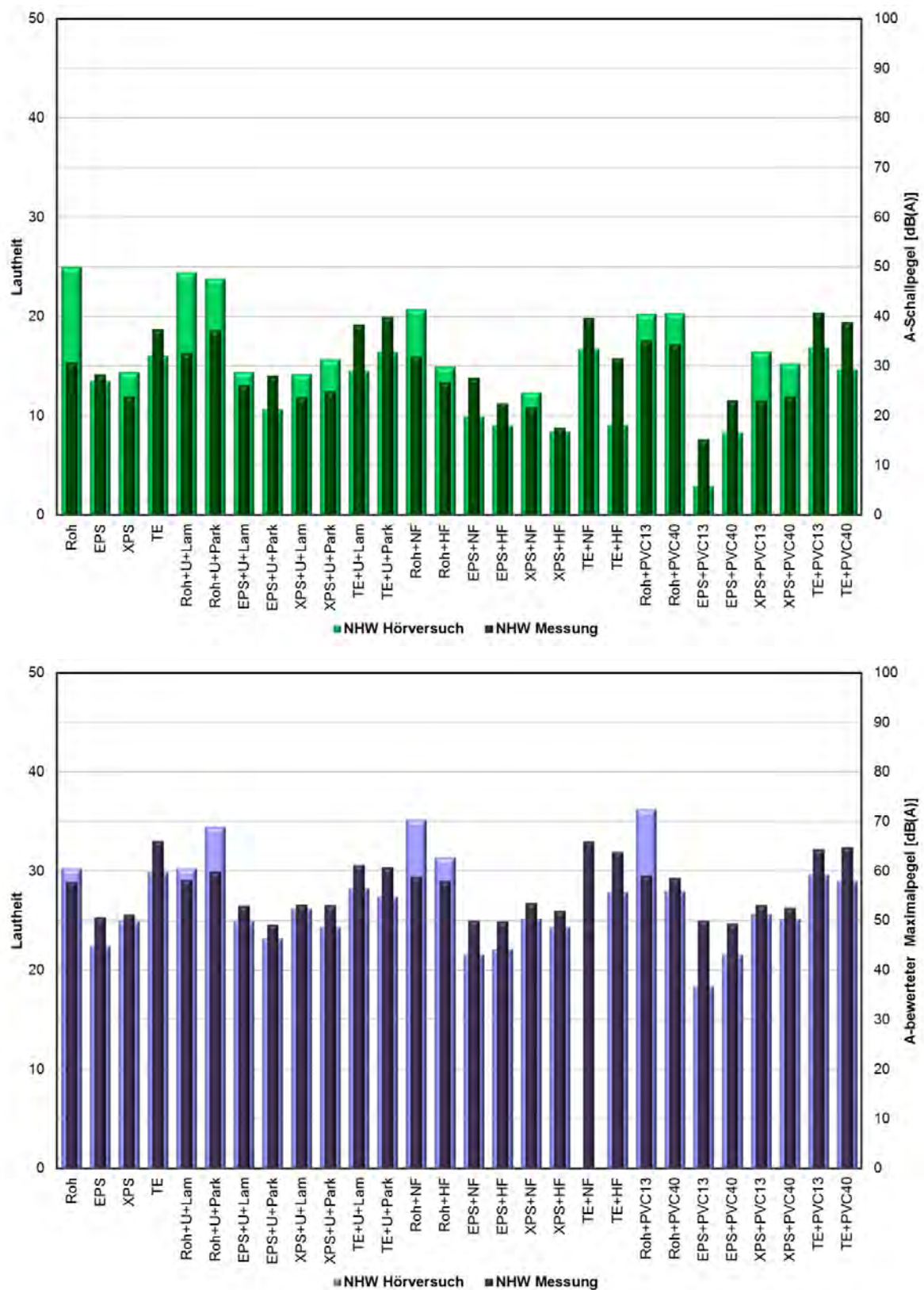


Bild 40: Vergleich der Ergebnisse aus Messung und Hörversuch – Gehwerk (oben) und japanischer Gummiball (unten)

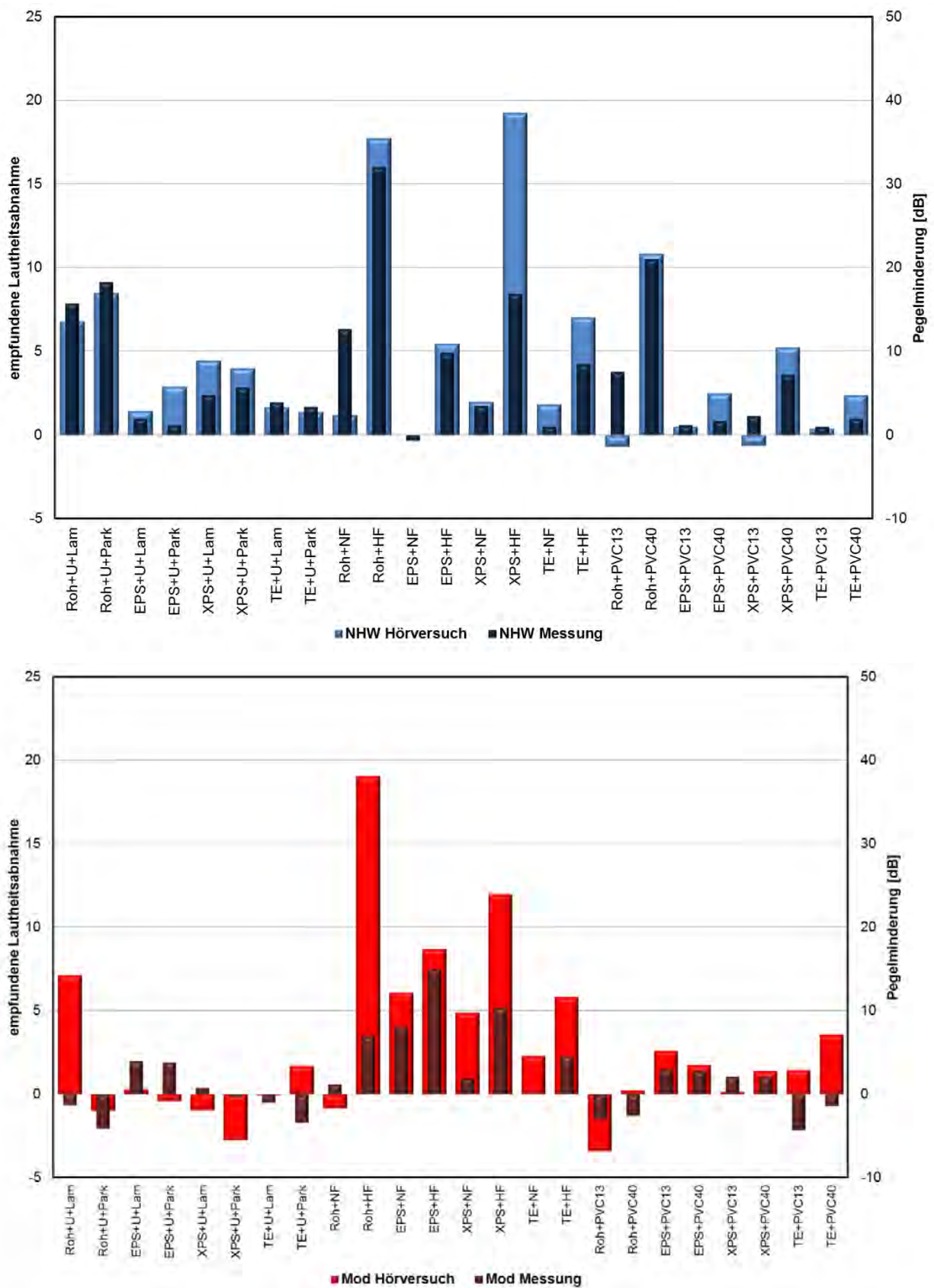


Bild 41: Vergleich zwischen Pegelminderung und empfundener Lautheitsabnahme durch Bodenbeläge auf Fertigdecken mit Norm-Hammerwerk (oben) und modifiziertem Hammerwerk (unten)

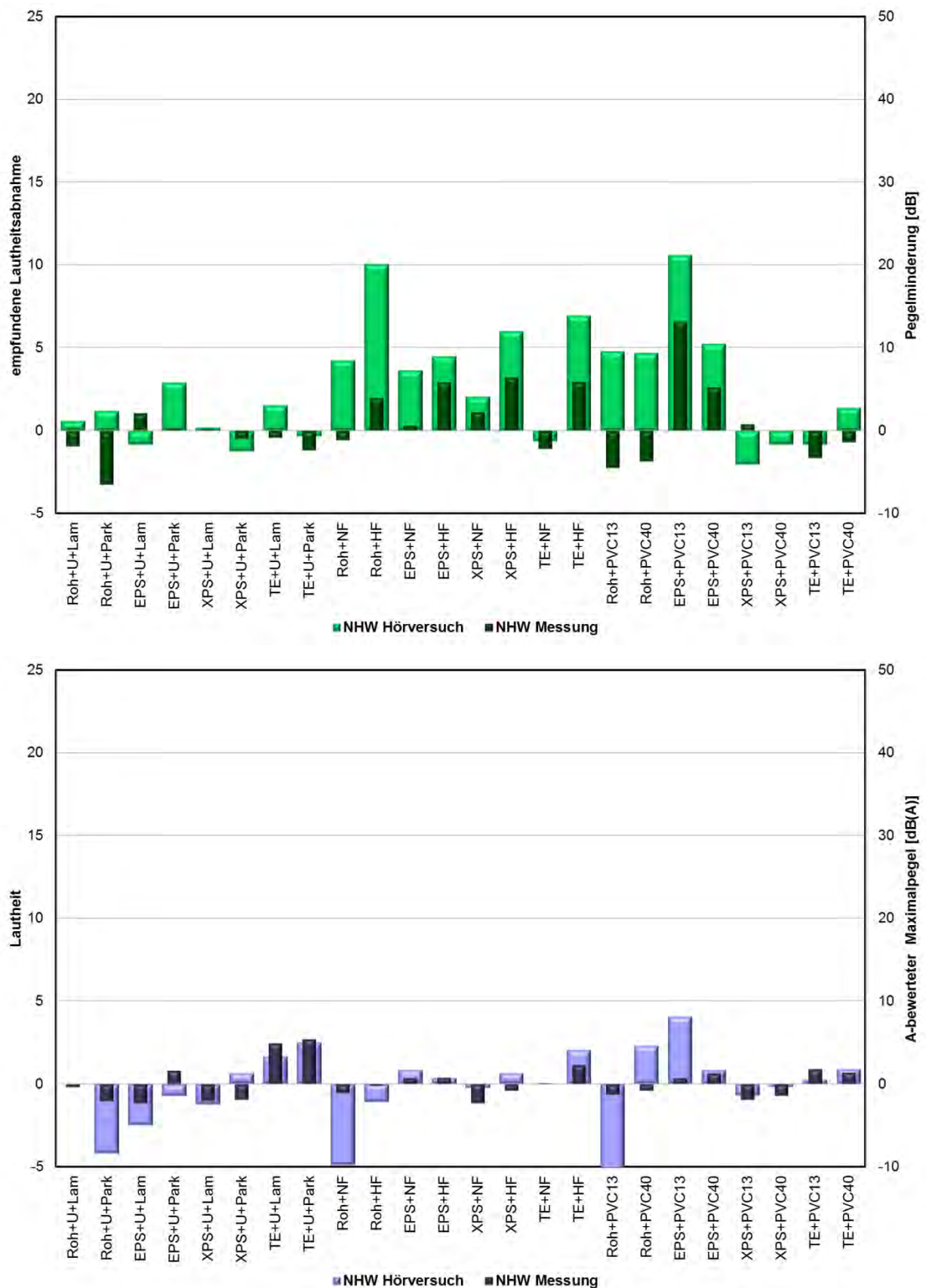


Bild 42: Vergleich zwischen Trittschallpegel und wahrgenommener Lautheit durch Bodenbeläge auf Fertigdecken mit Gehwerk (oben) und japanischem Gummiball (unten)

8 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde untersucht, wie die akustische Wirkung von austauschbaren Bodenbelägen von der Deckenkonstruktion, der Art der Trittschallquelle und dem damit zusammenhängenden Bewertungsverfahren abhängt. Dazu wurden 10 typische Bodenbeläge ausgewählt und jeweils ihre trittschallmindernde Wirkung nach Norm auf der Rohdecke sowie außerdem zum Vergleich die Wirkung bei praxisbezogener Verlegung auf unterschiedlichen schwimmenden Estrichen ermittelt. Dabei kamen neben dem Norm-Hammerwerk drei tieffrequente Trittschallquellen zum Einsatz. Im Anschluss wurden die bei den Messungen aufgezeichneten Geräuschsignale bei einem Hörversuch 20 Probanden zur Bewertung vorgespielt.

Da es aufgrund der großen Anzahl an Deckenkombinationen im Rahmen dieses Projekts nicht möglich war, die Estriche vollflächig zu verlegen, wurden die Untersuchungen an einem 1 x 1 m großen Teilestrichmodell durchgeführt. Dabei wurden die Abweichung und die ideale Position auf der Rohdecke in Voruntersuchungen festgestellt. In einer weiteren Voruntersuchung wurden die verwendeten Trittschallquellen auf einem vollflächigen Estrich und der Rohdecke des Trittschallprüfstands mit realen Gehvorgängen verglichen.

Die Wirkung der Bodenbeläge ist bei Verlegung auf einem schwimmenden Estrich nicht gleich der im Labor auf der Rohdecke ermittelten Trittschallminderung. Bei Verlegung auf einer massiven Rohdecke wiesen die untersuchten Bodenbeläge im Mittel eine bewertete Trittschallminderung von $\Delta L_w \approx 20$ dB auf. Auf einem bauüblichen schwimmenden Estrich (gleichgültig, ob es sich um einen mineralischen oder einen Trockenestrich handelt) verringert sich dieser Wert auf ca. 2 - 3 dB. Nur bei Estrichen mit sehr steifer Dämmschicht und entsprechend geringer Trittschalldämmung wirken die Beläge ein wenig besser (Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung im Mittel ca. 6 - 7 dB). Ein möglicher Zusammenhang zwischen den Messergebnissen für Bodenbeläge nach Norm und bei Verlegung auf einem Estrich wurde untersucht und kann mit Hilfe einfacher Formeln näherungsweise berechnet werden, sofern die bewertete Trittschallminderung des Estrichs und des Bodenbelags aus dem Labor – d. h. aus der Messung auf der Rohdecke – bekannt sind.

Zum Vergleich der verschiedenen Trittschallquellen wurde der A-bewertete Summenpegel des Trittschallspektrums von 50 bis 5000 Hz verwendet. Er korreliert gut mit der subjektiven Bewertung von Lautheit und Lästigkeit aus den Hörversuchen und ist daher als Bewertungsmaß für Trittschallpegel und Trittschallminderung geeignet. Dies gilt sowohl für den äquivalenten Mittelwert bei kontinuierlicher Anregung als auch für den Maximalpegel bei impulsartigen Geräuschen wie der Anregung mit dem japanischen Gummiball.

Die Wirkung austauschbarer Bodenbeläge auf den Trittschallpegel liegt fast ausschließlich im Frequenzbereich über 400 Hz. Das führt dazu, dass die gemessene und empfundene tatsächliche Wirkung auch von

der Anregung abhängig ist. Während bei breitbandiger oder hochfrequenter Anregung wie zum Beispiel mit dem Norm-Hammerwerk die Wirkung der Bodenbeläge überwiegend positiv ist, haben sie bei tieffrequenter Anregung, z.B. durch menschliche Geher oder den japanischen Gummiball, fast gar keine Wirkung. Im schlimmsten Fall verschlechtern sie die Trittschalldämmung im Resonanzbereich sogar um einige dB, obwohl sie nach DIN 4109: 1989 [3] BBl.2 für Wohnungen mit erhöhtem Komfort mit dem Labor-Messwert ermittelt mit dem Norm-Hammerwerk auf der Rohdecke in der Schallschutzplanung anrechenbar sind.

Bei der Wahl der Trittschallquelle hat sich das Norm-Hammerwerk nur als bedingt geeignet erwiesen. Durch seinen praktischen Vorteil, alle Frequenzen im bauakustischen Bereich gleichmäßig anzuregen und damit gut messbare Pegel im Empfangsraum zu erzeugen, bewertet es besonders weiche Böden zu gut und kann reale Gehvorgänge nicht nachbilden. Darüber hinaus ergeben sich bei hochflorigen Teppichböden messtechnische Probleme. Die Teppichfasern verzögern den Hammer vor dem Aufprall, was zu einer Überbewertung der trittschallmindernden Wirkung dieser Beläge führt.

Während sich das modifizierte Hammerwerk und das Gehwerk von den hier untersuchten Quellen vom Frequenzverlauf der Anregung gemessen auf der Rohdecke am besten eignen, um reale Gehvorgänge mit weichem Schuhwerk oder barfuß nachzubilden, wird in Bezug auf die Bewertung von weichen Belägen, insbesondere hochflorigen Teppichböden, die Überbewertung durch die reduzierte Aufprallgeschwindigkeit noch verstärkt. Aus diesem Grund sind das Gehwerk und das modifizierte Hammerwerk bei weichen Bodenbelägen nicht geeignet, um bewertende Messungen durchzuführen.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass sich der japanische Gummiball von den untersuchten Quellen am besten eignet, um störende reale Gehvorgänge und die Wirkung von Deckenkonstruktionen bei tieffrequenter Anregung zu bewerten. Er liefert ausreichend laute messbare Signale und korreliert mit dem Anregespektrum eines menschlichen Geher mit weichem Schuhwerk, wie es in einer praxisbezogenen Wohnsituation zu erwarten ist. Darüber hinaus haben Hörversuche ergeben, dass der A-bewertete Maximalpegel bei Anregung mit dem Gummiball von allen verwendeten Trittschallquellen am besten mit der subjektiv bewerteten Lautheit des aufgenommenen Geräusches übereinstimmt.

9 Ausblick

Als Folgerung aus den Ergebnissen kann man sagen, dass das Norm-Verfahren zur Bewertung und Messung der Qualität von Decken und Bodenbelägen seine Berechtigung hat. Allerdings sind diese Ergebnisse durch die hochfrequente Anregung zu wenig anwendungsbezogen. Eine wirkliche Qualitätsbewertung sollte daher um eine Messung mit einer schweren weichen Trittschallquelle wie dem japanischen Gummiball ergänzt und auf die jeweilige Nutzungssituation im Gebäude bezogen werden. Zum Beispiel kann in reinen Wohngebäuden von einer Trittschallanregung ausgegangen werden, die zum großen Teil aus reinen Gehgeräuschen mit weichem Schuhwerk oder durch Barfußgehen besteht.

Zur Anpassung an eine vorhandene Nutzungssituation könnte man die beiden Ergebnisse entsprechend gewichten. Bei einer reinen Wohnsituation mit überwiegenden Nutzergeräuschen im sensitiven Nachtzeitraum aus Barfuß-Gehvorgängen, würde eine Gewichtung zugunsten des Ergebnisses mit der schweren weichen Quelle vorgezogen, z.B. 75 % zu 25 %. Bei einer Mischsituation bestehend aus Gewerberaum und Wohnbereich würde man die Gewichtung entsprechend zum Hammerwerk verschieben. Die genaue Festlegung einer solchen Gewichtung könnte durch eine ergänzende Messreihe in Kombination mit Umfragen zu störenden Trittschallgeräuschen in der Praxis ermittelt werden.

Eine weitere Möglichkeit wäre, die gute messtechnische Reproduzierbarkeit und die einfache Messung und Auswertung bei der Anregung mit dem Norm-Hammerwerk mit der hohen Krafteinleitung des japanischen Gummiballes bei tiefen Frequenzen zu kombinieren, indem man beim modifizierten Hammerwerk die eingeleitete Kraft erhöht. Die Kraft ist proportional zur Geschwindigkeit des aufprallenden Hammers. Die einfachsten Möglichkeiten, die Geschwindigkeit des Hammers zu vergrößern sind:

- die Fallhöhe des Hammers zu erhöhen, oder
- Die Aufprallgeschwindigkeit des Hammers elektrodynamisch zu steuern.

Auch hier kann eine genaue Festlegung mittels weiterer Messungen und Vergleiche mit realen Trittschallgeräuschen realisiert werden.

In jedem Fall besteht weiterer Handlungsbedarf, da es gemäß der in dem Forschungsvorhaben ermittelten Ergebnisse bei den derzeit verwendeten Mess- und Bewertungsverfahren für die Trittschallminderung von Bodenbelägen in der baulichen Praxis zu Fehlplanungen und -beratungen kommen kann. Des Weiteren läuft die Produktentwicklung der Hersteller mit Fokus auf die bewertete Trittschallminderung nach DIN EN ISO 717-2 in die falsche Richtung, so dass als Folge Wohnungsnutzer unter unnötigem Lärm zu leiden haben.

10 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4109: 1952 Schallschutz im Hochbau – Entwurf
- [2] DIN 4109: 1962 Schallschutz im Hochbau
- [3] DIN 4109: 1989 Schallschutz im Hochbau
- [4] DIN EN ISO 10140: 2010 Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand Teil 1 bis 5
- [5] DIN EN ISO 717: 2006 Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1 und 2
- [6] ISO 16832 Acoustics - Loudness scaling by means of categories
- [7] ISO/TS 15666: 2003 Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys
- [8] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.; Kompendium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis
- [9] Taubert und Ruhe GmbH: DEGA-Umfrage „Was ist ein weichfedernder Bodenbelag“ Darstellung und Auswertung der Ergebnisse. Schriftverkehr mit DEGA Fachausschuss Bau- und Raumakustik vom 17.02.2011.
- [10] Cremer, Heckl; Körperschall – Technische Grundlagen und technische Anwendungen; Reprintausgabe; Springer Verlag 1982
- [11] Lothar Papula; Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler Band 3; 3. Auflage; Vieweg Verlag 1999
- [12] Annika Herrmann; Trittschalldämmung austauschbarer Bodenbeläge; Diplomarbeit; Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2012, nicht veröffentlicht
- [13] Fabian Spinner; Trittschallminderung von Unterdecken unter Verwendung praxisgerechter Trittschallquellen; Bachelorarbeit; Fraunhofer Institut für Bauphysik;

- [14] Dipl.-Ing. H. A. Metzen; Zur Beurteilung der Trittschallminderung schwimmender Estriche auf Grundlage der dynamischen Steifigkeit von Dämmschichten; wksb 36/1995
- [15] L. Weber, S. Koch; Anwendung von Spektrum-Anpassungswerten – Teil 2: Trittschalldämmung (Teil A); Bauphysik 21 (1999) Heft 6;
- [16] W. Scholl, W. Maysenhölder; Wird das Trittschallverhalten von Gebäudedecken derzeit richtig und ausreichend beschrieben?; Sonderdruck aus wksb 44. Jhg. Heft 43; Seite 40-44
- [17] E. Sonntag; Der Einfluß des Krümmungsradius der Hämmer des Norm-Hammerwerkes auf Messergebnisse des Trittschallverbesserungsmaßes bei weichfedernden Bodenbelägen; DAGA 93; Tagungsband S. 151ff
- [18] A. Schmitz, A. Meier; Messung der Kinematischen Eigenschaften von Norm-Trittschall-Hammerwerken; PTB, Braunschweig
- [19] W. Scholl; DAGA 2001; Das Normtrittschallhammerwerk muss laufen lernen!; Tagungsband S. 208-209
- [20] DIN 4110: 1938 Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen
- [21] DIN 52210: ? ; Bauakustische Prüfungen – Luft und Trittschalldämmung
- [22] VDI 4100: 2007 Schallschutz im Hochbau - Wohnungen

A1 Anhang 1

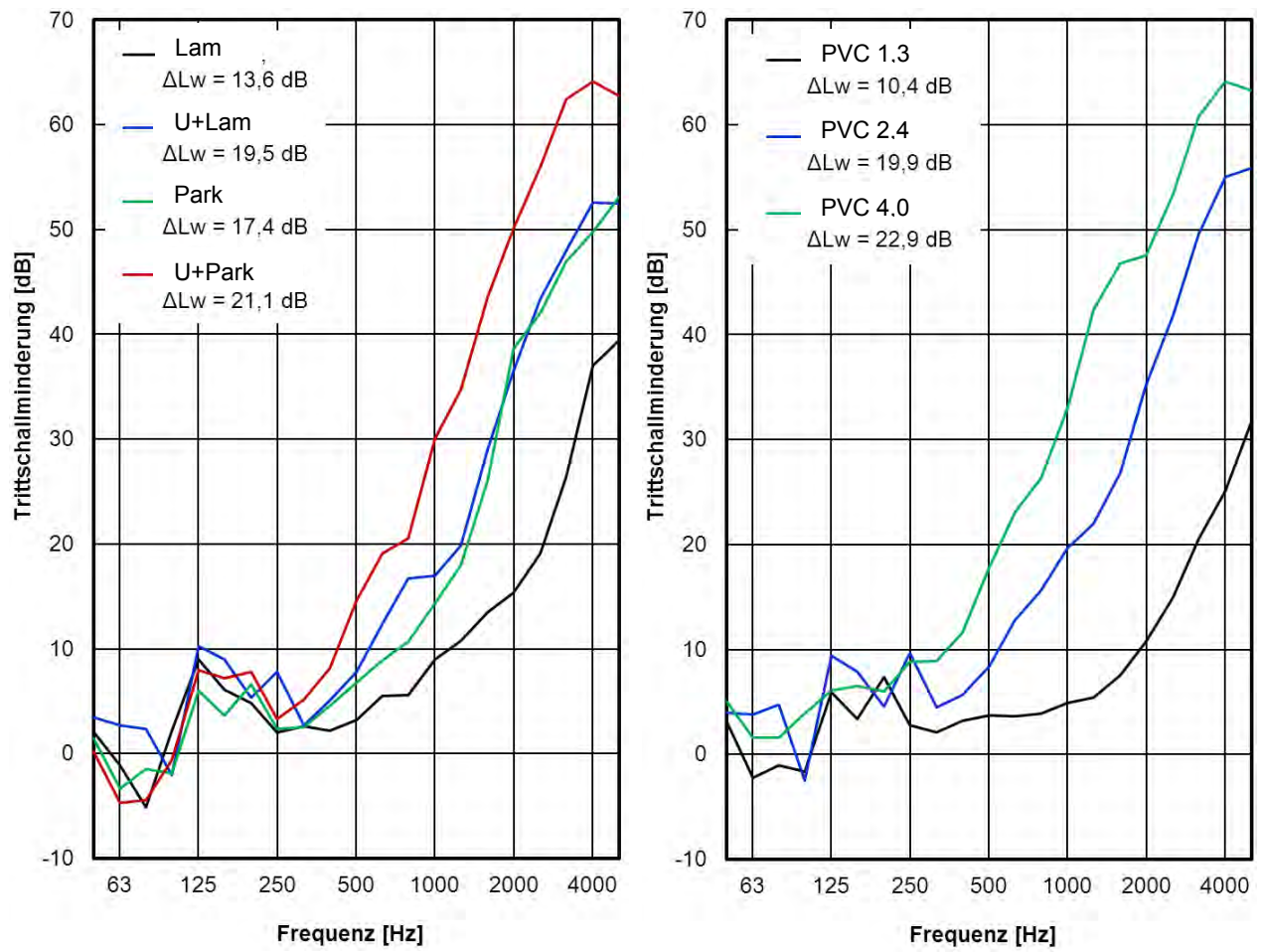


Bild A1.1 Pegelminderungen der Bodenbeläge Laminat und Parkett mit und ohne Unterlage, sowie der drei PVC Beläge auf der Rohdecke

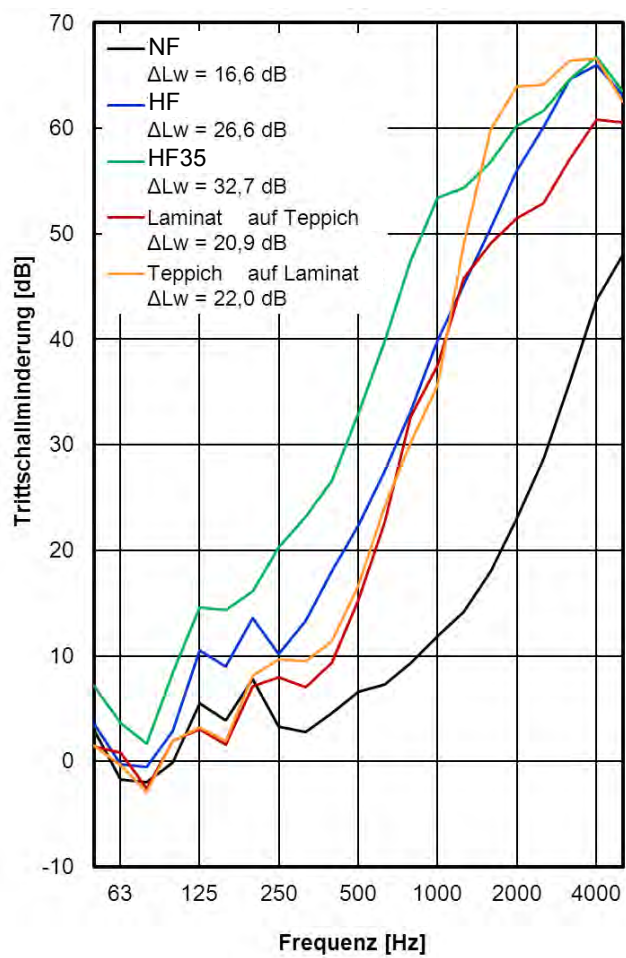


Bild A1.2 Pegelminderungen der drei Teppiche auf der Rohdecke

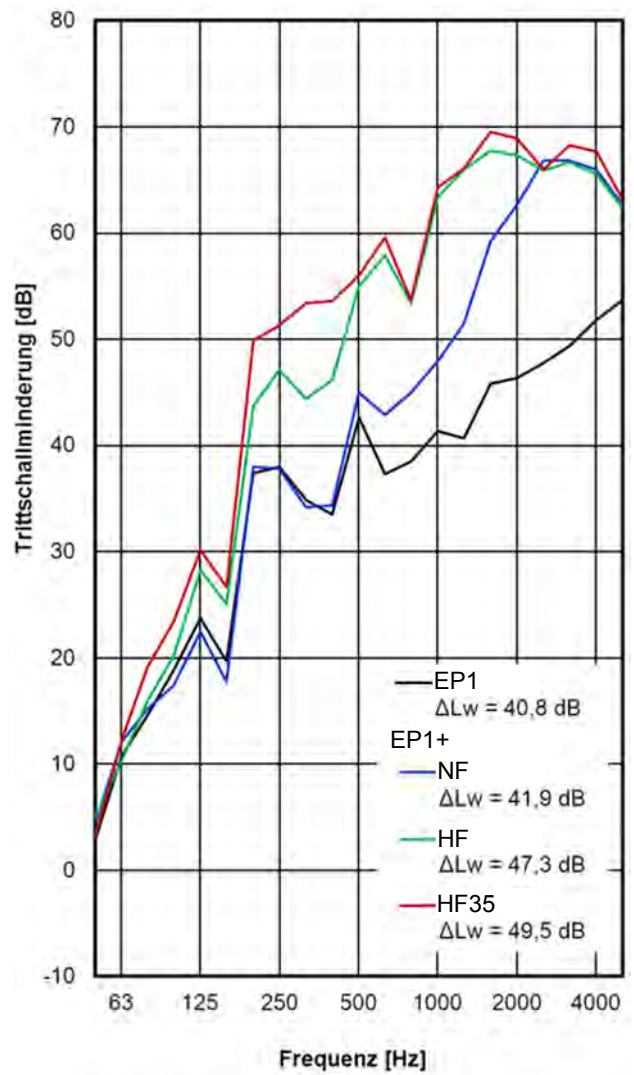
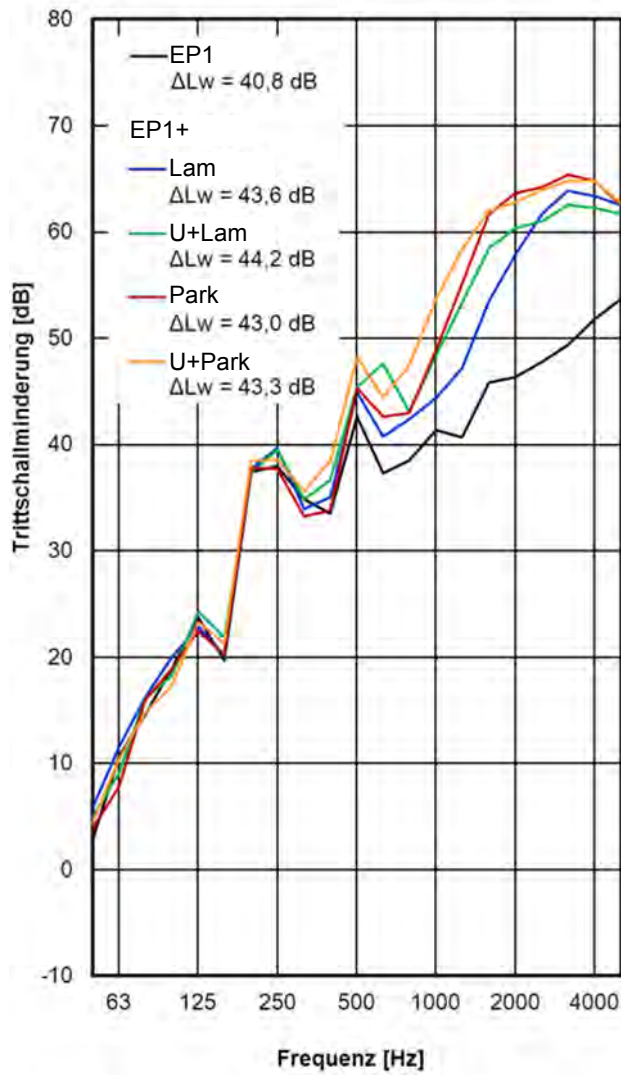


Bild A1.3 Trittschallminderung von Estrich EP1 mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung von Estrich EP1 in Abhängigkeit der Frequenz; links: Laminat und Parkett; rechts: drei Teppiche

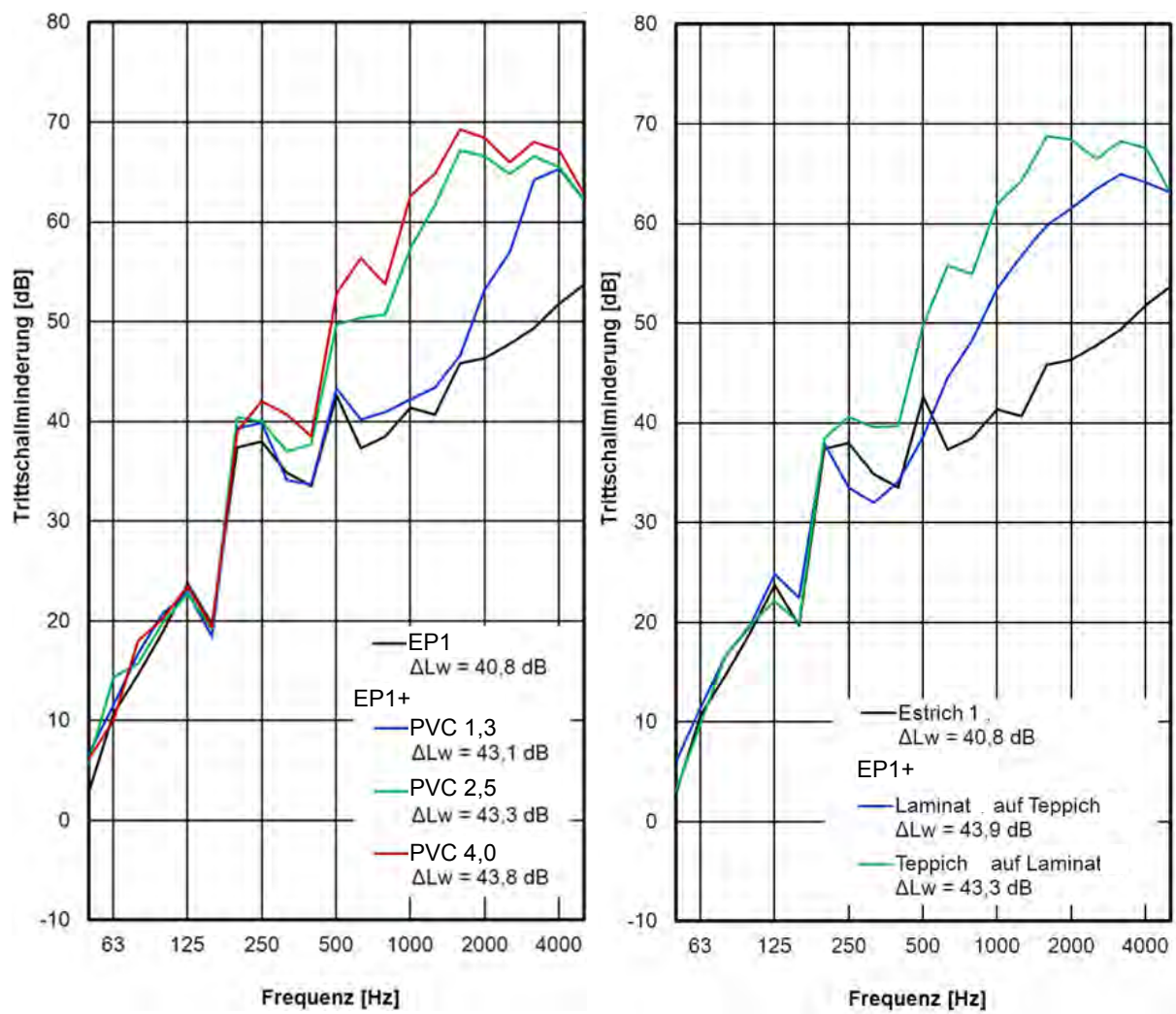


Bild A1.4 Trittschallminderung von Estrich EP1 mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung von Estrich EP1 in Abhängigkeit der Frequenz; links:PVC Böden; rechts: Laminat auf Teppich und Teppich auf Laminat

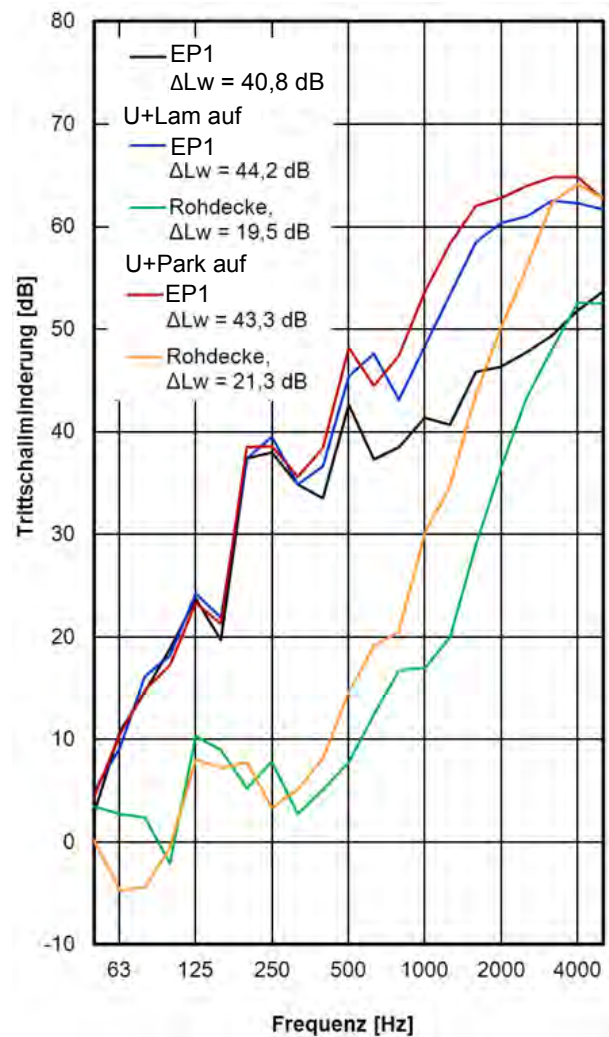
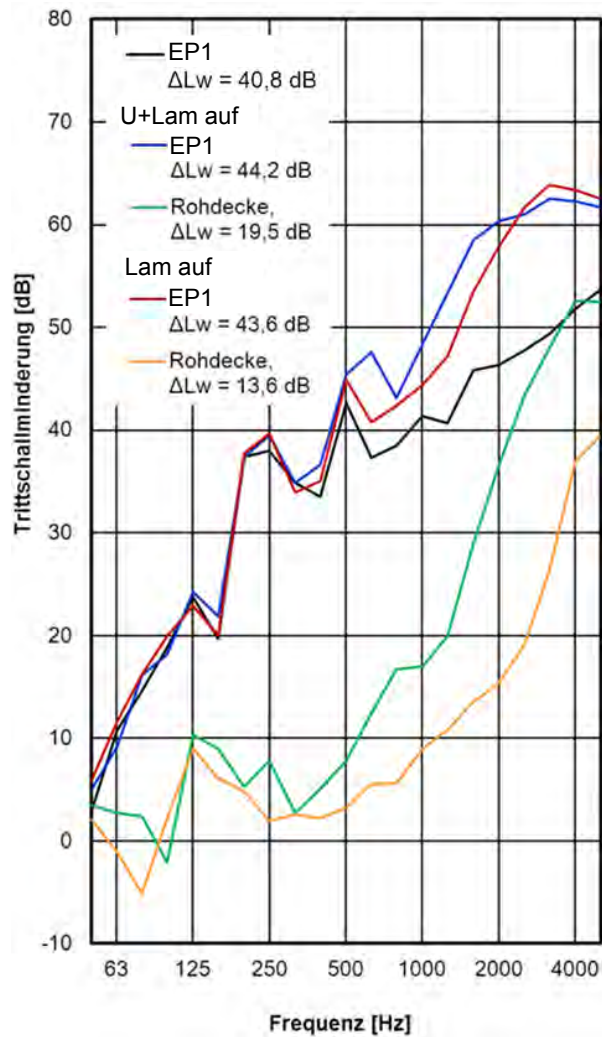


Bild A1.5 Trittschallminderung von Estrich EP1 mit entsprechendem Bodenbelag, Trittschallminderung von Estrich EP1 sowie Trittschallminderung der Bodenbeläge auf der Rohdecke in Abhängigkeit der Frequenz; links: Laminat und Laminat mit Unterlage; rechts: Laminat mit Unterlage und Parkett mit Unterlage

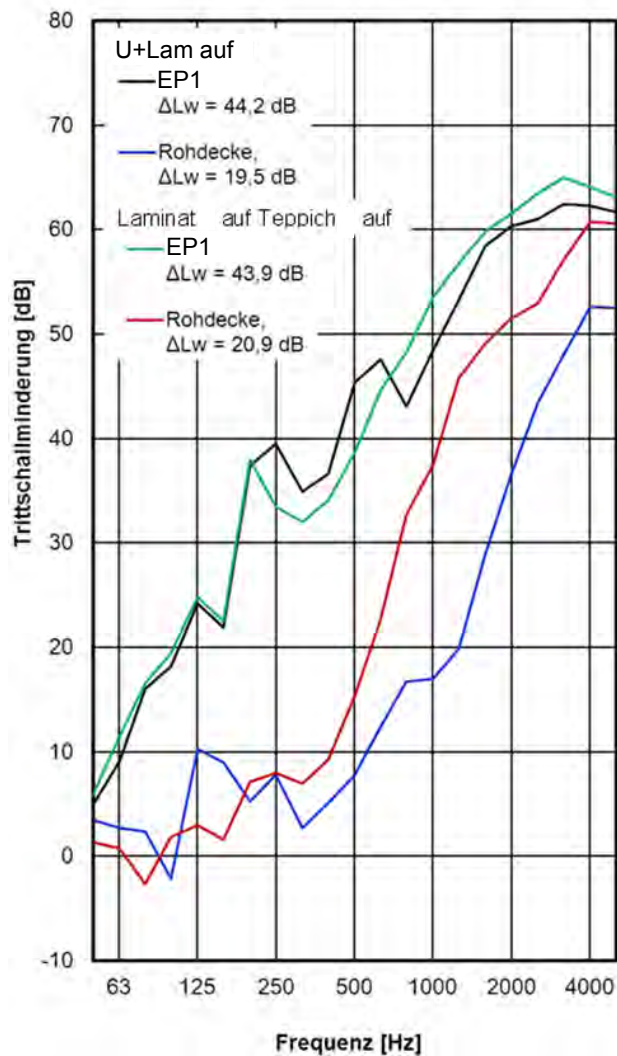


Bild A1.6 Trittschallminderung von Estrich EP1 mit Laminat mit Unterlage bzw. mit Laminat auf Teppich sowie Trittschallminderung dieser Bodenbeläge auf der Rohdecke in Abhängigkeit der Frequenz

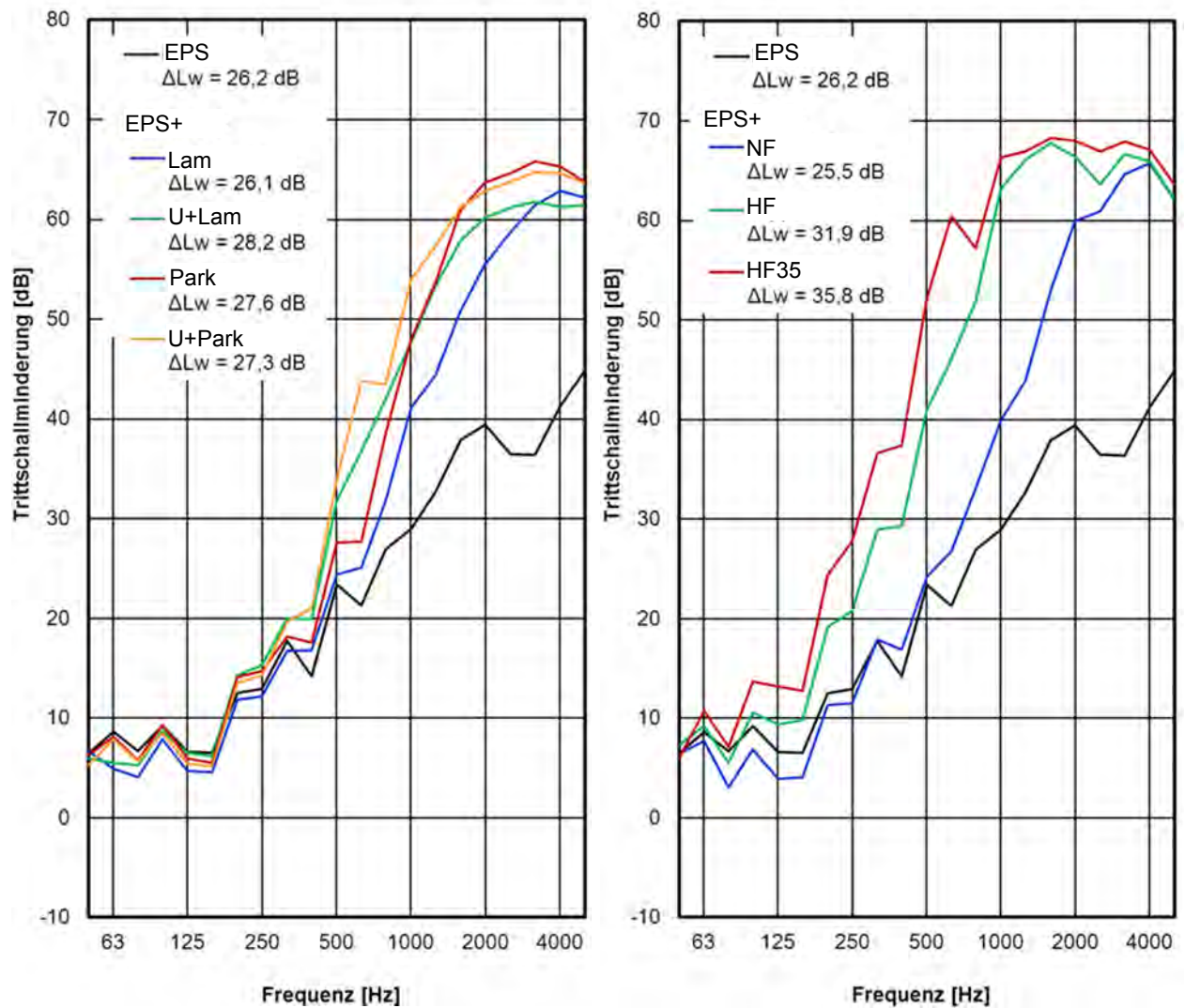


Bild A1.7 Trittschallminderung von Estrich EPS mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung von Estrich EPS in Abhängigkeit der Frequenz; links: Laminat und Parkett mit und ohne Unterlage; rechts: Teppich 1 bis 3

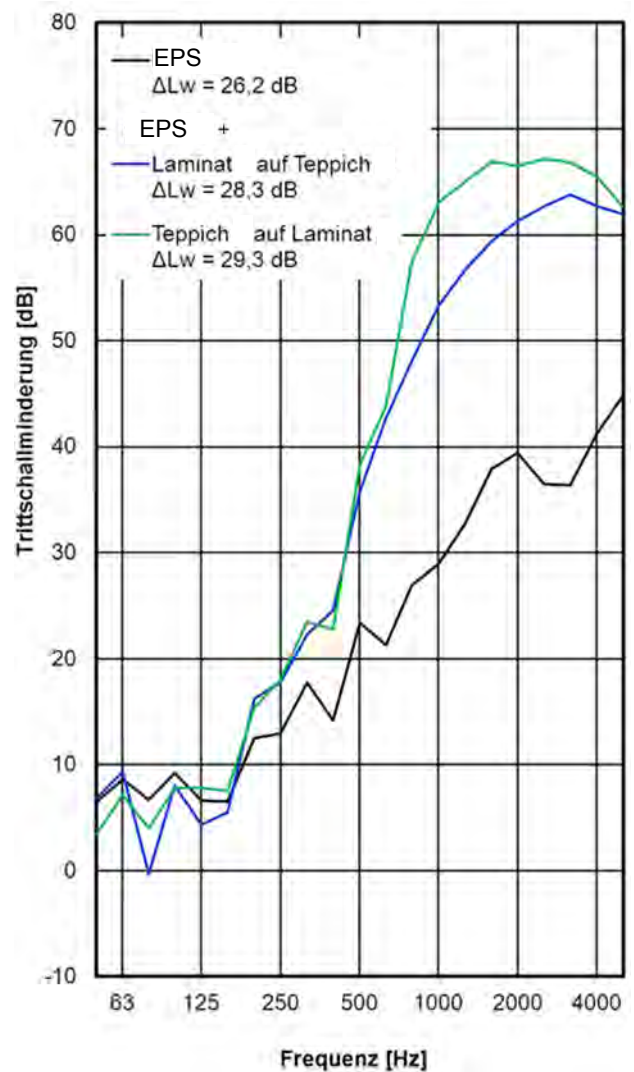
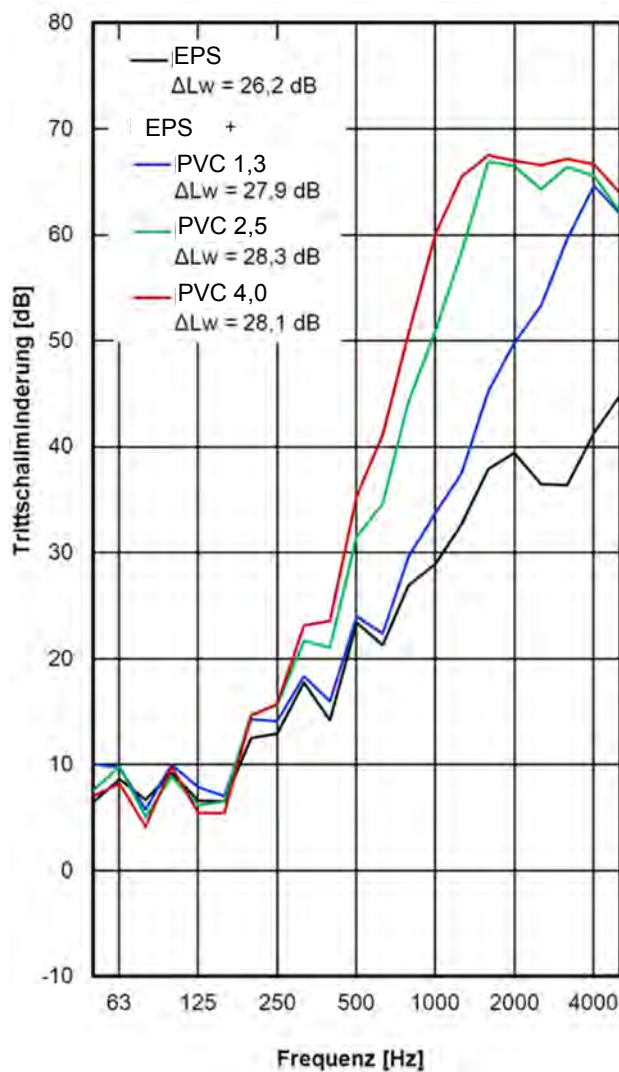


Bild A1.8 Trittschallminderung von Estrich EPS mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung von Estrich EPS in Abhängigkeit der Frequenz; links: PVC 1 bis 3; rechts: Laminat auf Teppich, Teppich auf Laminat

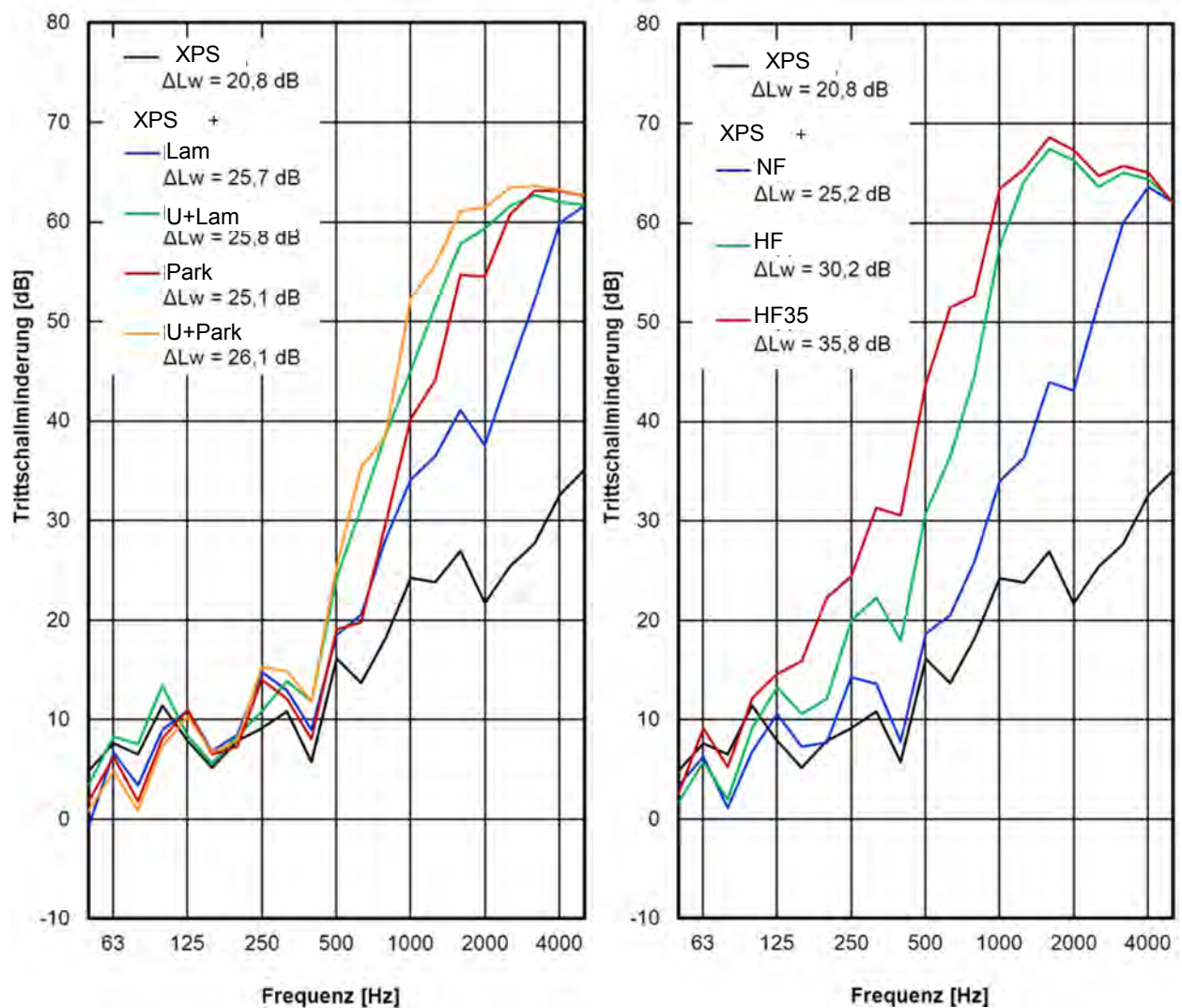


Bild A1.9 Trittschallminderung von Estrich XPS mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung von Estrich XPS in Abhängigkeit der Frequenz; links: Laminat und Parkett mit und ohne Unterlage; rechts: Teppich 1 bis 3

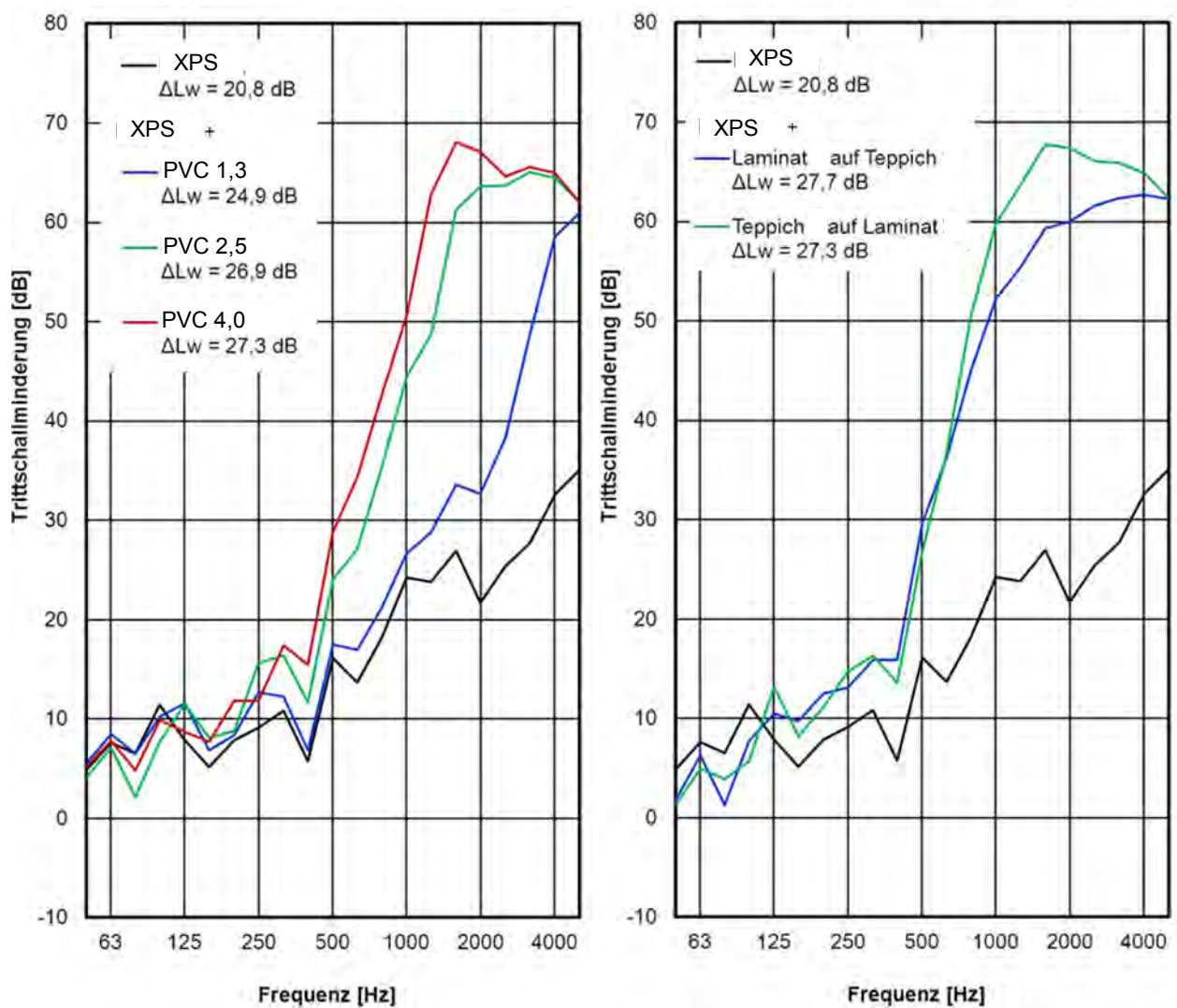


Bild A1.10 Trittschallminderung von Estrich XPS mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung von Estrich XPS in Abhängigkeit der Frequenz; links: PVC 1 bis 3; rechts: Laminat auf Teppich, Teppich auf Laminat

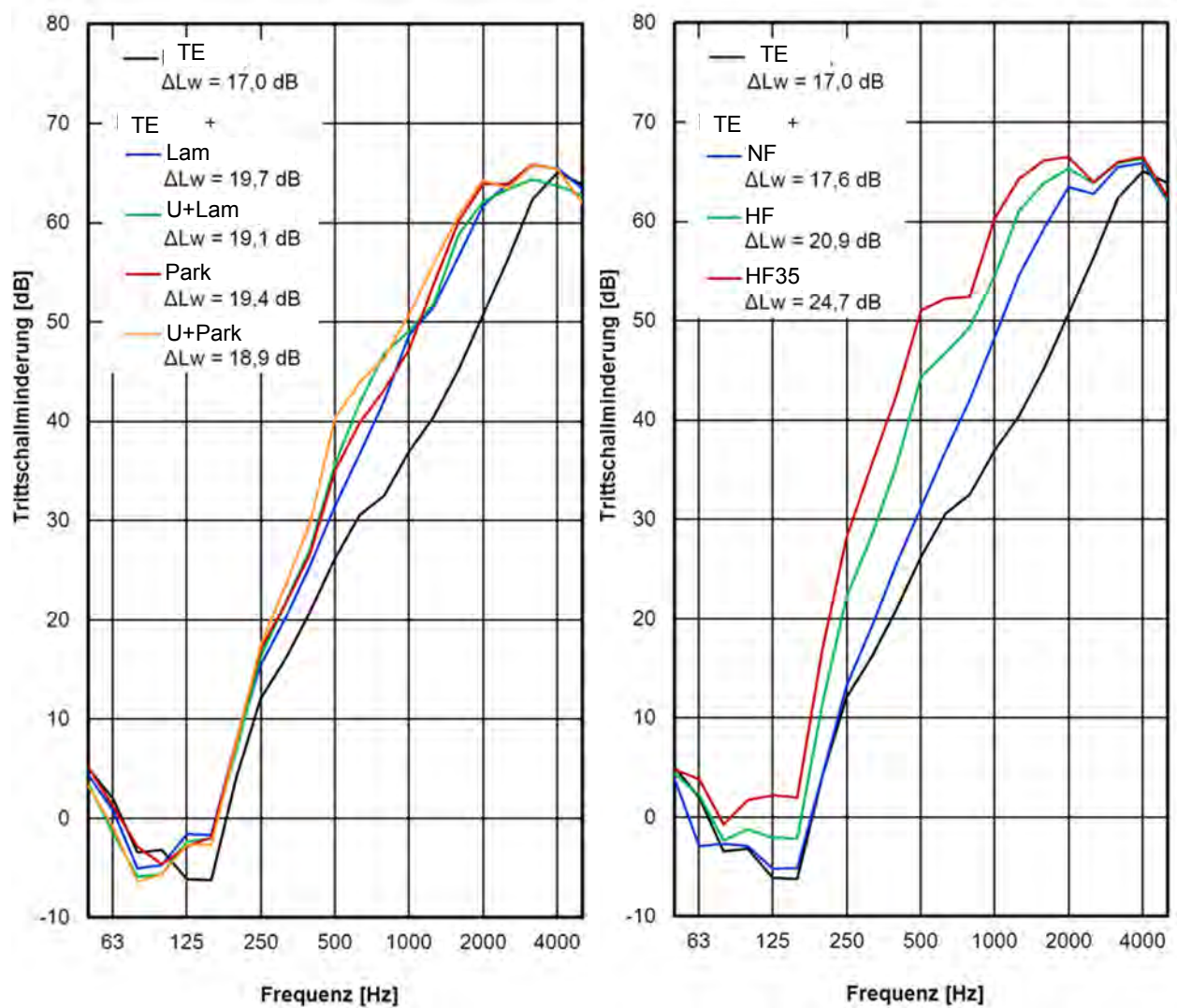


Bild A1.11 Trittschallminderung vom Estrich TE mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung vom Estrich TE in Abhängigkeit der Frequenz; links: Laminat und Parkett mit und ohne Unterlage; rechts: Teppich 1 bis 3

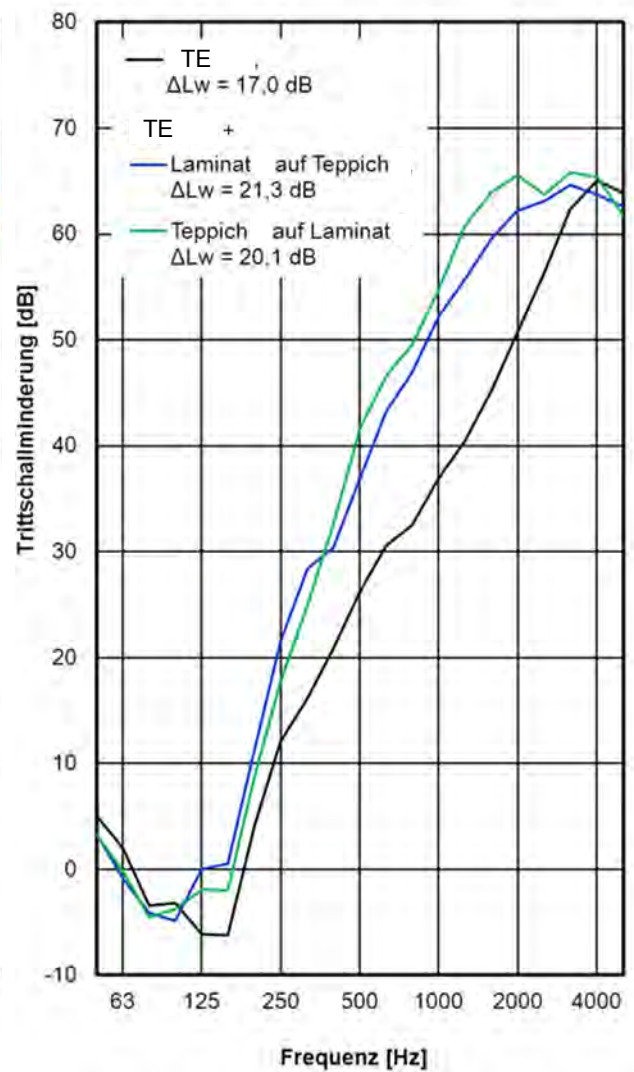
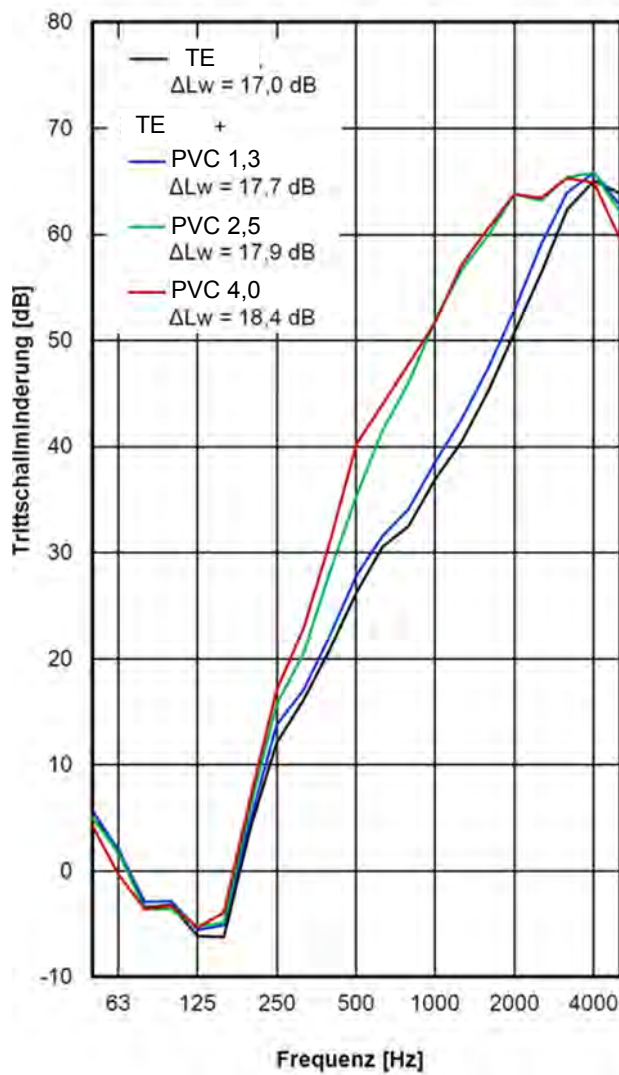


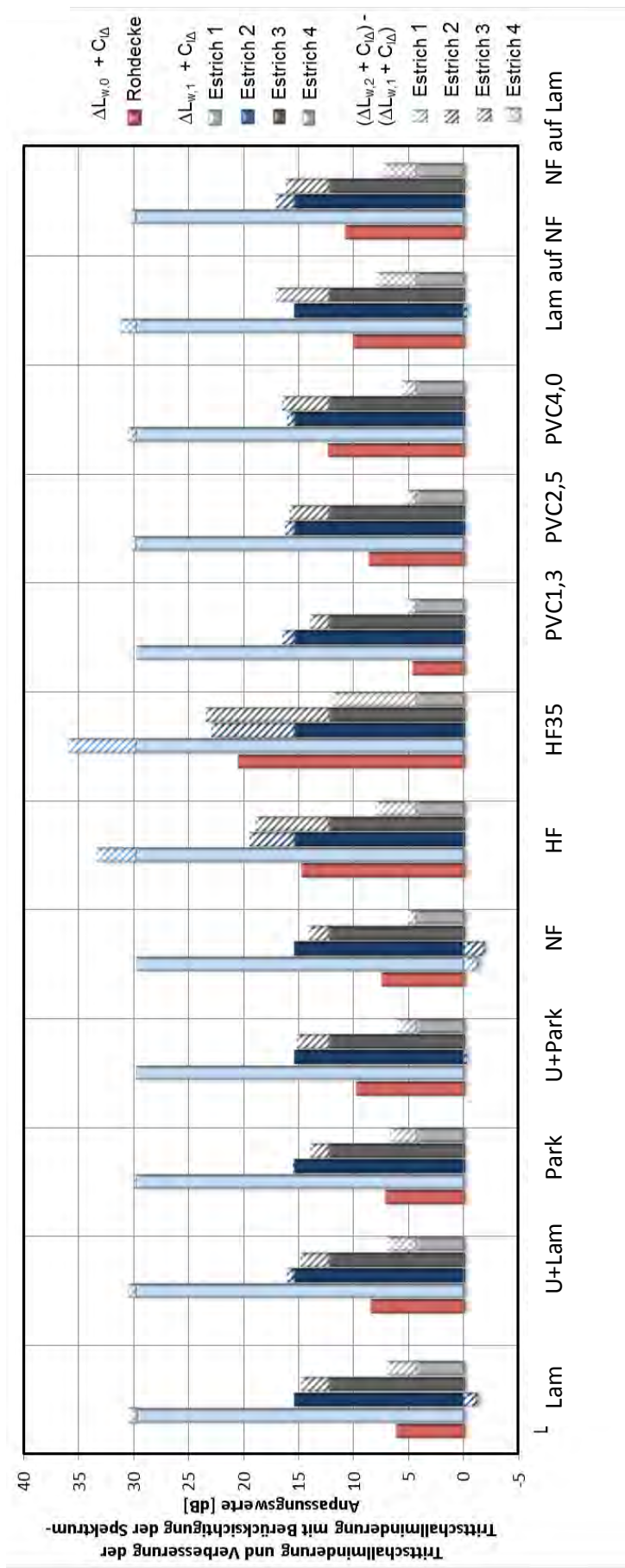
Bild A1.12 Trittschallminderung von Estrich TE mit entsprechendem Bodenbelag sowie Trittschallminderung von Estrich TE in Abhängigkeit der Frequenz; links: PVC 1 bis 3; rechts: Laminat auf Teppich, Teppich auf Laminat

A2 Anhang 2

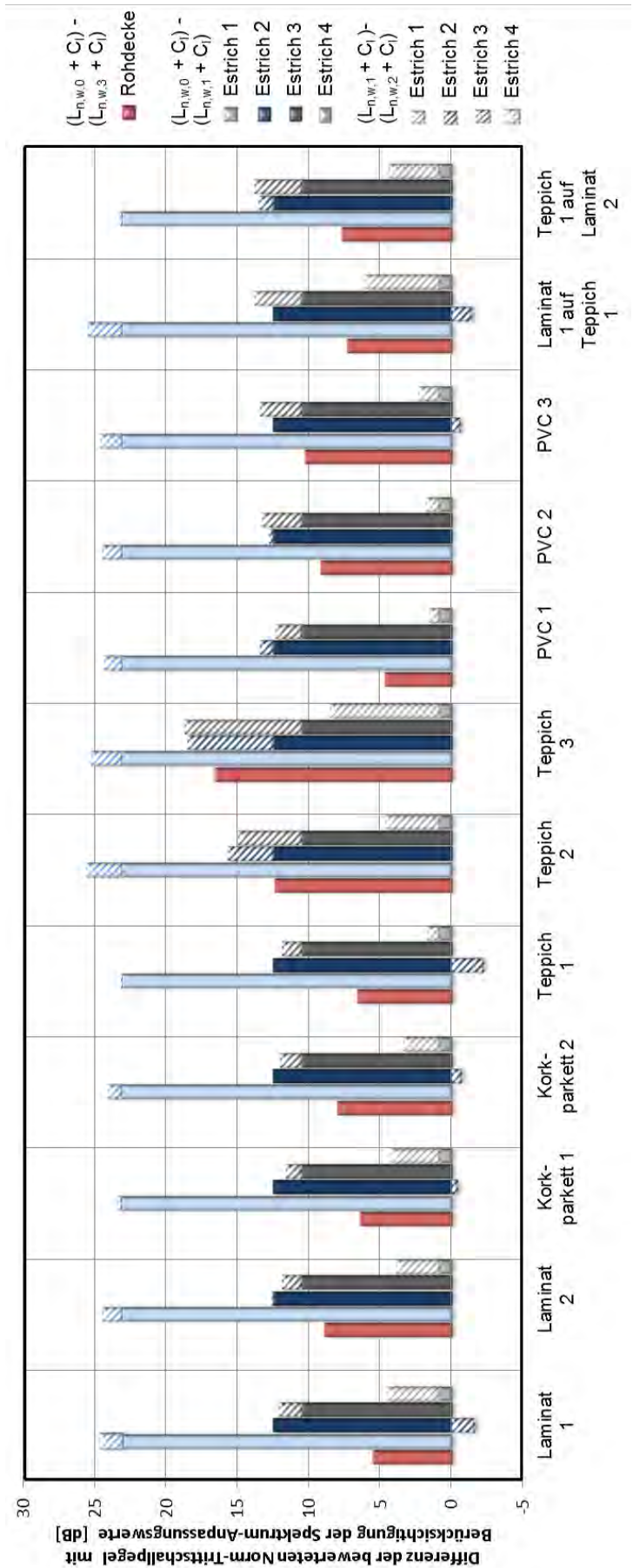
Tabelle A2.1

Bodenbeläge	Trittschallminderung mit Berücksichtigung der Spektrum Anpassungswerte [dB]							
	EP1	EPS		XPS		TE		
	ΔL _{w,1} + C _{IA}							
	ΔL _{w,0} + C _{IA}							
Lam U+Lam Park U+Park NF HF HF35 PVC1,3 PVC2,5 PVC4,0 Lam auf NF NF auf Lam	ΔL _{w,0} + C _{IA}	29,8	29,8		29,8		29,8	
		ΔL _{w,2} + C _{IA}	(ΔL _{w,2} + C _{IA})-	ΔL _{w,2} + C _{IA}	(ΔL _{w,2} + C _{IA})-	ΔL _{w,2} + C _{IA}	(ΔL _{w,2} + C _{IA})-	(ΔL _{w,2} + C _{IA})-
			(ΔL _{w,1} + C _{IA})		(ΔL _{w,1} + C _{IA})		(ΔL _{w,1} + C _{IA})	(ΔL _{w,1} + C _{IA})
	6,2	30,4	0,6	14,3	-1,2	14,8	2,5	7,0
	8,5	30,6	0,8	16,1	0,6	14,9	2,6	6,3
	7,2	30,0	0,2	15,6	0,1	14,0	1,7	6,7
	9,8	29,9	0,1	15,3	-0,2	15,2	2,9	6,1
	7,4	28,5	-1,3	13,7	-1,8	14,1	1,8	5,1
	14,8	33,4	3,6	19,5	4,0	18,9	6,6	8,0
	20,6	36,0	6,2	23,0	7,5	23,5	11,2	11,9
	4,7	29,8	0,0	16,5	1,0	14,0	1,7	5,1
	8,7	30,2	0,4	16,3	0,8	15,9	3,6	5,2
	12,4	30,6	0,8	16,1	0,6	16,5	4,2	5,6
	10,1	31,3	1,5	15,3	-0,2	17,1	4,8	7,9
	10,8	30,3	0,5	17,1	1,6	16,2	3,9	7,3

:
Einzahlangaben der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke, der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,1}$ der vier Estriche und der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,2}$ von Bodenbelag mit Estrich sowie der Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) des Estrichs durch den Bodenbelag unter Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte C_{IA}



Darstellung der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,0}$ der Bodenbeläge auf der Rohdecke, der bewerteten Trittschallminderung $\Delta L_{w,1}$ der Estriche und der Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung ($\Delta L_{w,2} - \Delta L_{w,1}$) des Estrichs durch den Bodenbelag mit Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte C_{Δ}



Darstellung der Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke durch den Bodenbelag ($L_{n,w,0} - L_{n,w,3}$) sowie durch den Estrich ($L_{n,w,0} - L_{n,w,1}$) und der Differenz der bewerteten Norm-Trittschallpegel der Fertigdecke ohne und mit Bodenbelag ($L_{n,w,1} - L_{n,w,2}$) mit Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte C_i

A3 Verbesserung der Trittschallminderung der Modeldecken durch verschiedene Teppichböden

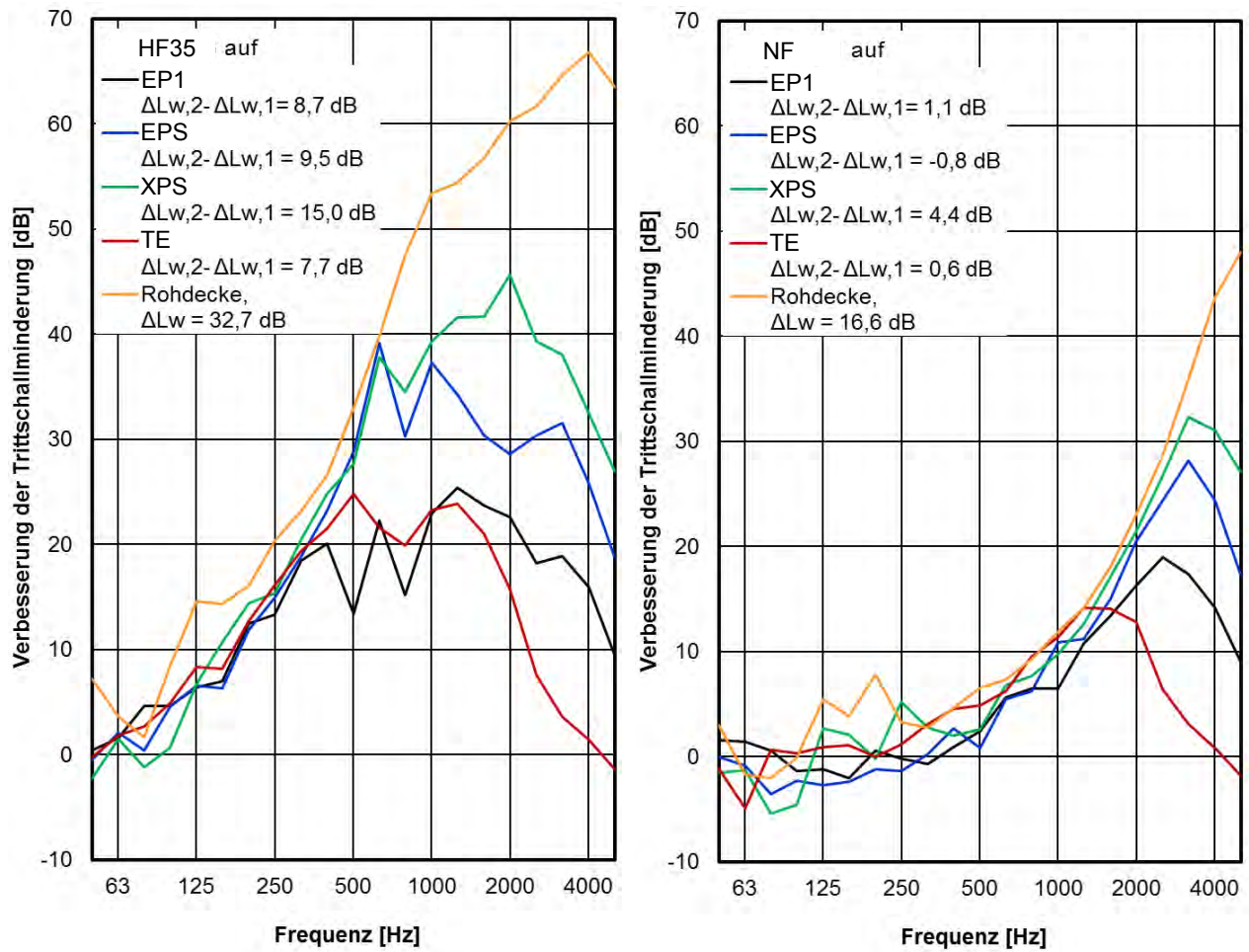
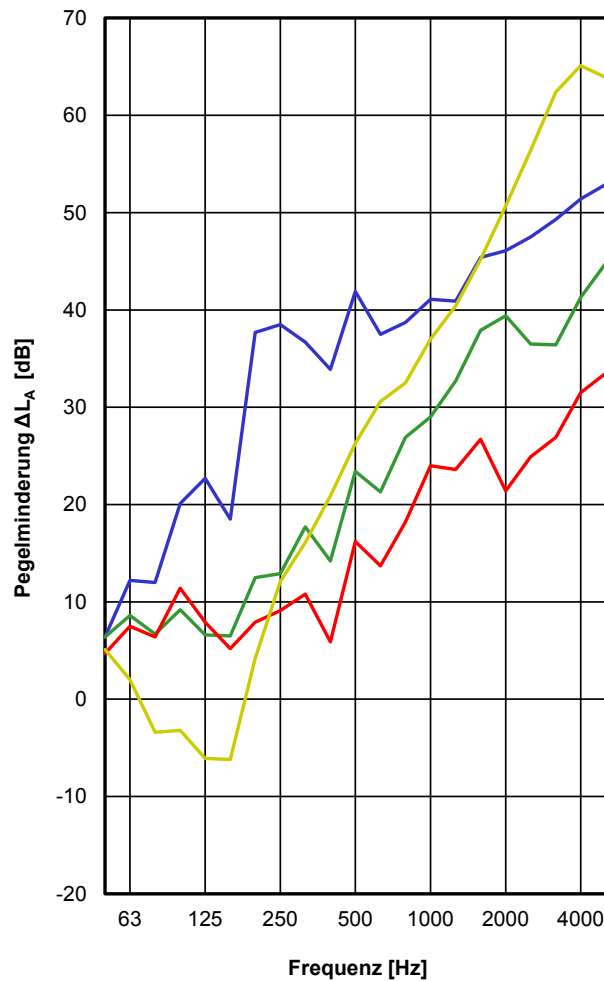
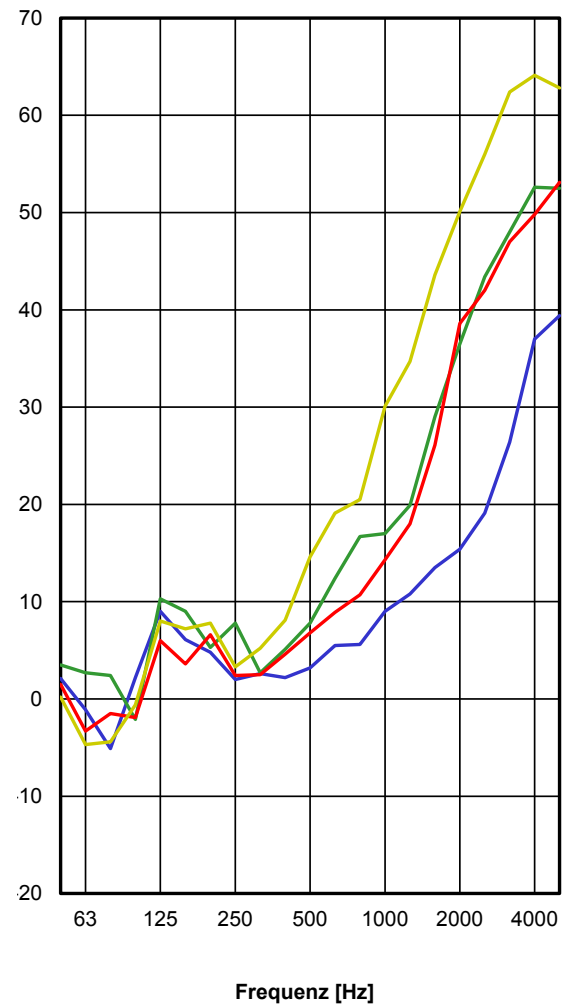


Bild A3.1 Verbesserung der Trittschallminderung ($\Delta L_2 - \Delta L_1$) des Estrichs durch Teppich HF35 (links) und Teppich NF (rechts) sowie Trittschallminderung dieser Bodenbeläge auf der Rohdecke in Abhängigkeit der Frequenz

A4 Terzspektren der A-bewerteten Trittschallminderung ΔL_A bei verschiedenen Anregungen

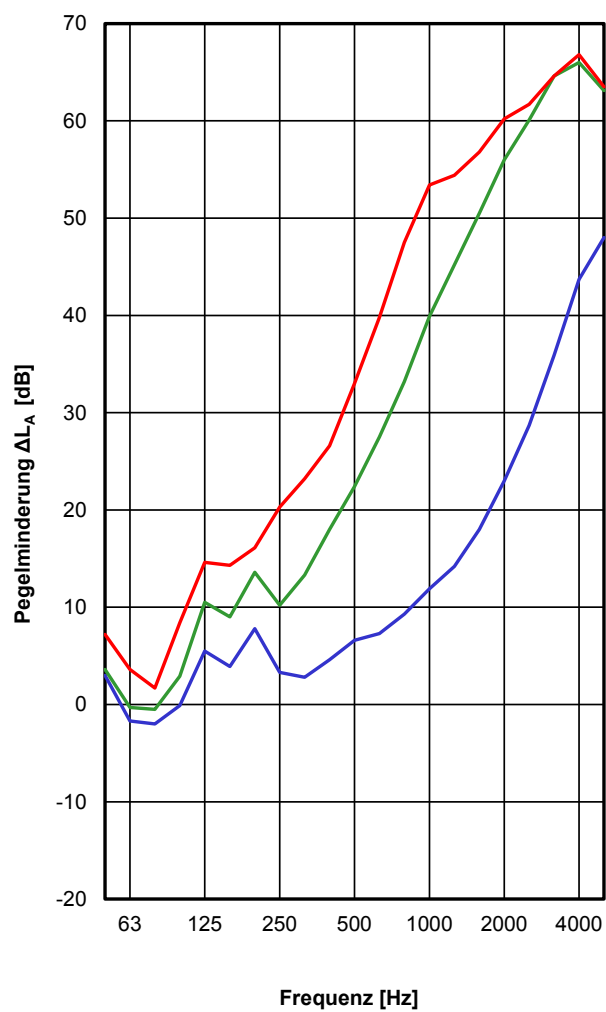


— NHW EP1, 38,4 dB — NHW EPS, 23,8 dB — NHW XPS, 18 dB — NHW TE, 14,5 dB

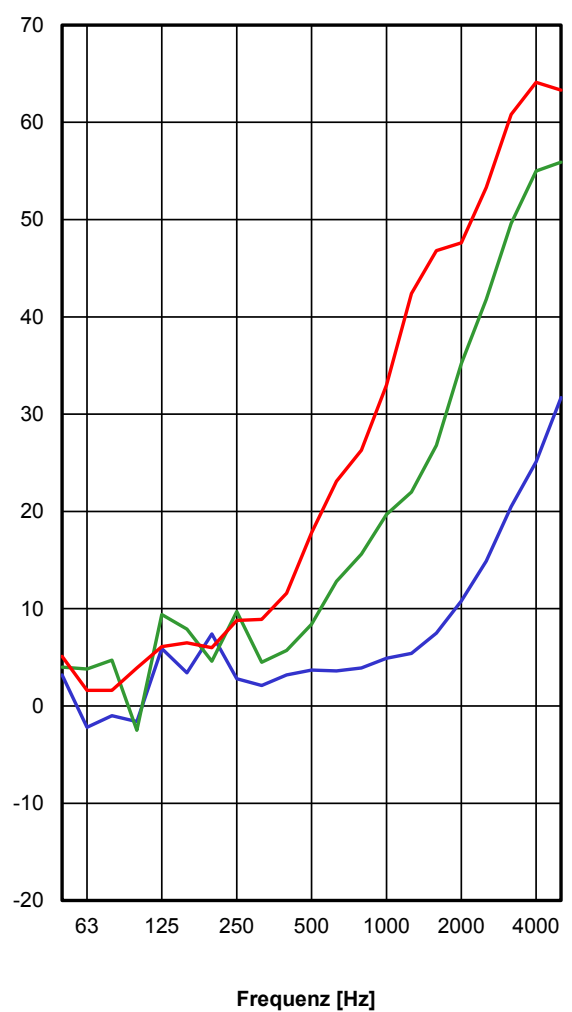


— NHW Lam, 10,1 dB — NHW Lam+U, 15,7 dB
 — NHW Park, 13,6 dB — NHW Park+U, 18,3 dB

Bild A4.1 ΔL_A Norm-Hammerwerk – Rohdecke – Estriche (links) und Norm-Hammerwerk – Rohdecke – Laminate (rechts)

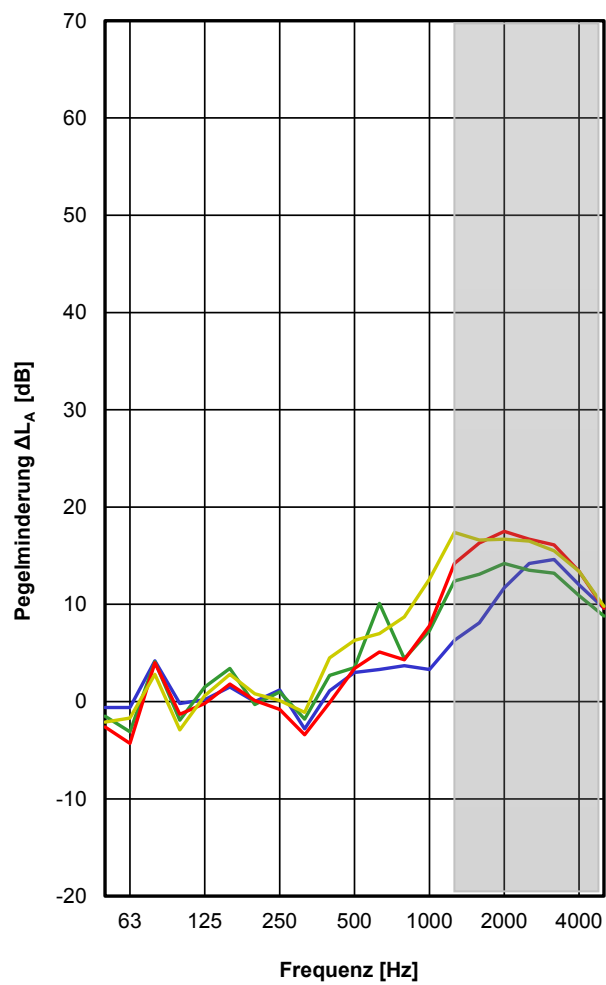


— NHW NF, 12,7 dB — NHW HF, 25 dB — NHW HF35, 32 dB

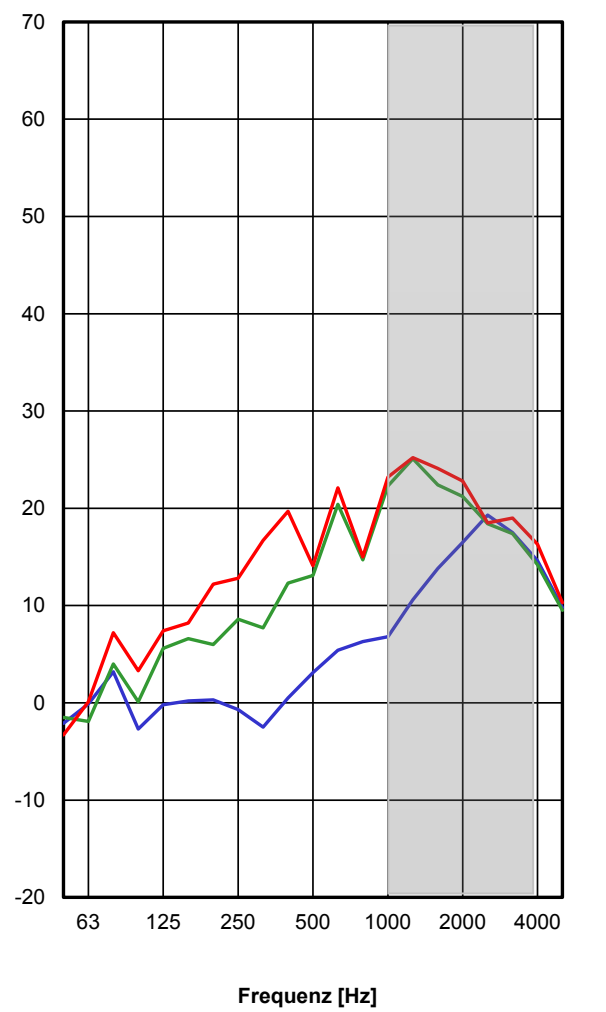


— NHW PVC1, 7,6 dB — NHW PVC2, 16,4 dB — NHW PVC 4, 21 dB

Bild A4.2 ΔL_A Norm-Hammerwerk – Rohdecke – Teppiche und Norm-Hammerwerk – Rohdecke – PVC



— NHW EP1 + Lam, 1,9 dB
 — NHW EP1 + Park, 2,1 dB
 — NHW EP1 + U+Lam, 3,7 dB
 — NHW EP1 + U+Park, 3,5 dB



— NHW EP1 + NF, 1,2 dB
 — NHW EP1 + HF, 7,9 dB
 — NHW EP1 + HF35, 9,7 dB

Bild A4.3 ΔL_A Norm-Hammerwerk – EP1 – Laminat (links) und Teppiche (rechts)

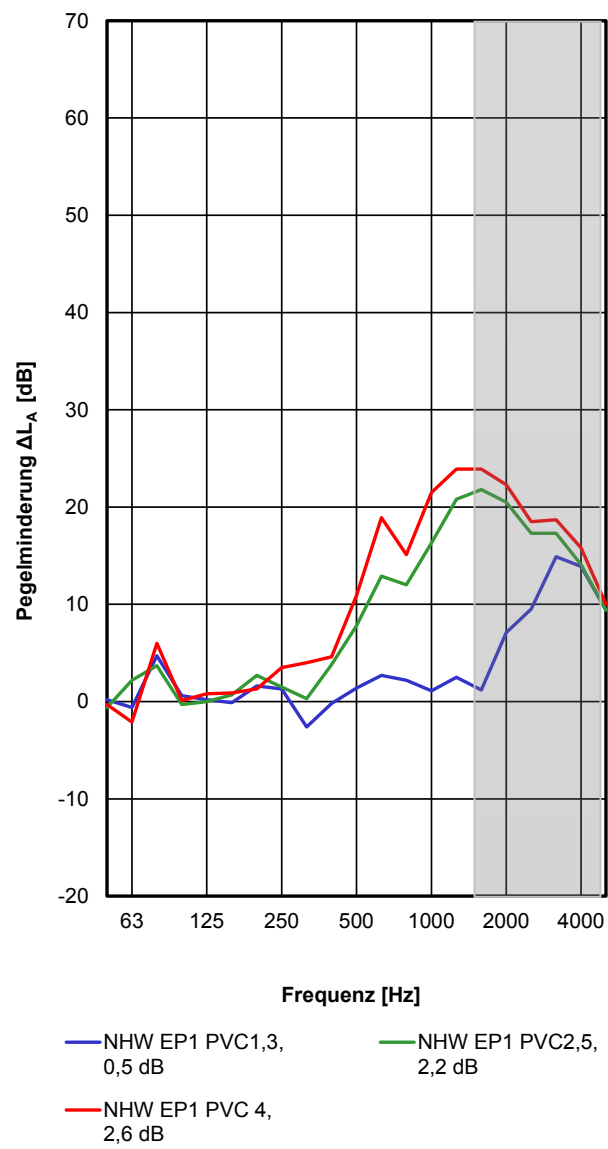
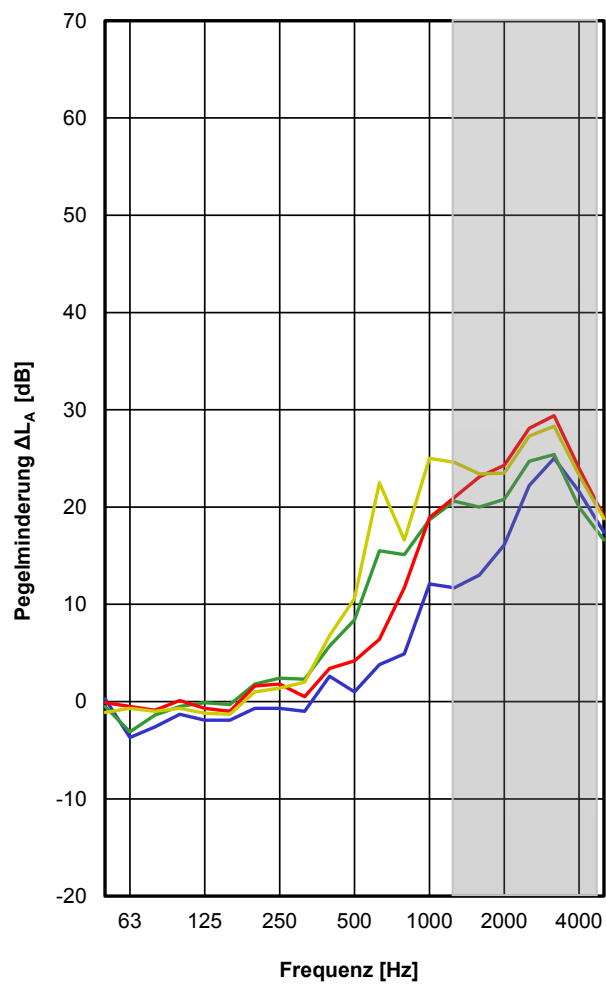
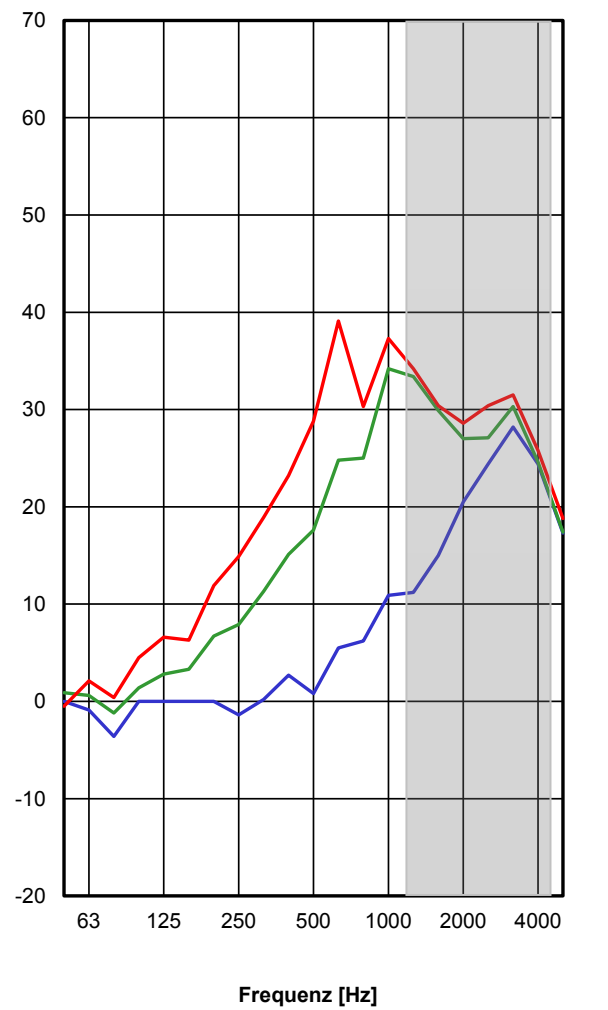


Bild A4.4 ΔL_A Norm-Hammerwerk – EP1 – PVC



— NHW EPS + Lam, -0,3 dB
 — NHW EPS + Park, 1,1 dB
 — NHW EPS + U+Lam, 2 dB
 — NHW EPS + U+Park, 1,2 dB



— NHW EPS + NF, 0,8 dB
 — NHW EPS + HF, 6,1 dB
 — NHW EPS + HF35, 9,8 dB

Bild A4.5 ΔL_A Norm-Hammerwerk – EPS und Laminate (links) ; Teppiche (rechts)

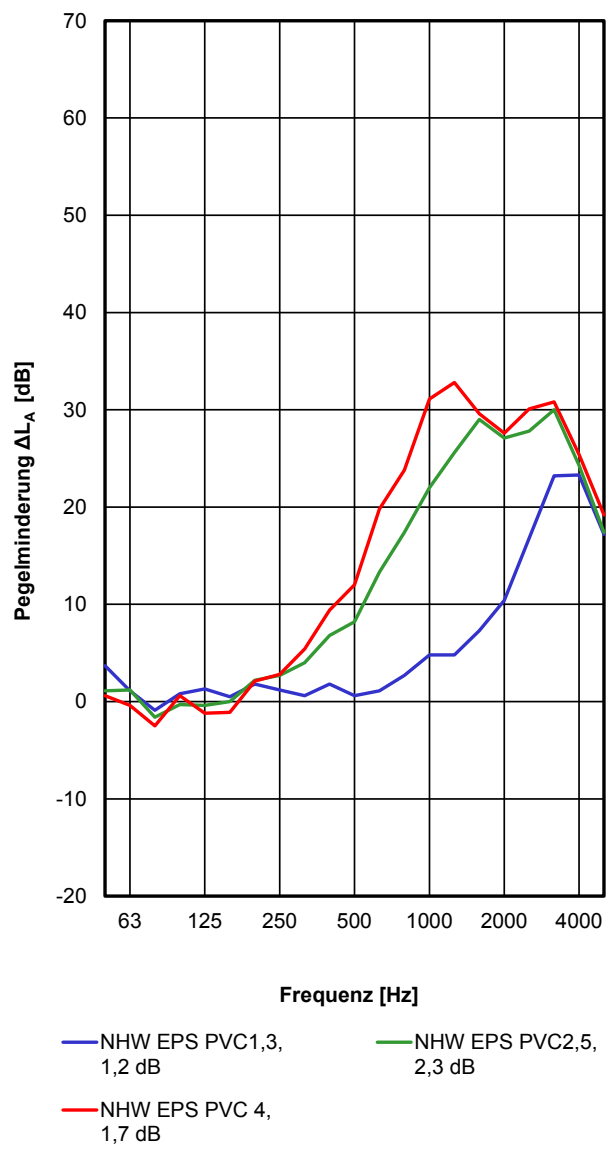
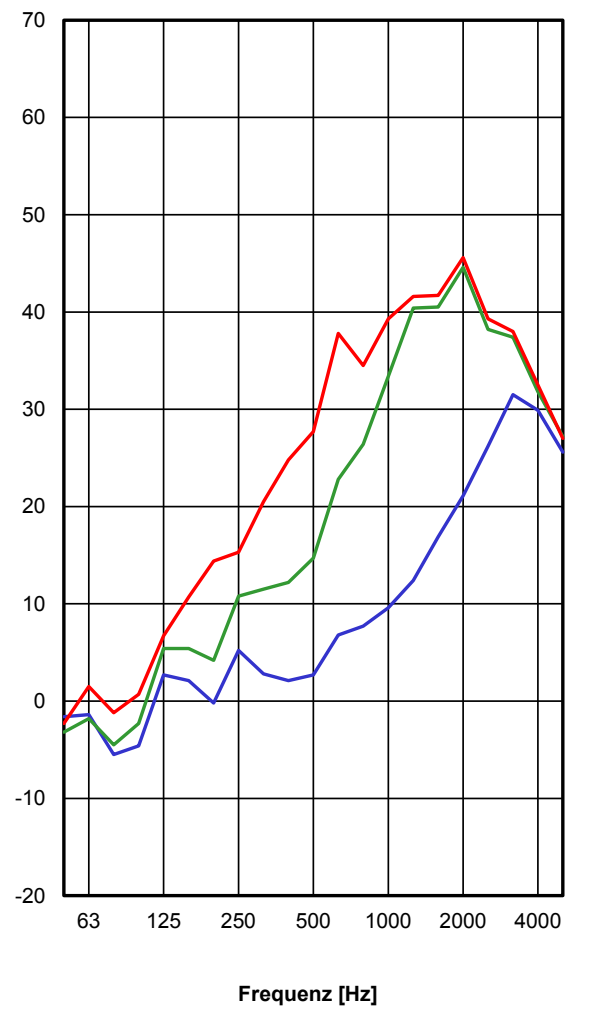
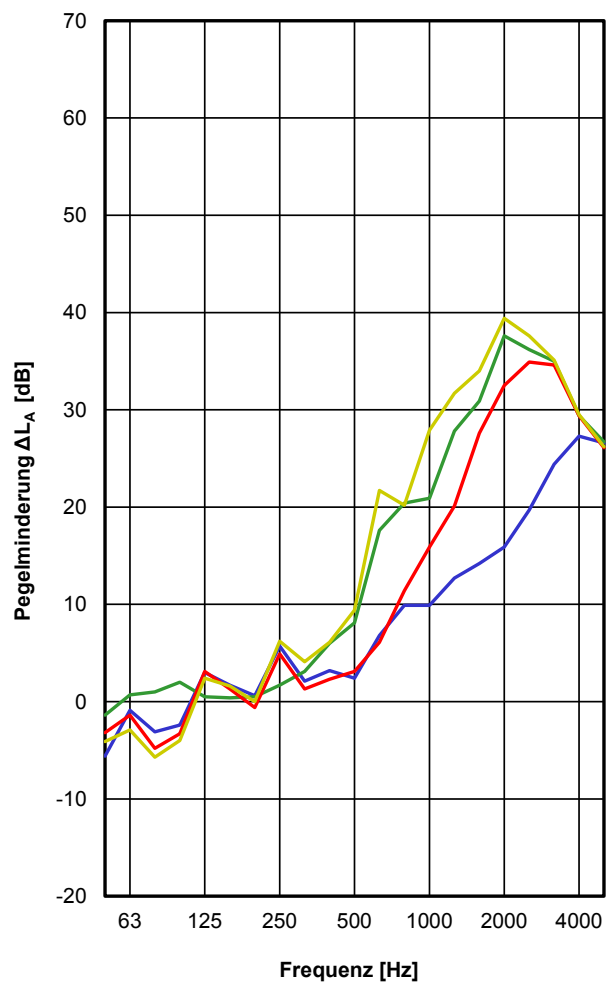


Bild A4.6 ΔL_A Norm-Hammerwerk – EPS – PVC



— NHW XPS + Lam, 4 dB
 — NHW XPS + U+Lam, 4,8 dB
 — NHW XPS + Park, 3,4 dB
 — NHW XPS + U+Park, 5,7 dB

— NHW XPS + NF, 3,5 dB
 — NHW XPS + HF, 10,4 dB
 — NHW XPS + HF35, 16,9 dB

Bild A4.7 ΔL_A Norm-Hammerwerk – XPS – Laminate (links) und Norm-Hammerwerk – XPS – Teppich (rechts)

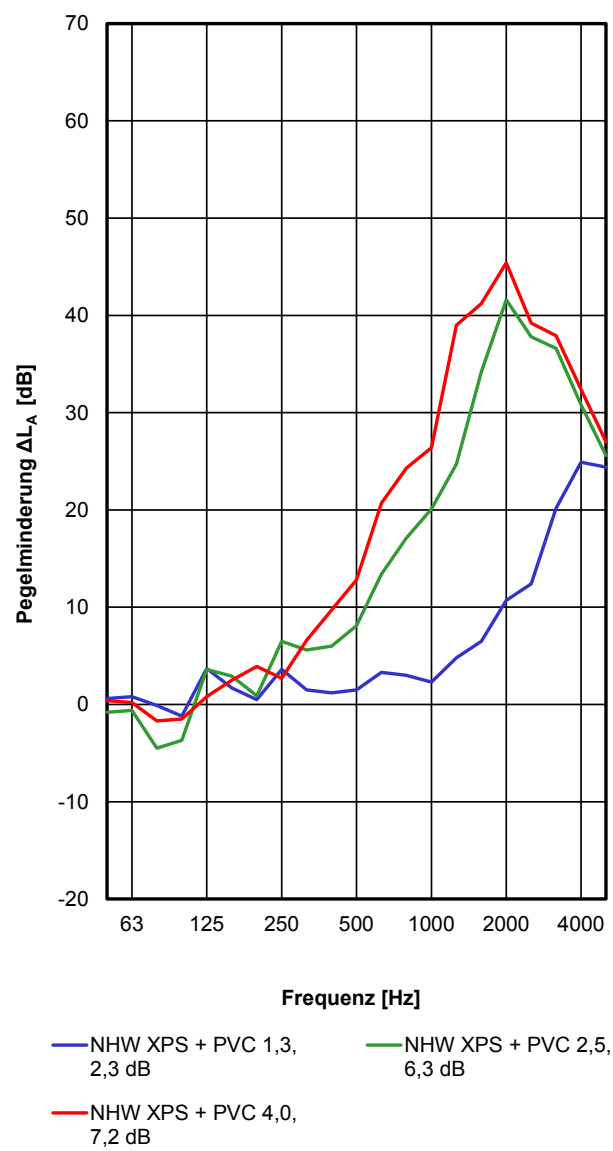
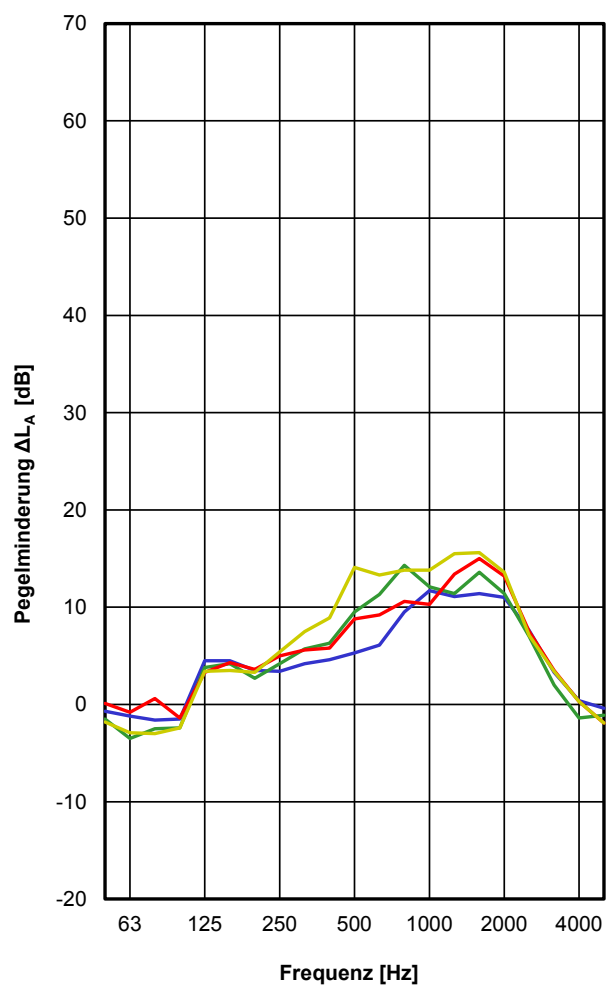
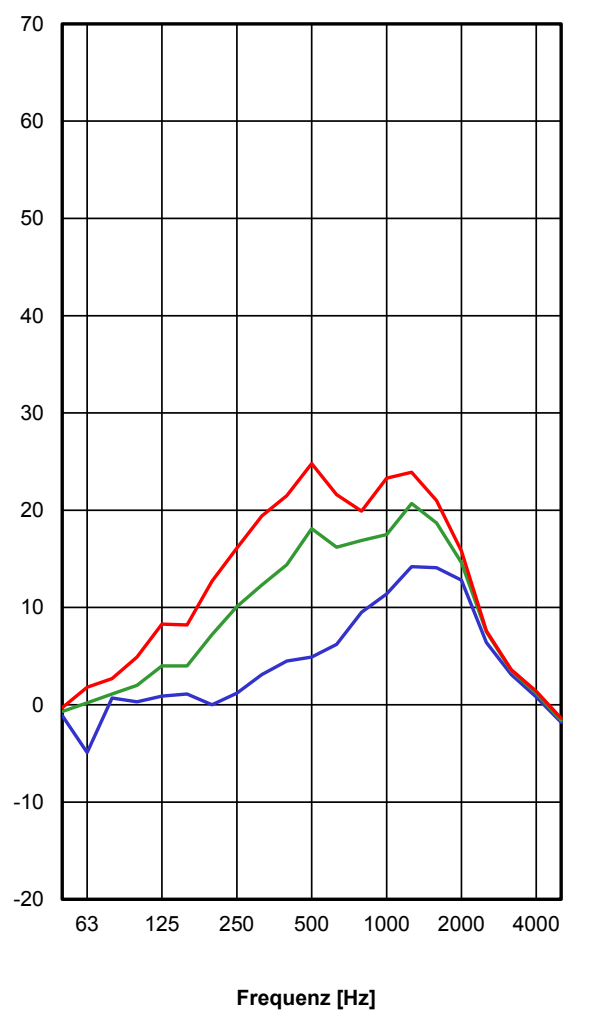


Bild A4.8 ΔL_A Norm-Hammerwerk – XPS – PVC



— NHW TE + Lam, 4,3 dB
 — NHW TE + U+Lam, 3,9 dB
 — NHW TE + Park, 3,9 dB
 — NHW TE + U+Park, 3,4 dB



— NHW TE + NF, 1 dB
 — NHW TE + HF, 4,2 dB
 — NHW TE + HF35, 8,5 dB

Bild A4.9 ΔL_A Norm-Hammerwerk – Trockenestrich – Laminat und Norm-Hammerwerk –
 Trockenestrich – Teppiche

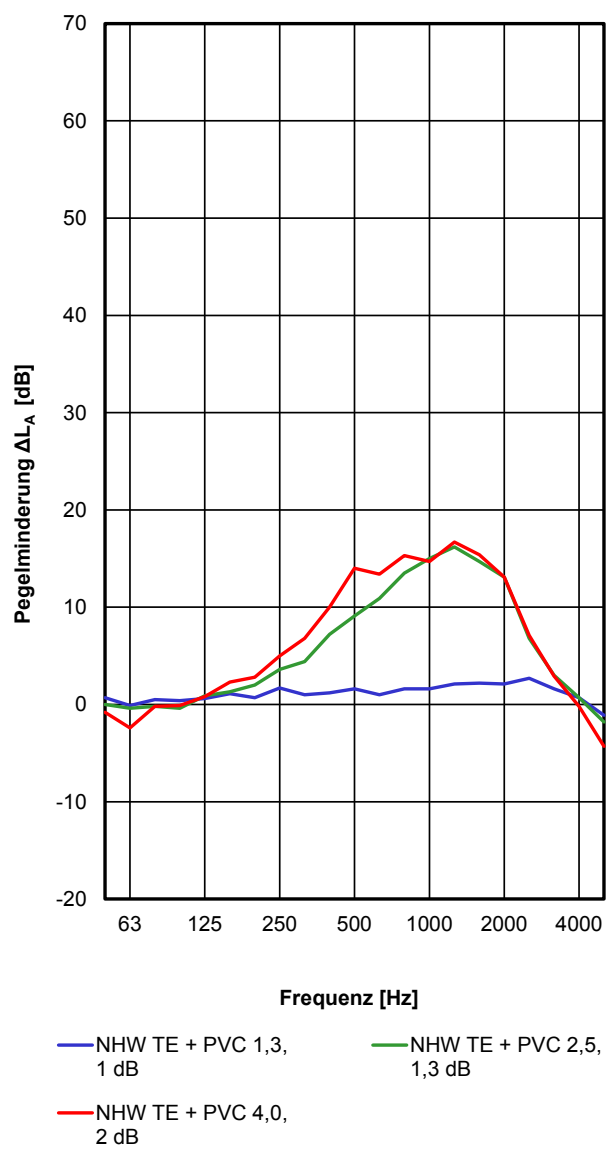
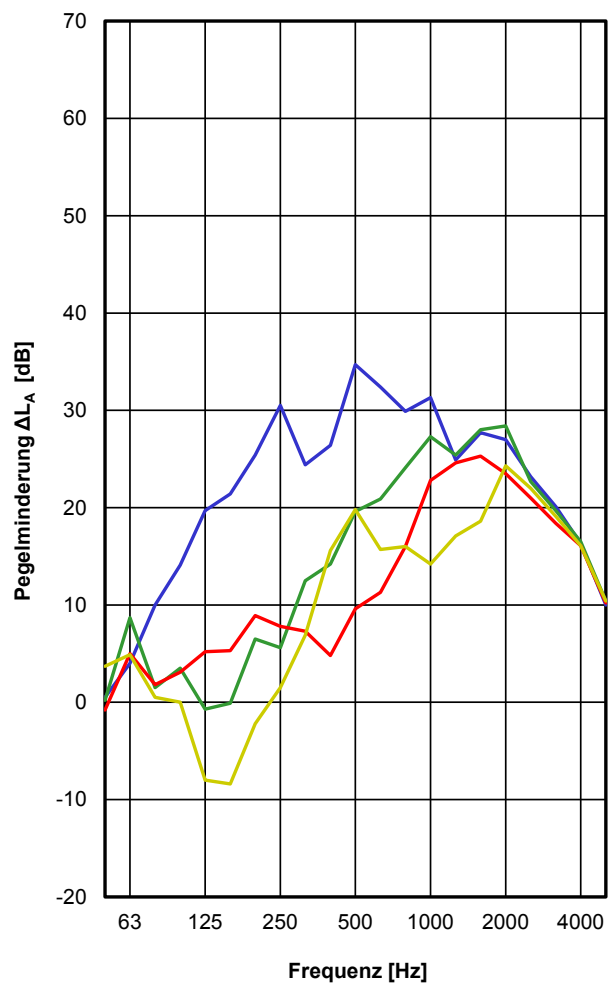
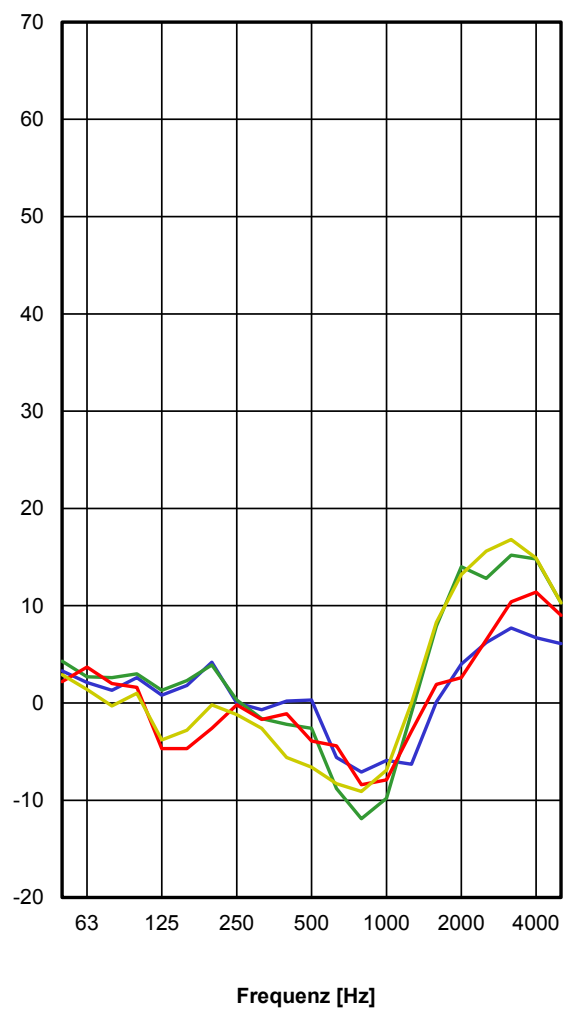


Bild A4.10 ΔL_A Norm-Hammerwerk – Trockenestrich – PVC

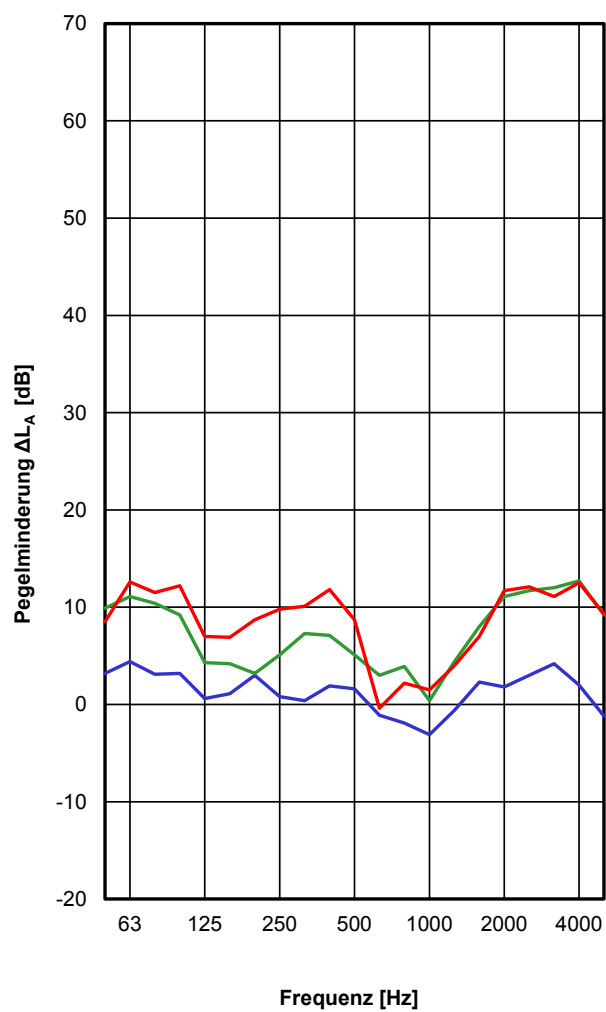


Mod EP1, 22,4 dB Mod EPS, 2,4 dB Mod XPS, 6,4 dB Mod TE, -5,6 dB



Mod Lam, 0,4 dB Mod Lam+U, -1,3 dB Mod Park, -3,9 dB Mod Park+U, -4,1 dB

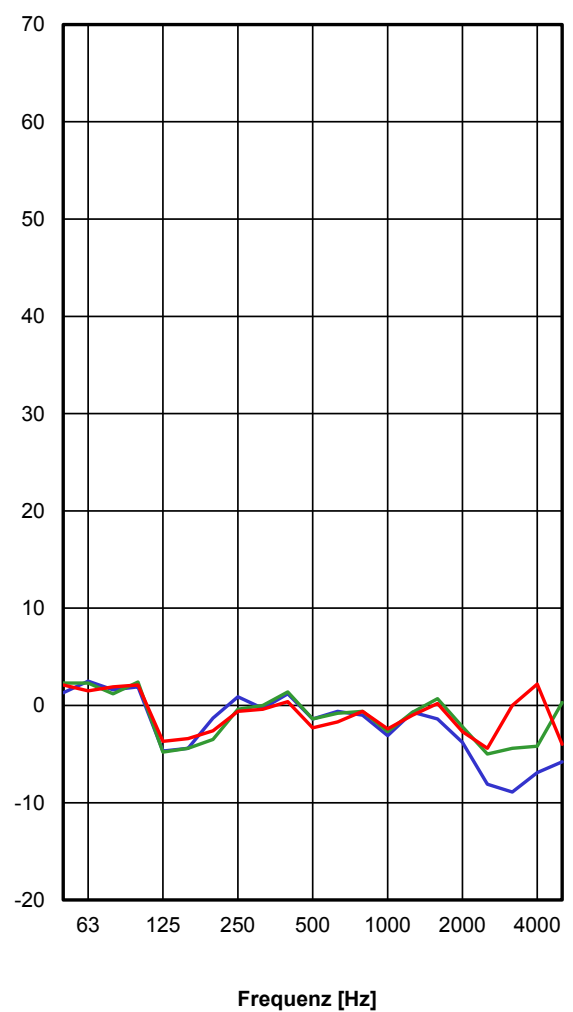
Bild A4.11 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – Estriche (links) und Modifiziertes Hammerwerk – Rohdecke – Laminate (rechts)



Mod NF,
1,2 dB

Mod HF,
4,6 dB

Mod HF35,
7 dB



Mod PVC1,
-3 dB

Mod PVC2,
-3,2 dB

Mod PVC 4,
-2,6 dB

Bild A4.12 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – Rohdecke – Teppiche (links) und Modifiziertes Hammerwerk – Rohdecke – PVC (rechts)

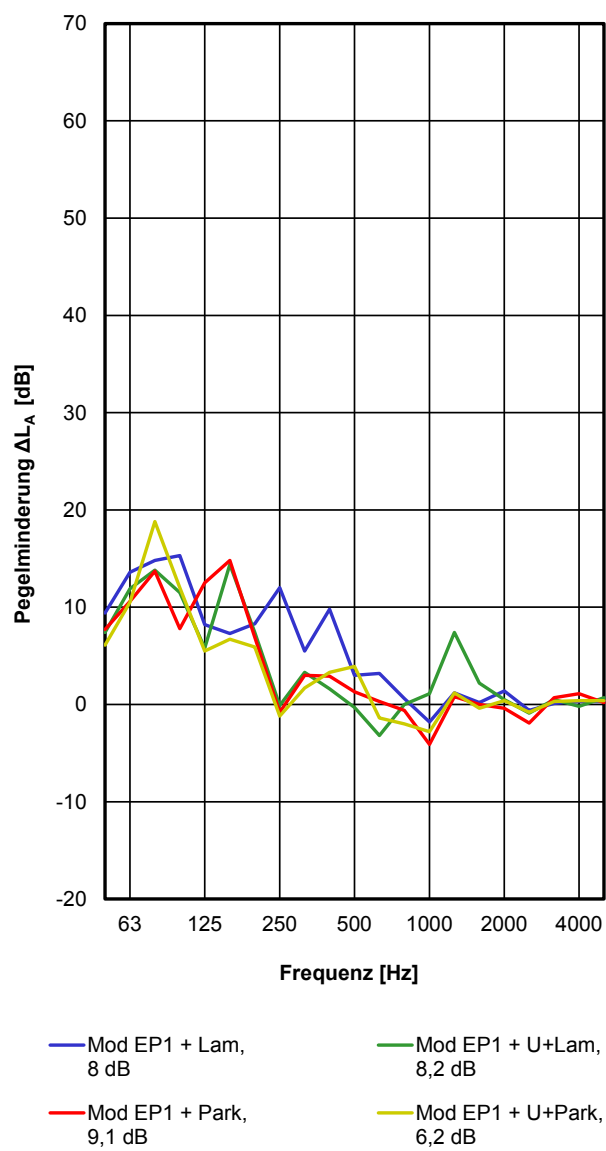
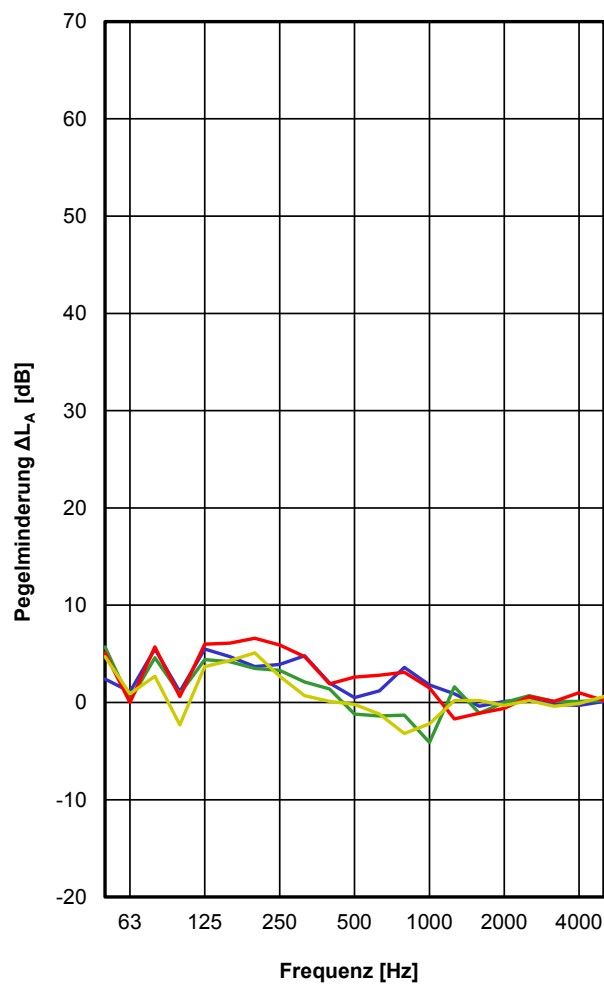
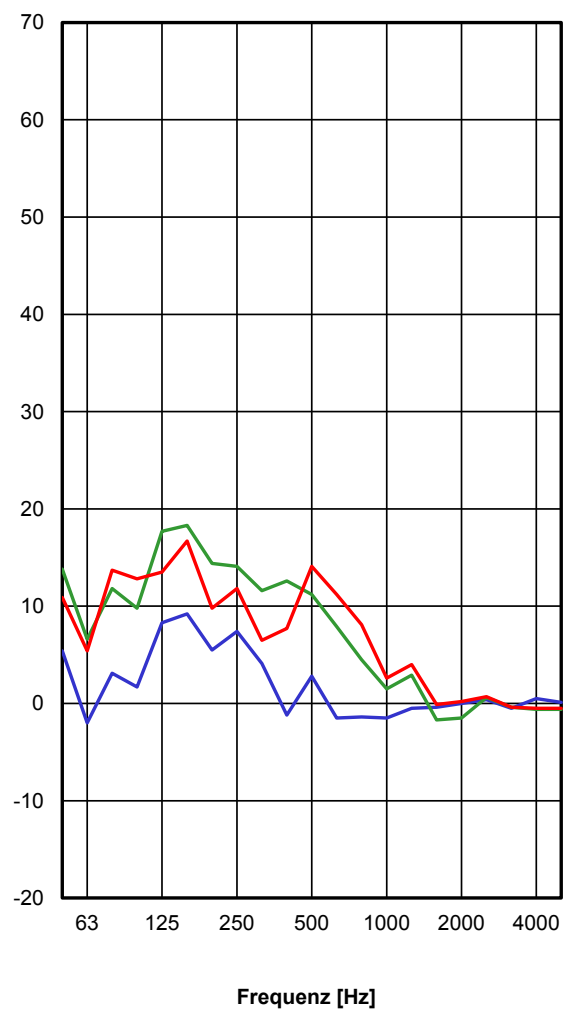


Bild A4.13 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – EP1 – Lamine



— Mod EPS + Lam, 4,6 dB
 — Mod EPS + Park, 5,8 dB
 — Mod EPS + U+Lam, 4 dB
 — Mod EPS + U+Park, 3,8 dB



— Mod EPS + NF, 8,1 dB
 — Mod EPS + HF, 17,1 dB
 — Mod EPS + HF35, 14,9 dB

Bild A4.14 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – EPS – Laminate (links) und Modifiziertes Hammerwerk – EPS – Teppiche (rechts)

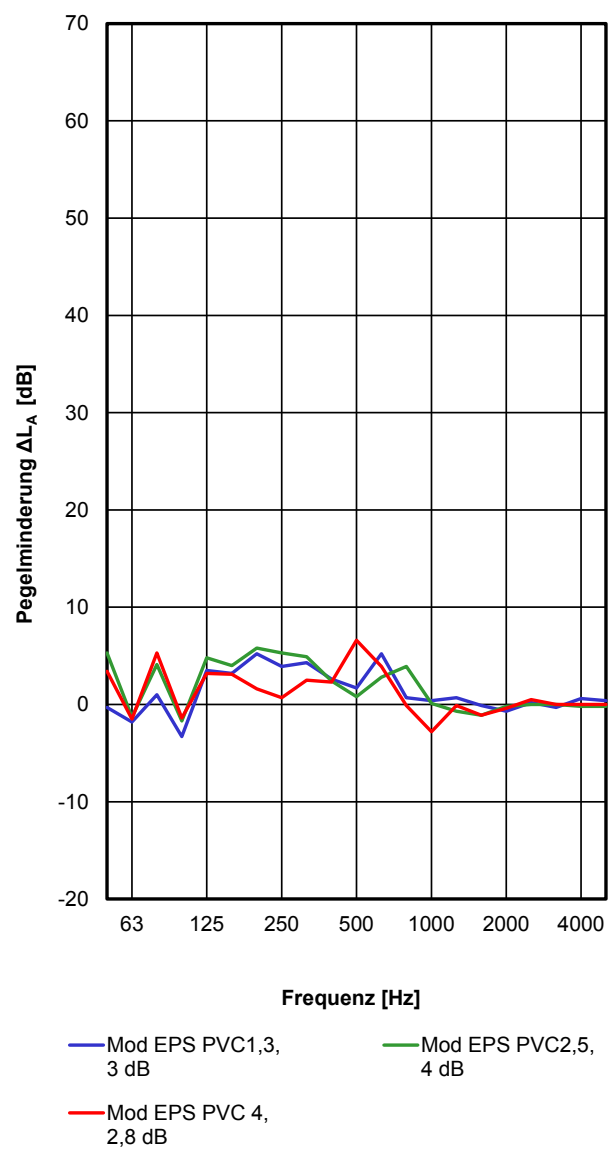
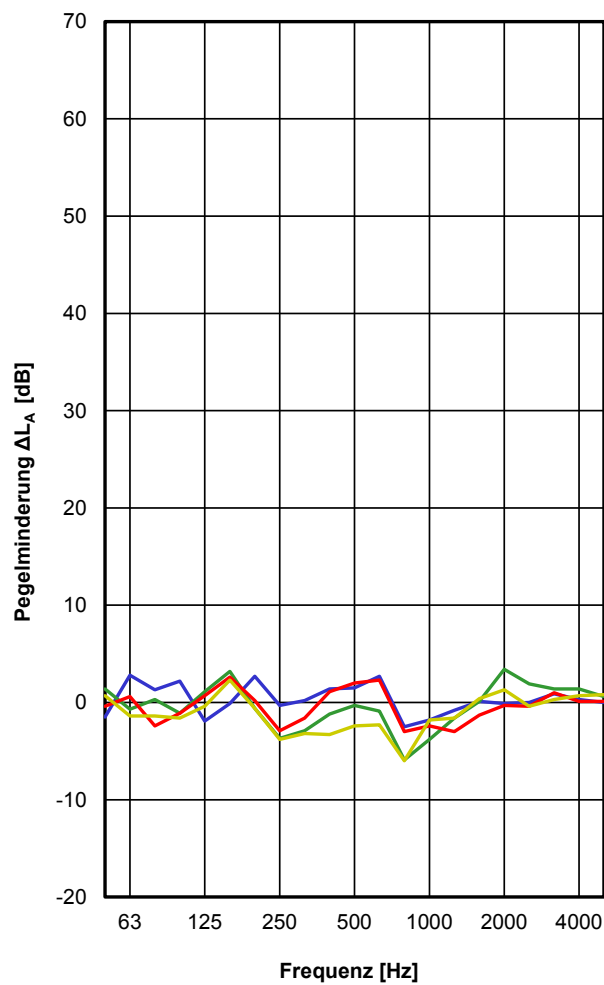
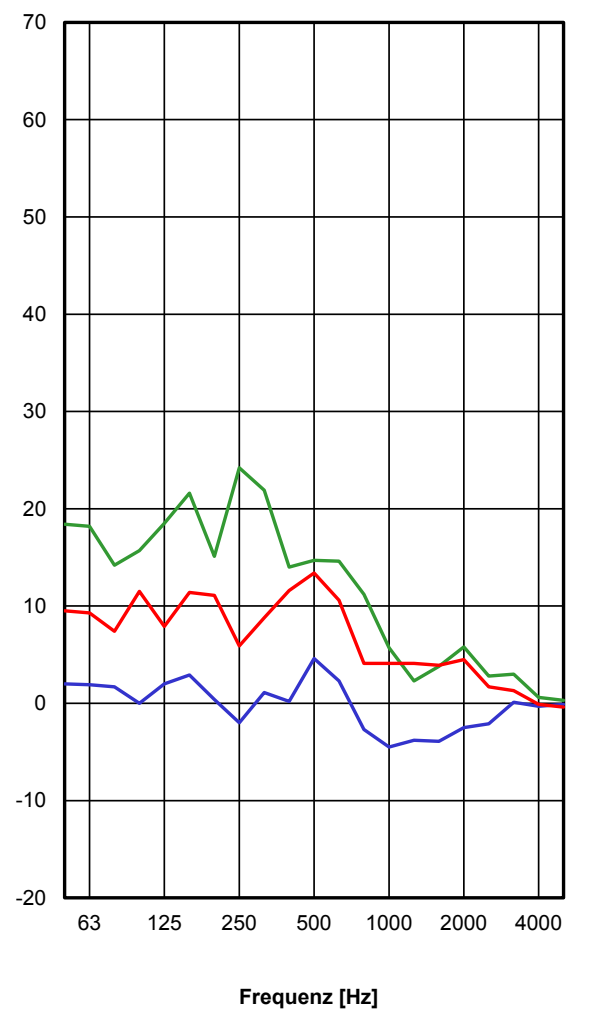


Bild A4.15 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – EPS – PVC



— Mod XPS + Lam, 0,1 dB
 — Mod XPS + U+Lam, 0,8 dB
 — Mod XPS + Park, 1,2 dB
 — Mod XPS + U+Park, -0,3 dB



— Mod XPS + NF, 1,9 dB
 — Mod XPS + HF, 17,9 dB
 — Mod XPS + HF35, 10,4 dB

Bild A4.16 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – XPS – Laminate (links) und Modifiziertes Hammerwerk – XPS – Teppiche (rechts)

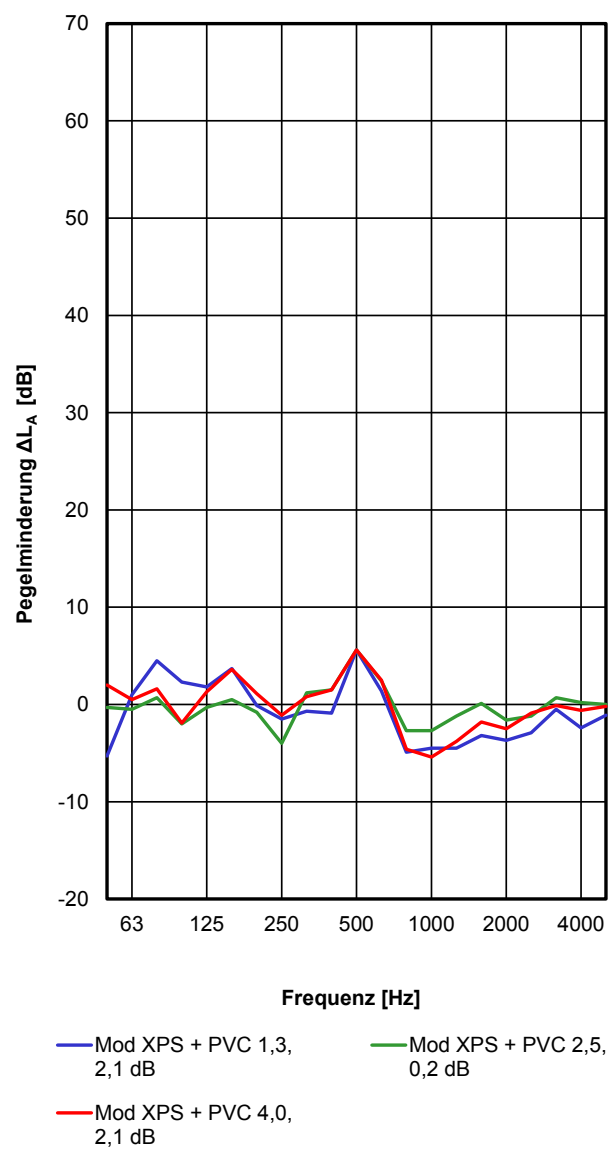
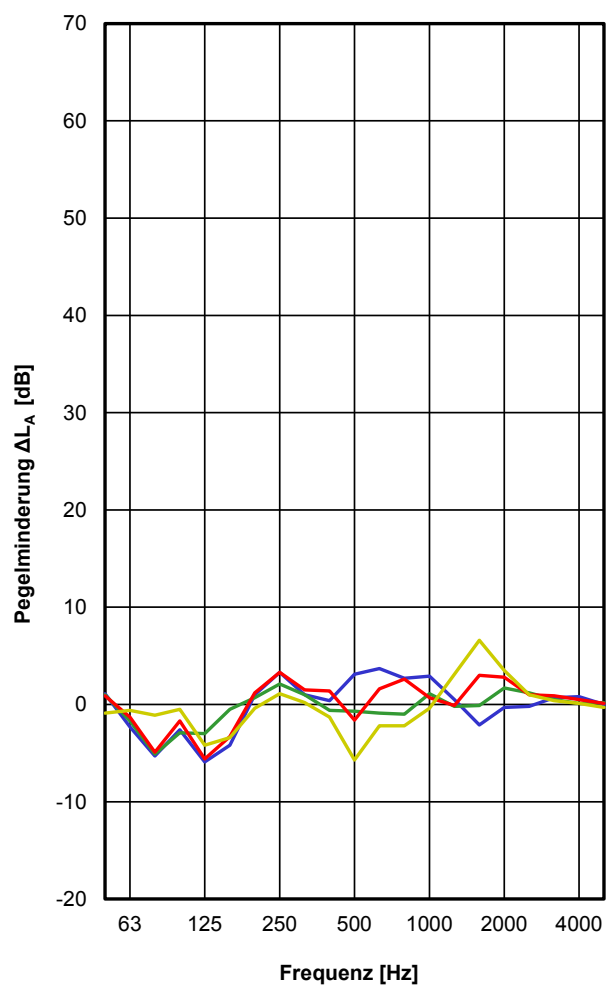
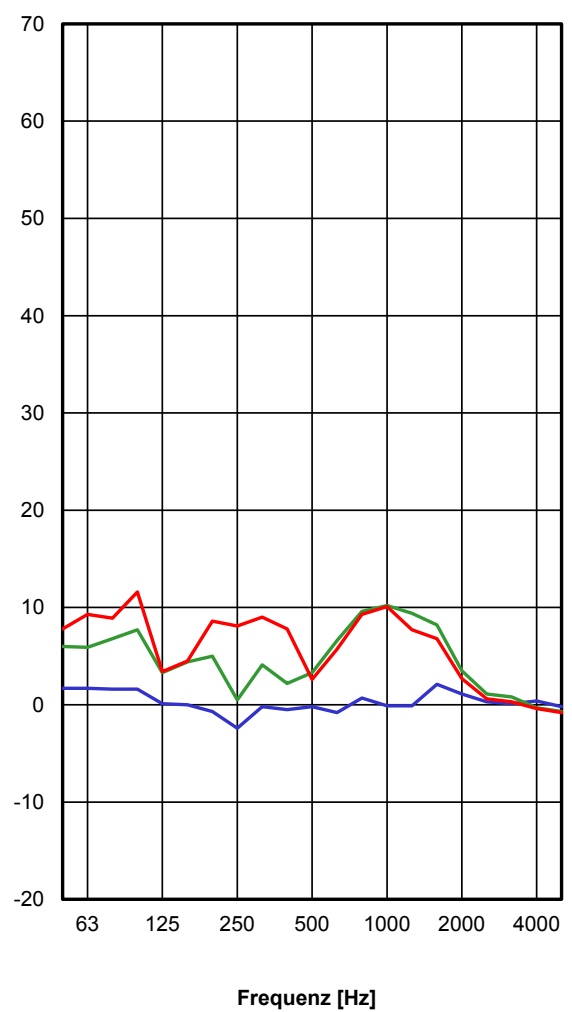


Bild A4.17 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – XPS – PVC



— Mod TE + Lam, -4,3 dB
 — Mod TE + U+Lam, -1 dB
 — Mod TE + Park, -3,6 dB
 — Mod TE + U+Park, -3,4 dB



— Mod TE + NF, 0 dB
 — Mod TE + HF, 4,2 dB
 — Mod TE + HF35, 4,5 dB

Bild A4.18 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – TE – Laminate (links) und Modifiziertes Hammerwerk - Teppiche (rechts)

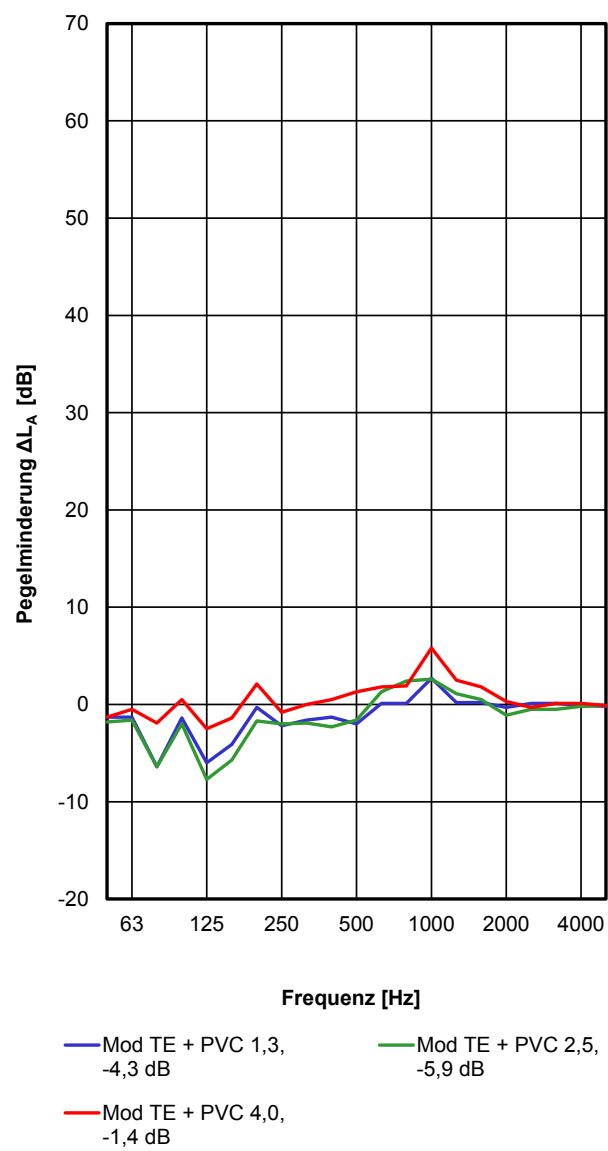


Bild A4.19 ΔL_A Modifiziertes Hammerwerk – TE – PVC

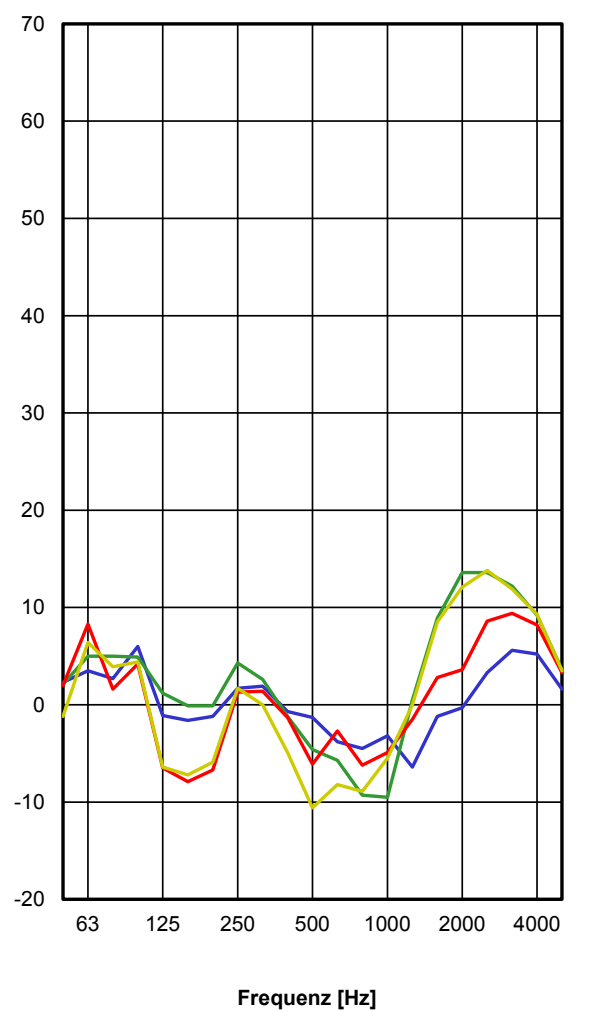
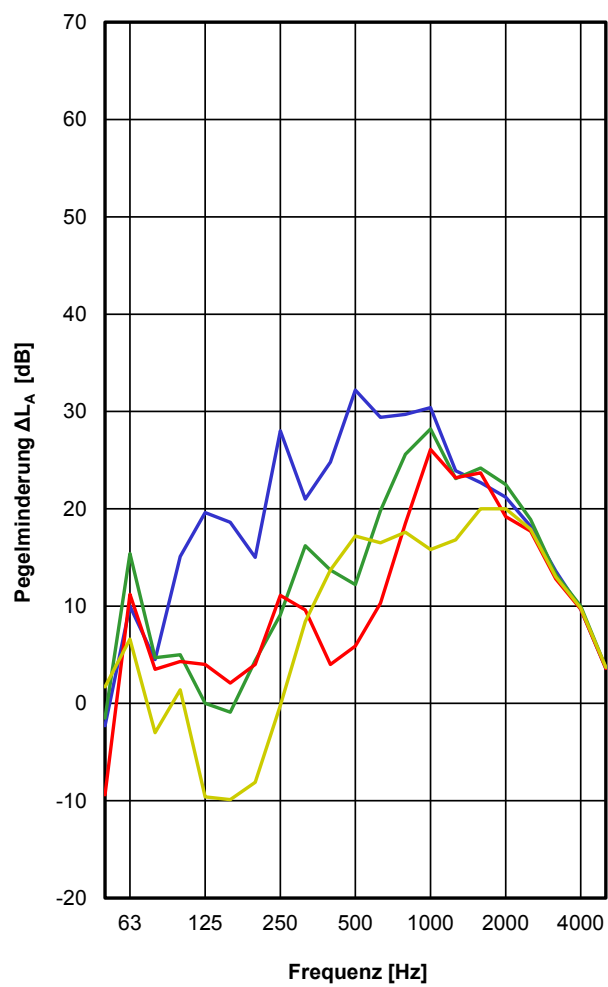
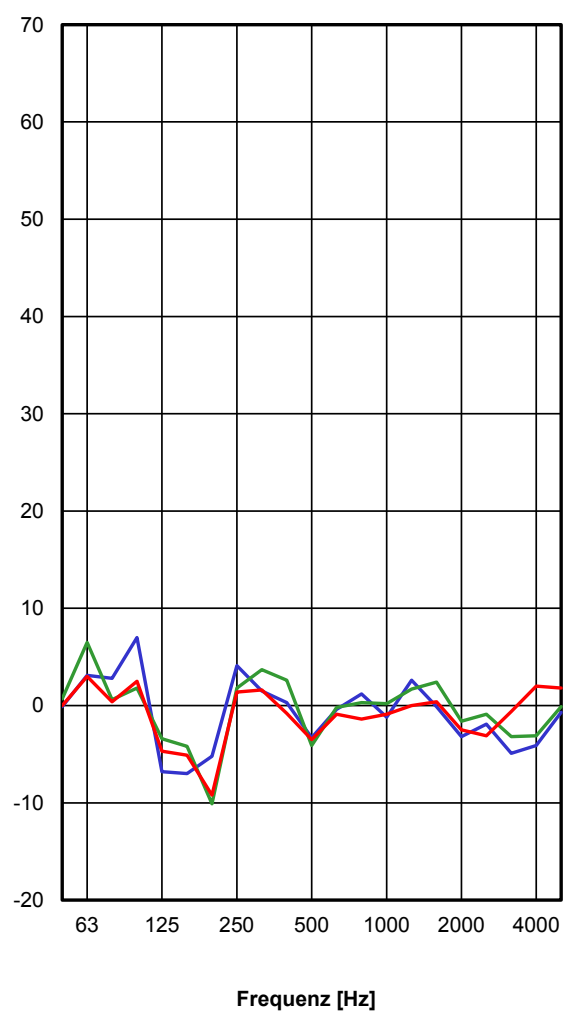
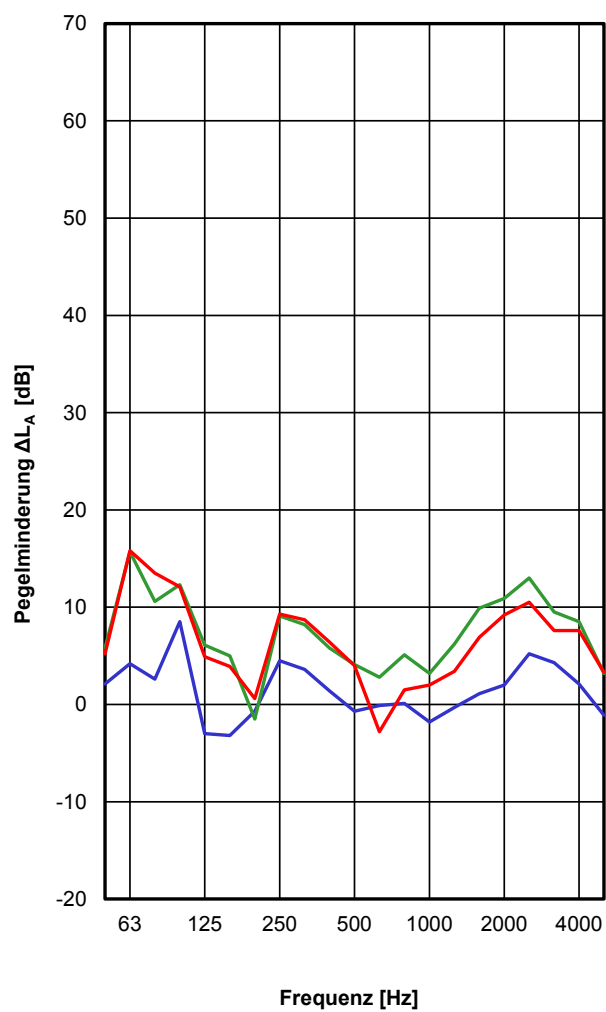


Bild A4.20 ΔL_A Gehwerk – Rohdecke – Estriche (links) und Gehwerk – Rohdecke – Laminat (rechts)



— Geh NF, -1,2 dB — Geh HF, 5 dB — Geh HF35, 3,9 dB — Geh PVC1, -4,5 dB — Geh PVC2, -3,2 dB — Geh PVC 4, -3,7 dB

Bild A4.21 ΔL_A Gehwerk – Rohdecke – Teppiche (links) und Gehwerk – Rohdecke – PVC (rechts)

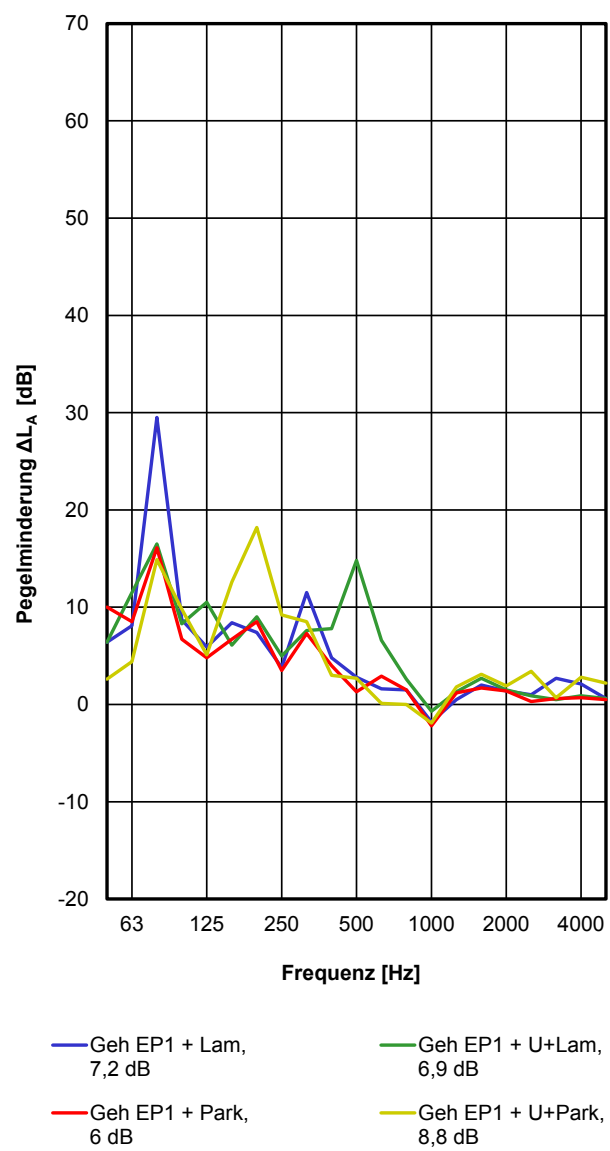
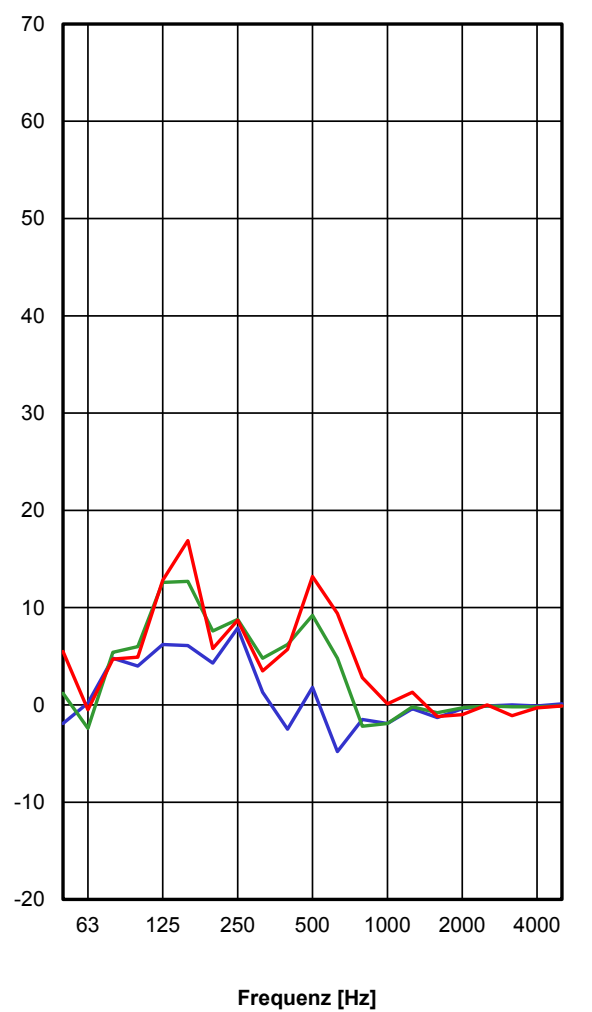
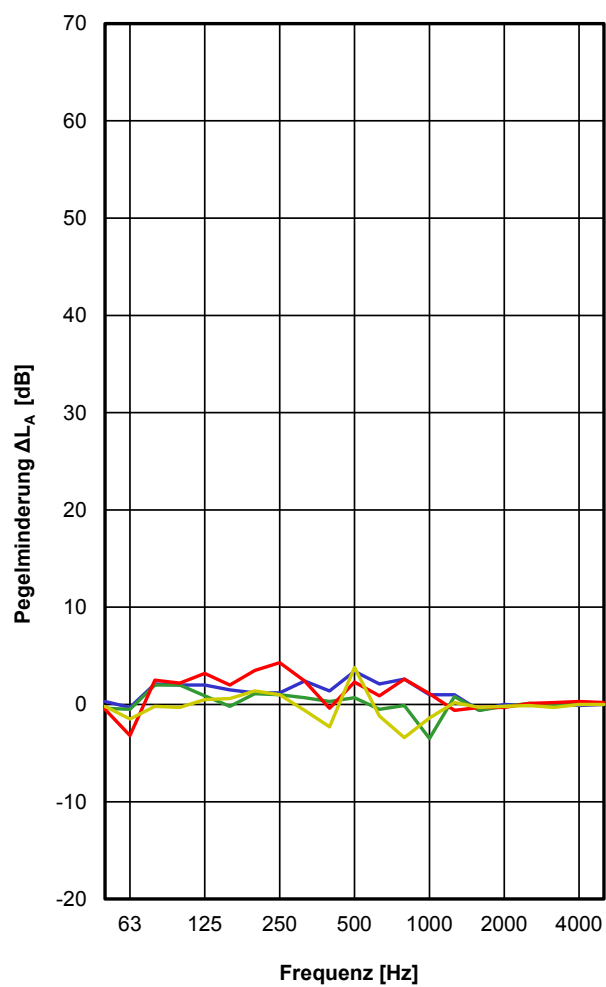


Bild A4.22 ΔL_A Gehwerk – EP1 – Lamine



— Geh EPS + Lam,
1,7 dB

— Geh EPS + Park,
2,3 dB

— Geh EPS + U+Lam,
0,2 dB

— Geh EPS + U+Park,
0,6 dB

— Geh EPS + NF, 5,8 dB

— Geh EPS + HF, 11,7 dB

— Geh EPS + HF35, 13,1 dB

Bild A4.23 ΔL_A Gehwerk – EPS – Laminate (links) und Gehwerk – EPS – Teppiche (rechts)

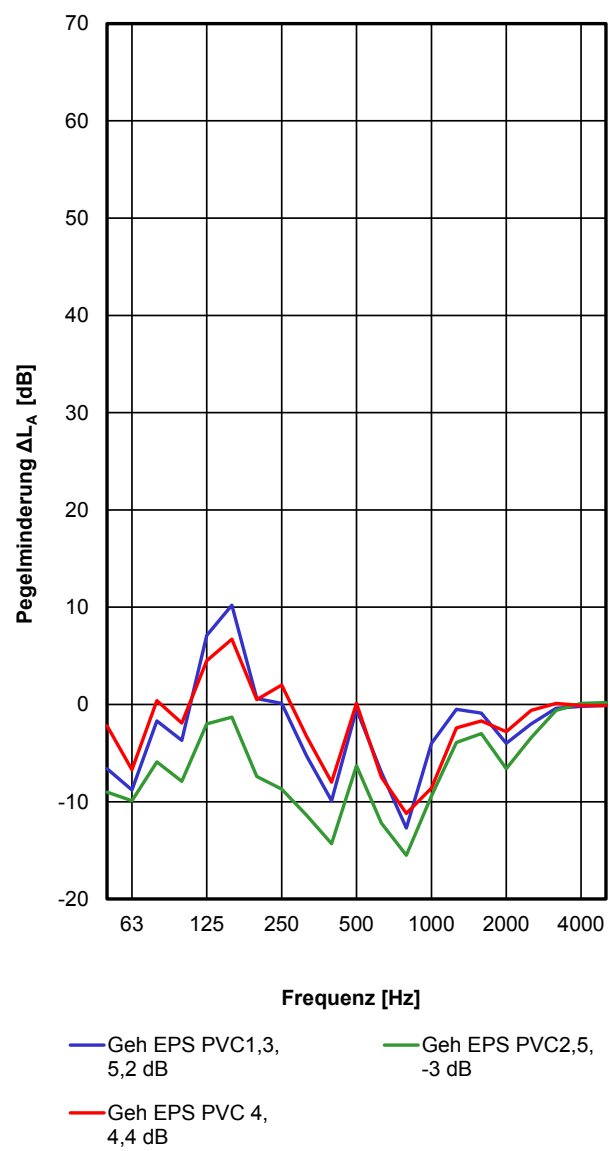
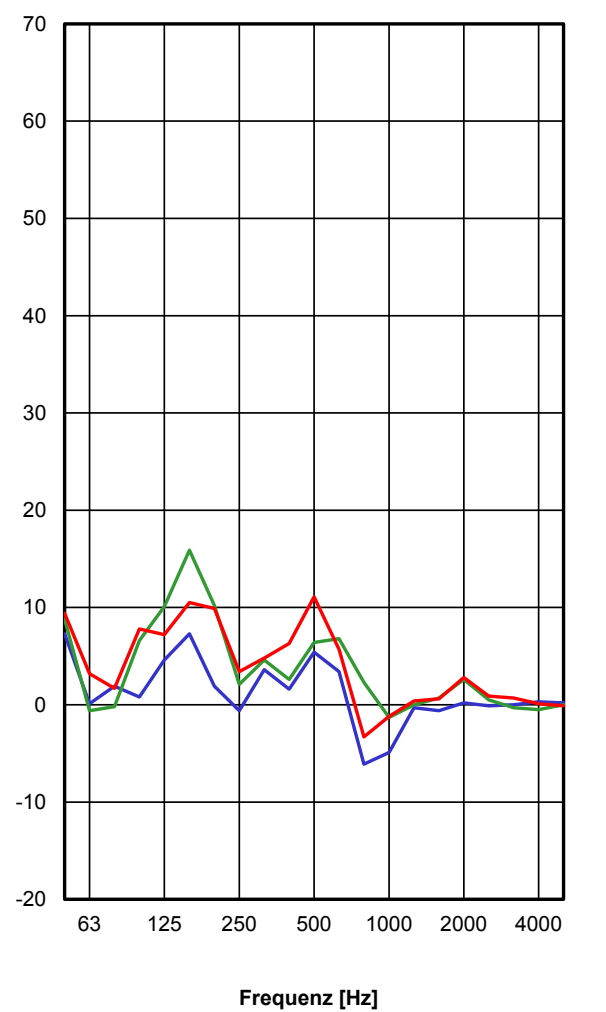
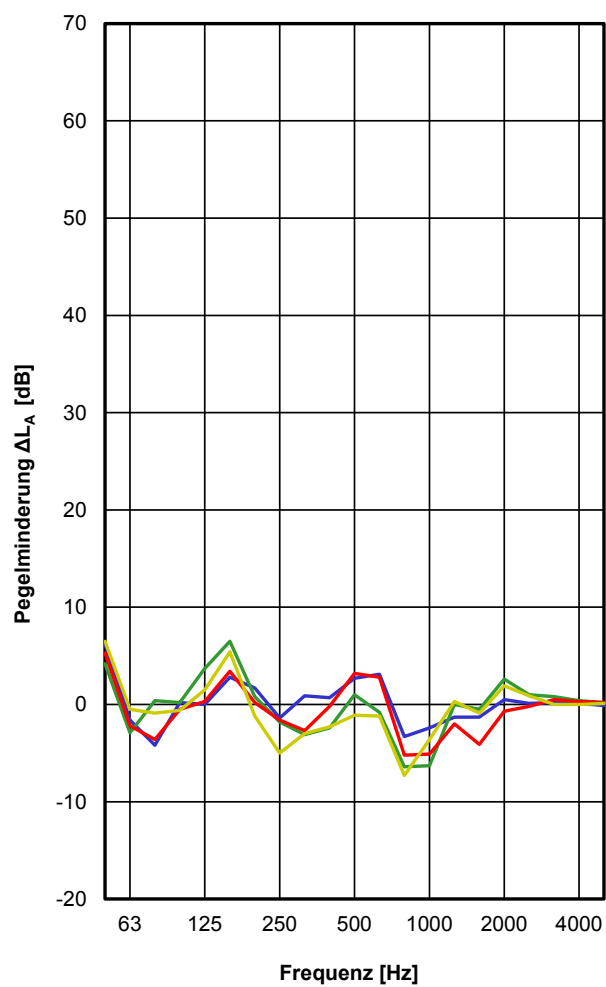


Bild A4.24 ΔL_A Gehwerk – EPS – PVC



Geh XPS + Lam,
1,7 dB

Geh XPS + U+Lam,
2,5 dB

Geh XPS + Park,
1,7 dB

Geh XPS + U+Park,
1,3 dB

Geh XPS + NF,
4,5 dB

Geh XPS + HF,
8,9 dB

Geh XPS + HF35,
8,7 dB

Bild A4.25 ΔL_A Gehwerk - XPS - Laminate (links) und Gehwerk - XPS - Teppiche (rechts)

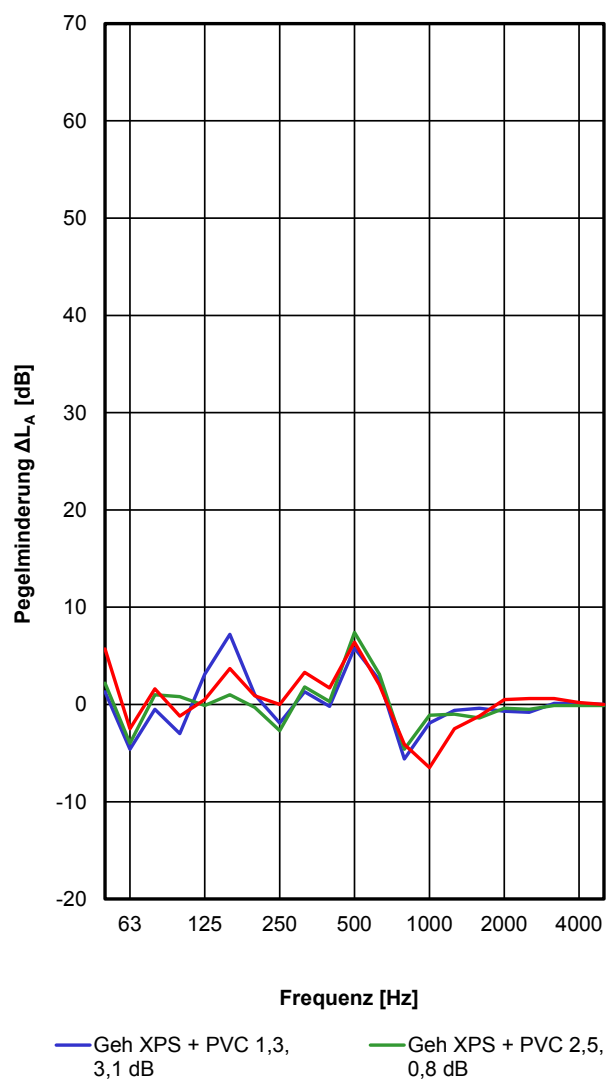
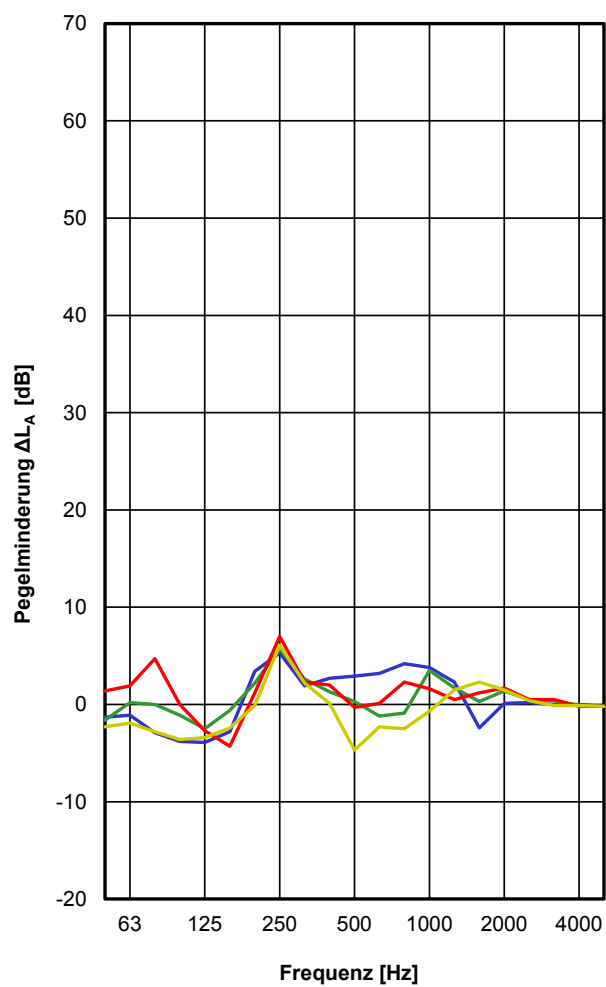
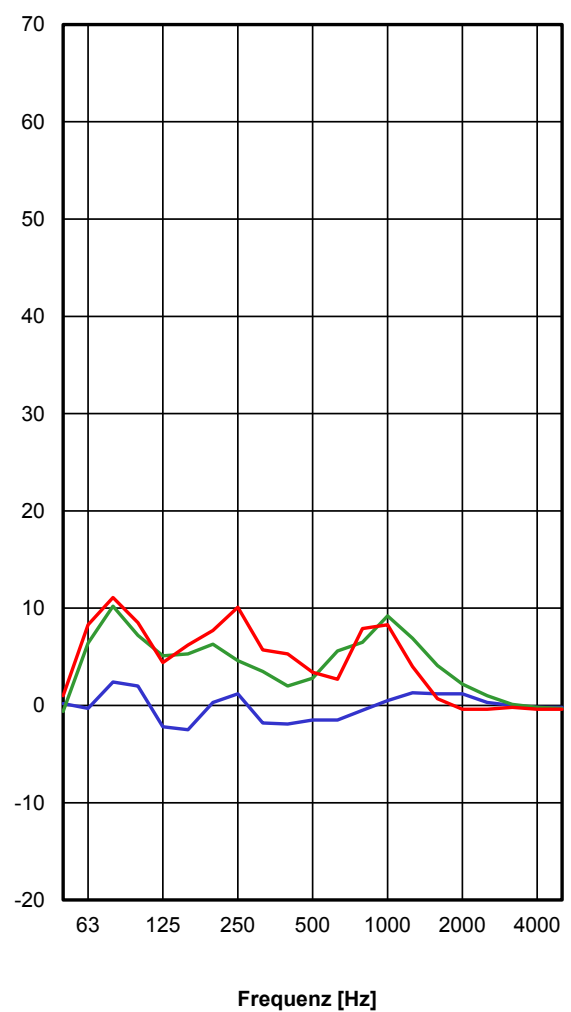


Bild A4.26 ΔL_A Gehwerk – XPS – PVC



— Geh TE + Lam, -2,7 dB
 — Geh TE + U+Lam, -0,9 dB
 — Geh TE + Park, -3,6 dB
 — Geh TE + U+Park, -2,4 dB



— Geh TE + NF, -2,2 dB
 — Geh TE + HF, 5,3 dB
 — Geh TE + HF35, 5,9 dB

Bild A4.27 ΔL_A Gehwerk – Trockenestrich – Laminate (links) und Gehwerk – Trockenestrich – Teppiche (rechts)

Gehwerk – Trockenestrich – PVC

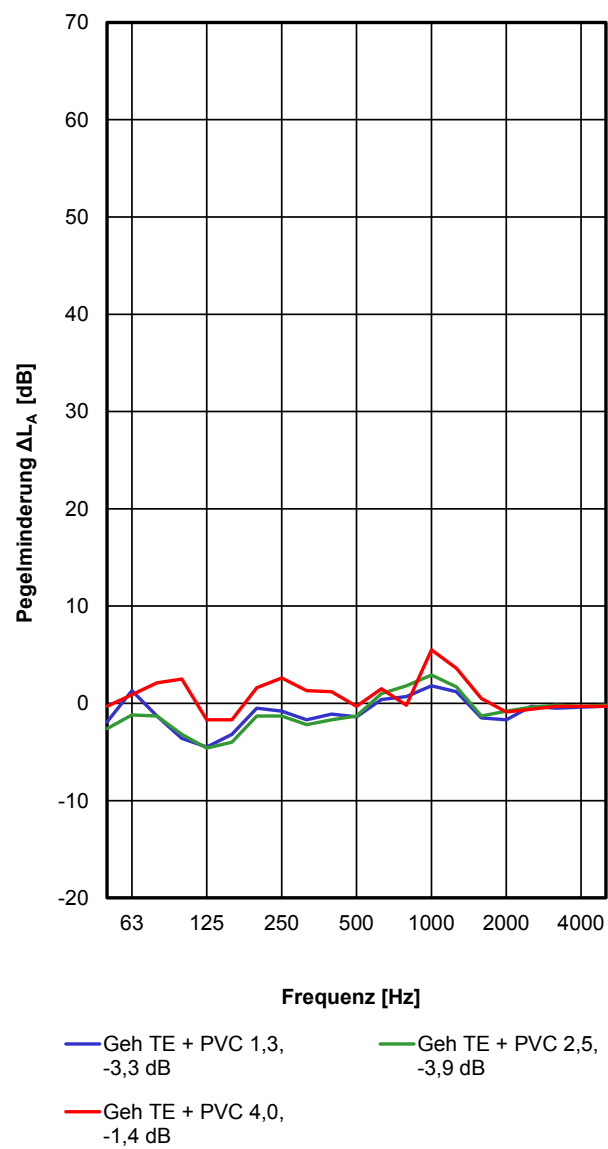
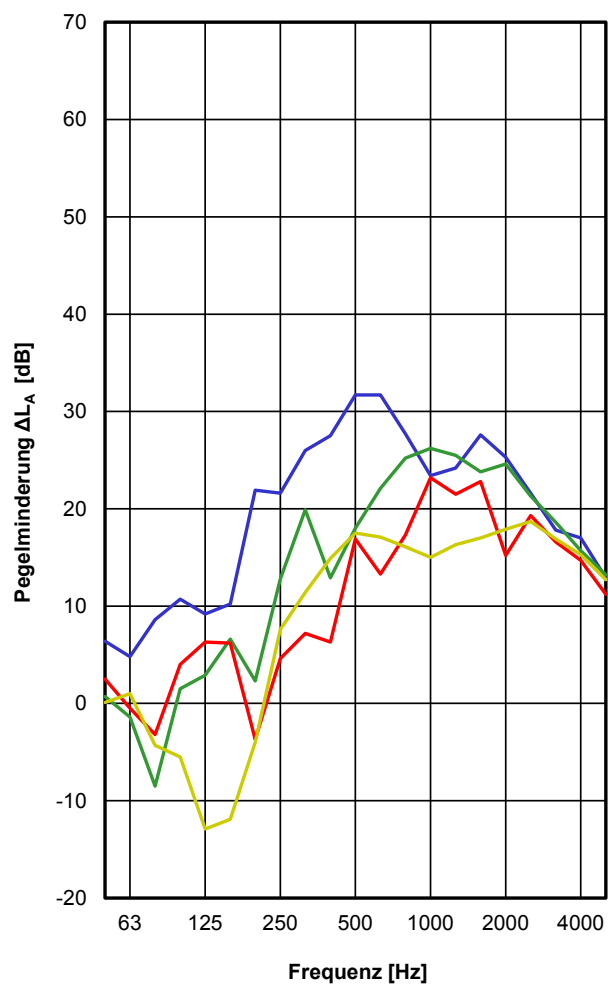
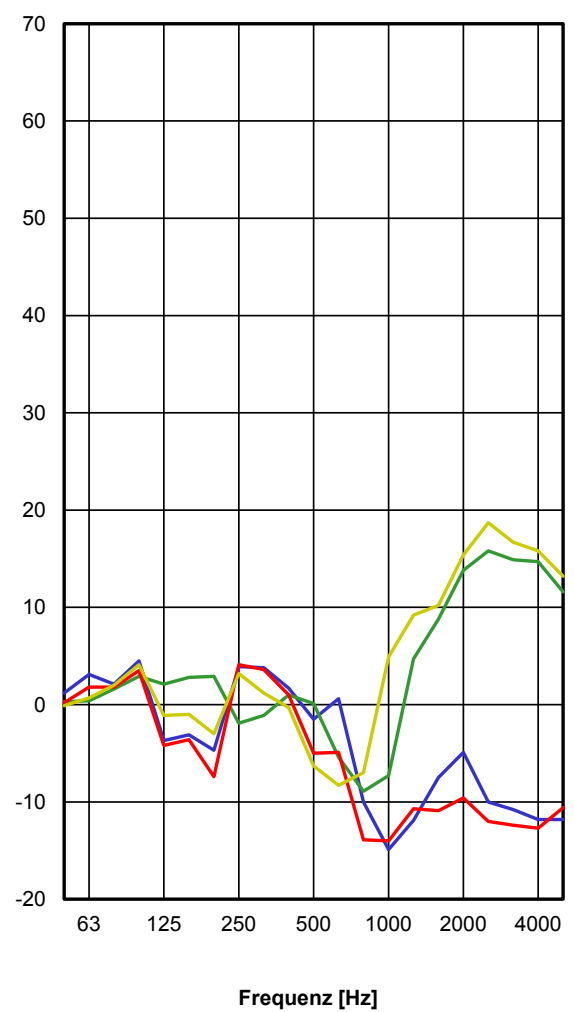


Bild A4.28 ΔL_A Gehwerk – Trockenestrich – PVC

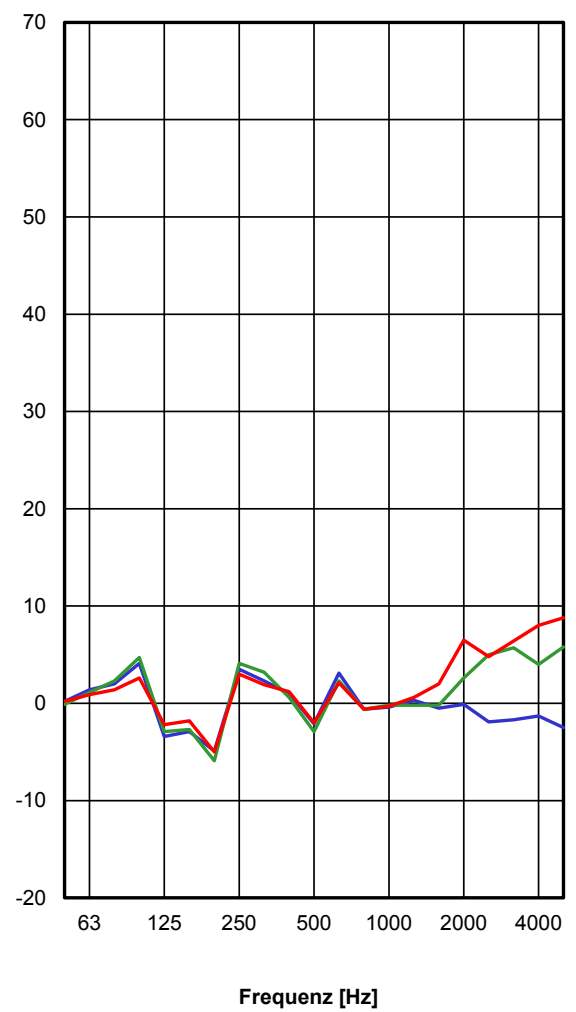
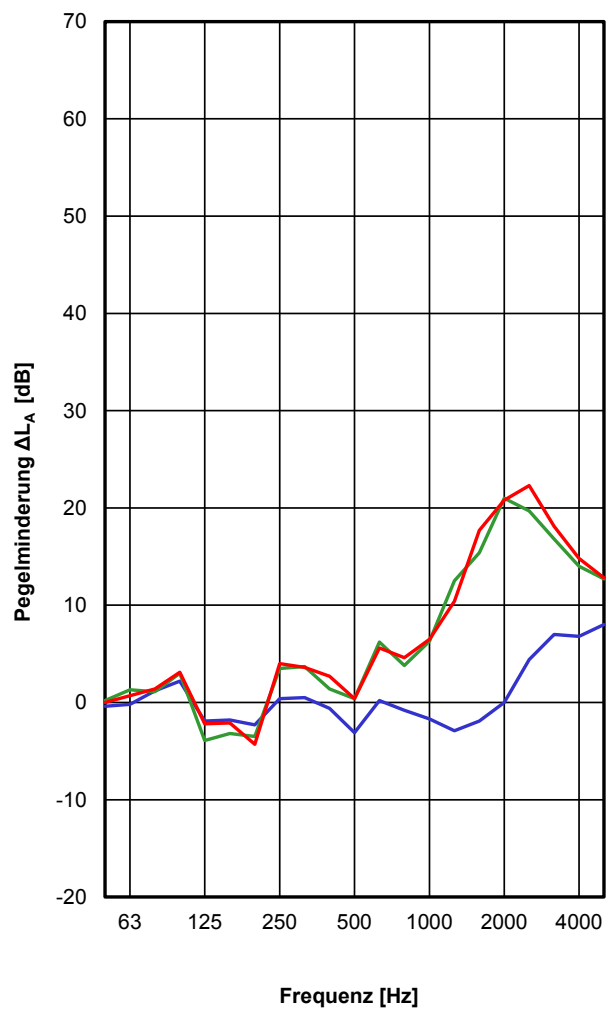


Ball EP1, 13,3 dB Ball EPS, 7,1 dB Ball XPS, 4,8 dB Ball TE, -8,3 dB



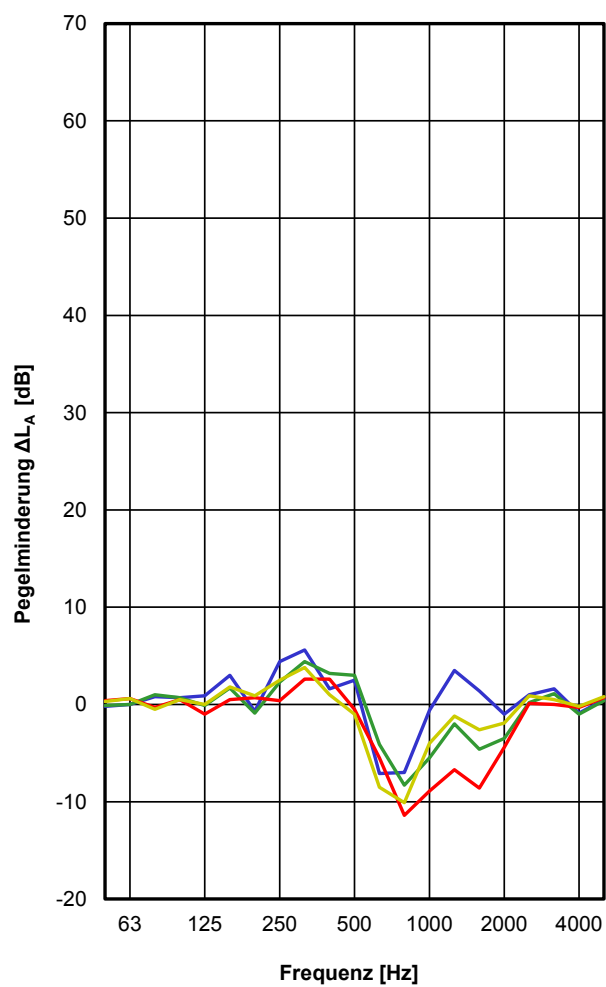
Ball Lam, -2,6 dB Ball Lam+U, -0,4 dB Ball Park, -4,1 dB Ball Park+U, -2,1 dB

Bild A4.29 ΔL_A Ball – Rohdecke – Estrich (links) und Ball – Rohdecke – Laminate (rechts)

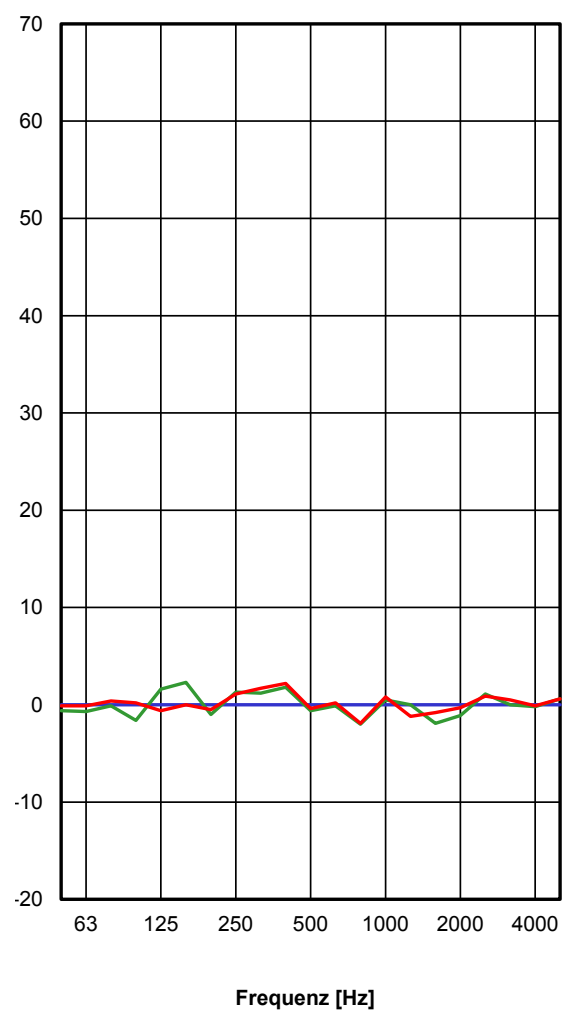


— Ball NF, -1,1 dB — Ball HF, -1 dB — Ball HF35, -0,2 dB — Ball PVC1, -1,3 dB — Ball PVC2, -1,3 dB — Ball PVC 4, -0,8 dB

Bild A4.30 ΔL_A Ball – Rohdecke – Teppich (links) und Ball – Rohdecke – PVC (rechts)

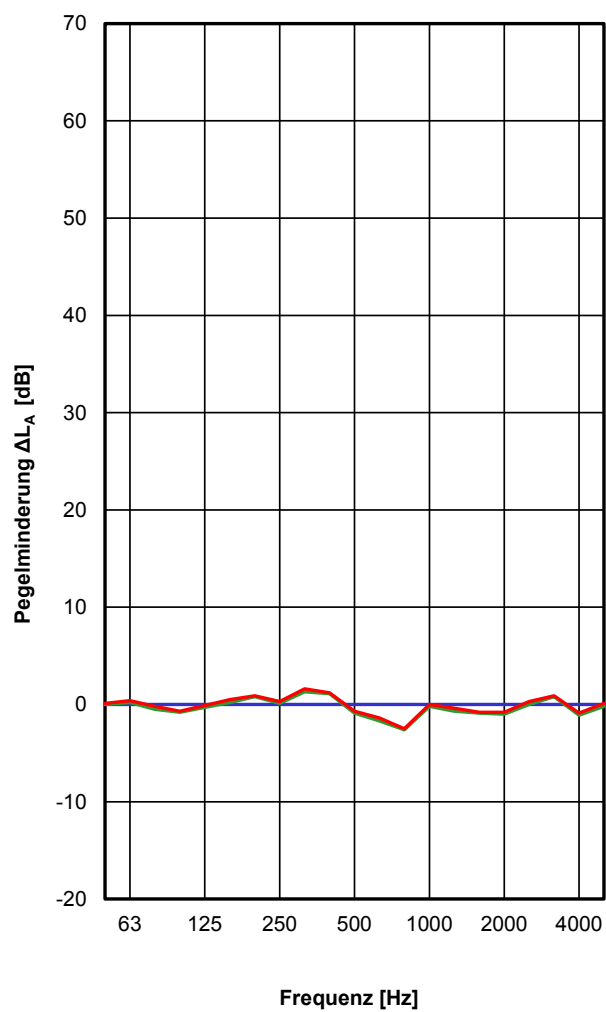


— Ball EP1 + Lam, 2,2 dB
 — Ball EP1 + U+Lam, 1,2 dB
 — Ball EP1 + Park, 0,1 dB
 — Ball EP1 + U+Park, 1,2 dB

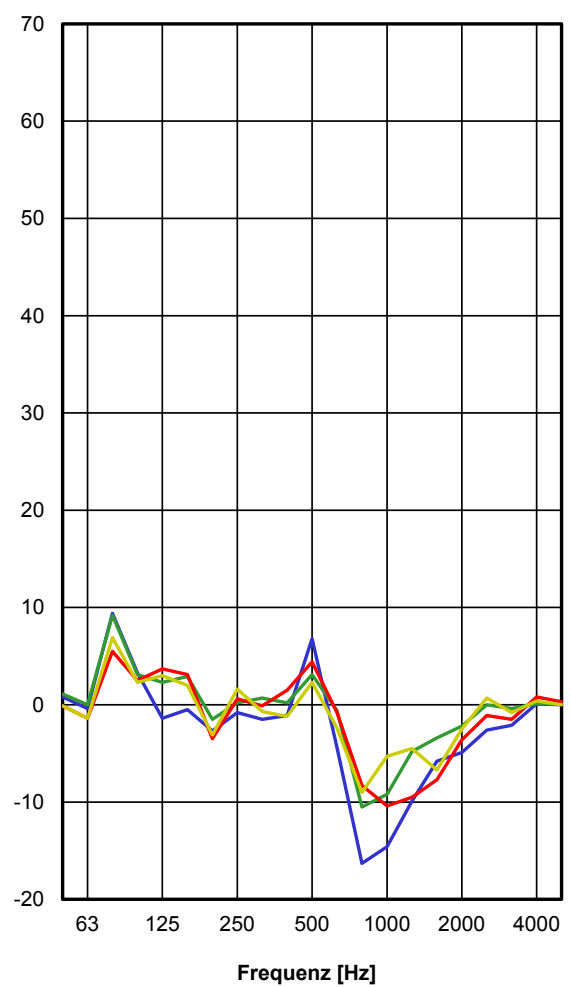


— Ball EP1+NF, 0 dB
 — Ball EP1+HF, 1,4 dB
 — Ball EP1+HF35, -0,1 dB

Bild A4.31 ΔL_A Ball – EP1 – Laminate (links) und Ball – EP1 – Teppich (rechts)

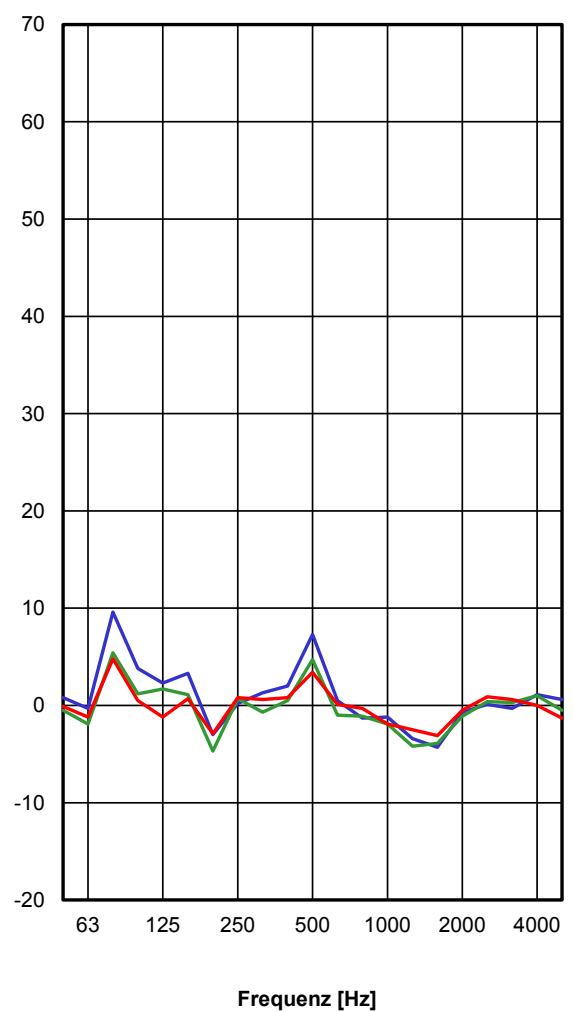
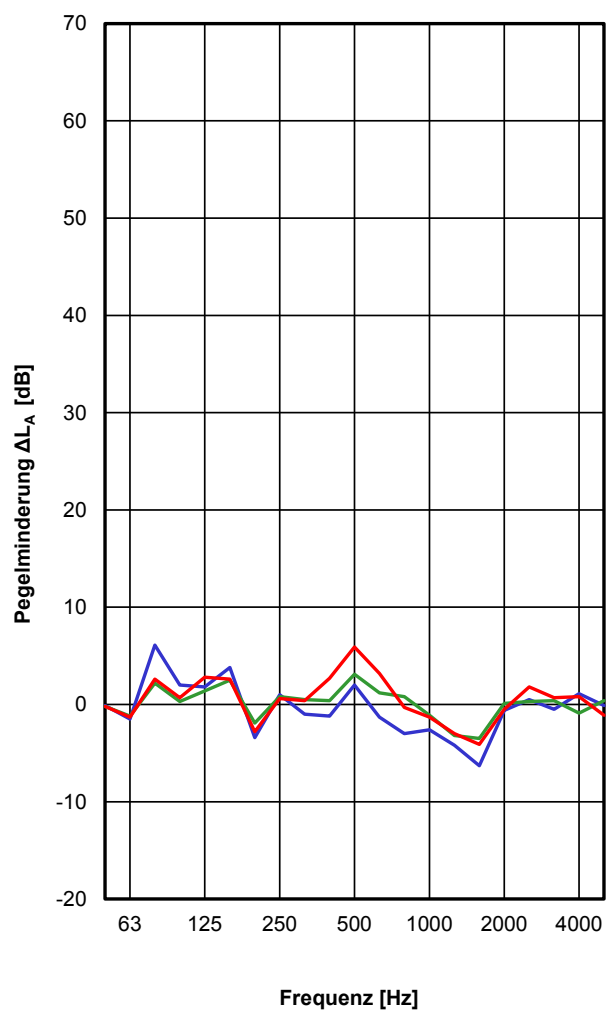


— Ball PVC1, 0 dB
 — Ball PVC2, 0 dB
 — Ball PVC 4, 0,2 dB



— Ball EPS + Lam, -0,6 dB
 — Ball EPS + U+Lam, 1,6 dB
 — Ball EPS + Park, 0,9 dB
 — Ball EPS + U+Park, 0,7 dB

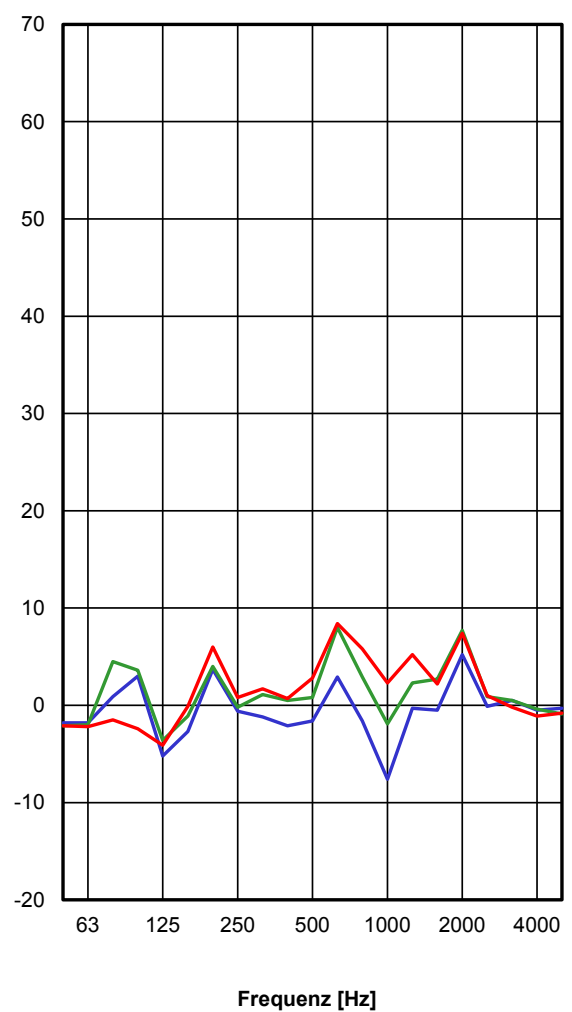
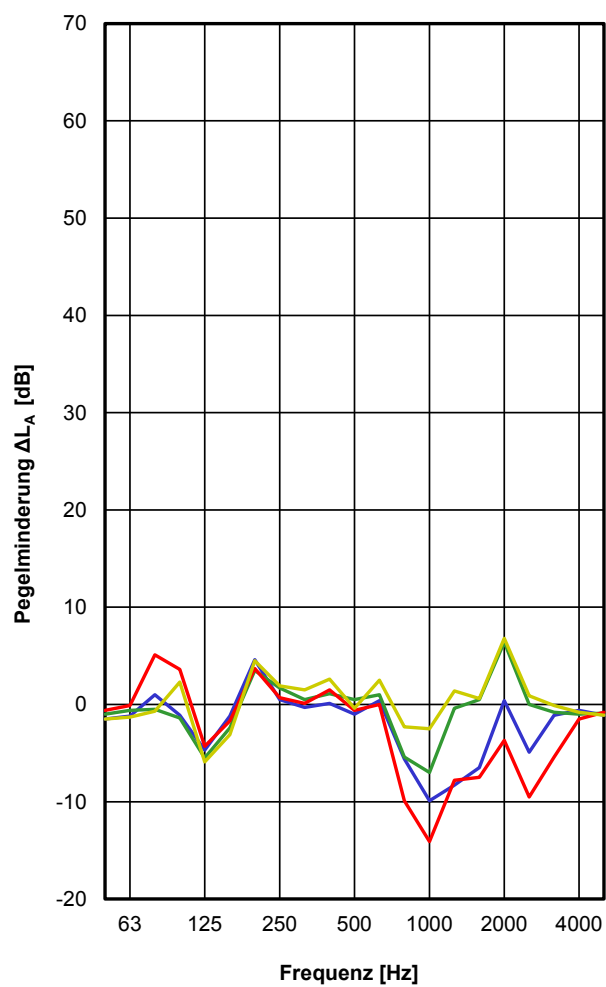
Bild A4.32 ΔL_A Ball – EP1 – PVC (links) und Ball – EPS – Lamine (rechts)



— Ball EPS + NF, 0,8 dB — Ball EPS + HF, 0,6 dB — Ball EPS + HF35, 0,7 dB

— Ball EPS PVC1,3, 1,3 dB — Ball EPS PVC2,5, -0,5 dB — Ball EPS PVC 4, -0,5 dB

Bild A4.33 ΔL_A Ball – EPS – Teppich (links) und Ball – EPS – PVC (rechts)



— Ball XPS + Lam,
0,3 dB

— Ball XPS + Park,
0,4 dB

— Ball XPS + U+Lam,
-0,2 dB

— Ball XPS + U+Park,
-0,1 dB

— Ball XPS + NF,
-0,5 dB

— Ball XPS + HF,
0,8 dB

— Ball XPS + HF35,
1 dB

Bild A4.34 ΔL_A Ball – XPS – Laminate (links) und Ball – XPS – Teppich (rechts)

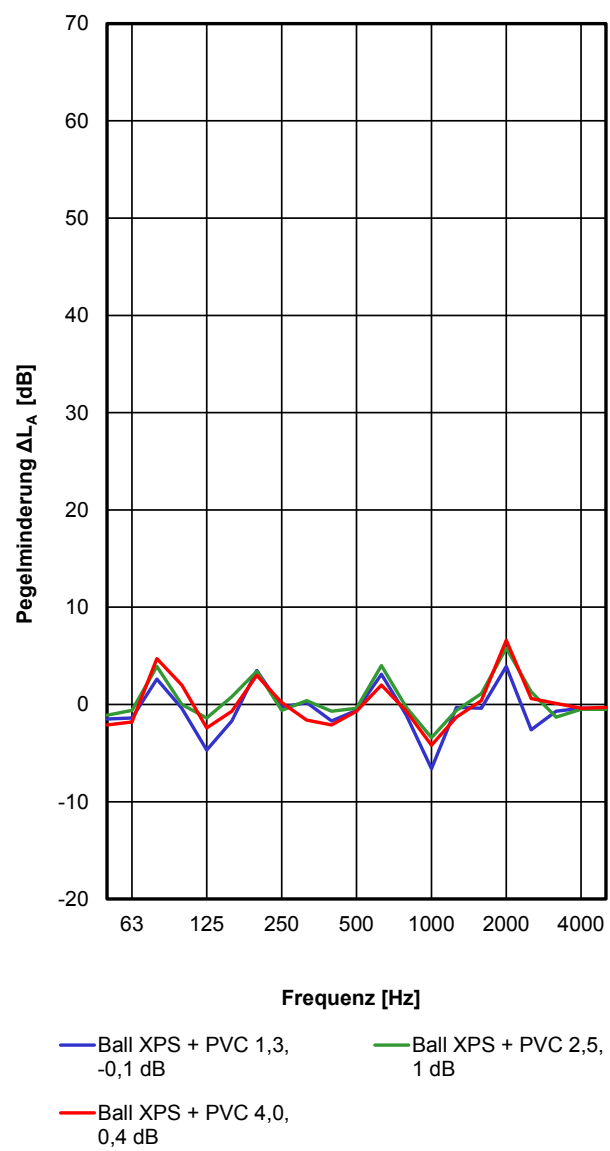
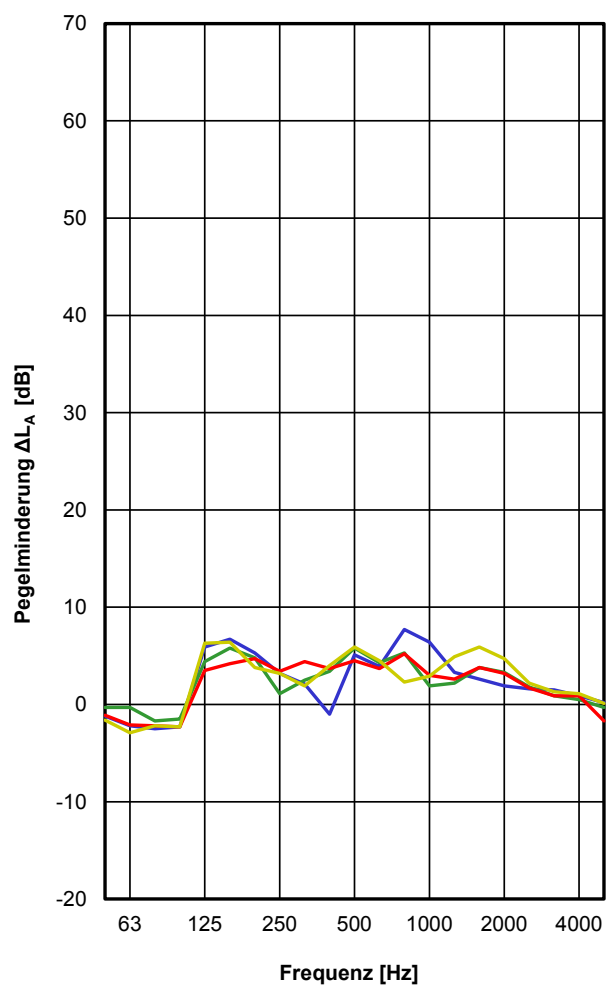
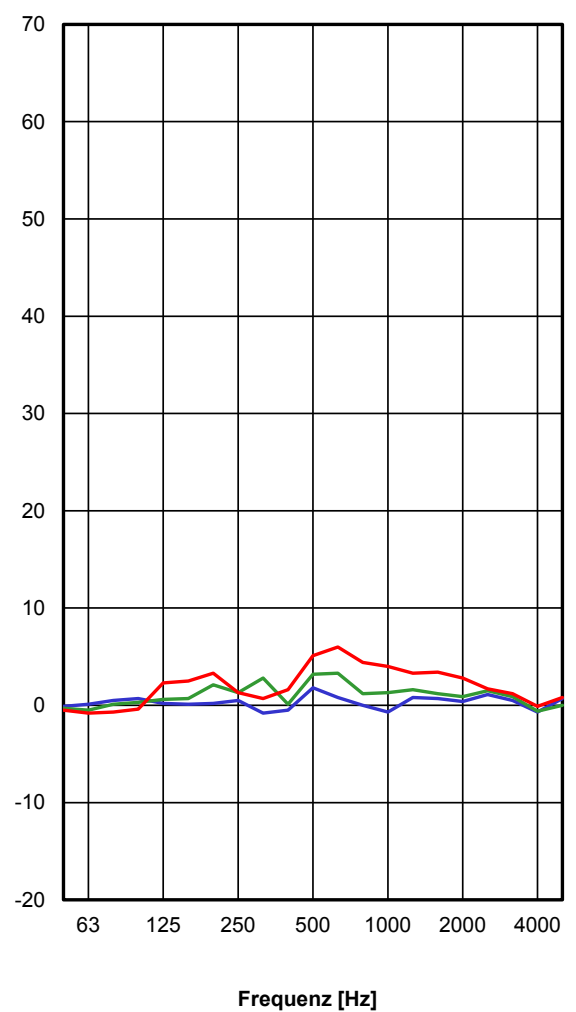


Bild A4.35 ΔL_A Ball – XPS – PVC



— Ball TE + Lam, 5,5 dB
 — Ball TE + U+Lam, 4,9 dB
 — Ball TE + Park, 3,6 dB
 — Ball TE + U+Park, 5,4 dB



— Ball TE + NF, 0,1 dB
 — Ball TE + HF, 0,7 dB
 — Ball TE + HF35, 2,3 dB

Bild A4.36 ΔL_A Ball –TE – Laminate (links) und Ball –TE – Teppiche (rechts)

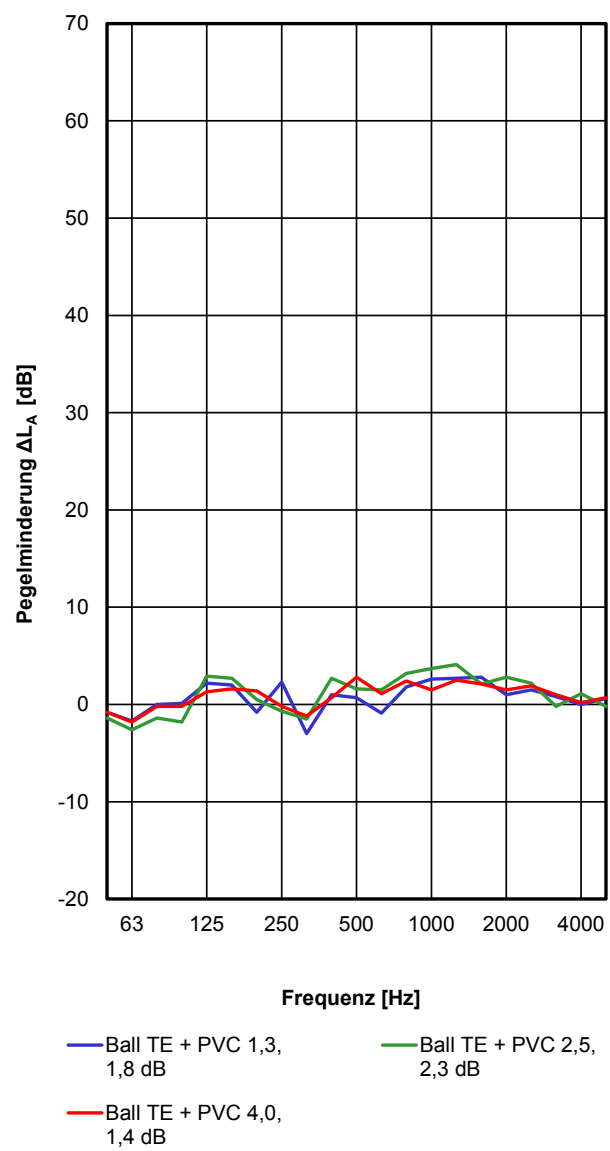


Bild A4.37 ΔL_A Ball – TE – PVC