

Branchenprojekt Schall.Holz.Bau III

Einflussparameter, Lösungsansätze, Prognosemodelle für bauakustisch optimierte Deckensysteme mit hohem Vorfertigungsgrad

Endbericht

Maximilian Neusser, TU Wien, Institut für Werkstofftechnologie,
Bauphysik und Bauökologie

Herbert Müllner, TGM Versuchsanstalt Akustik und Bauphysik

Jörg Koppelhuber, KOPPELHUBER² und Partner ZT OG

Michaela Smertnig, Johannes Zeilinger, ecoplus
Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich

St. Pölten, Oktober 2024

Dieses Projekt wurde aus Mitteln der FFG gefördert.

www.ffg.at

Impressum

Herausgeber:

Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich
ecoplus. Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH
3100 Sankt Pölten, Niederösterreich-Ring 2

Bildquellen: ecoplus, TU Wien, TGM

Haftungsausschluss: Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt, erfolgen jedoch ohne Gewähr. Es wird keine Haftung hinsichtlich Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Informationen (einschließlich des Verweises auf andere Quellen) übernommen. Der Verfasser schließt jegliche Haftung aus.

Copyright: Sämtliche Inhalte, Fotos, Texte und Graphiken sind urheberrechtlich geschützt.

Sämtliche Inhalte dürfen unter Angabe der Quelle kopiert, vervielfältigt und veröffentlicht werden.

Projektwebseite: <https://www.bauakustik-research.at/>

Vorwort

Neue Bauweisen mit hohem Vorfertigungsgrad, steigende akustische Anforderungen und das langfristige Ziel einer kreislauffähigen Bauwirtschaft erfordern ein Umdenken bei Konstruktionen und Prozessen.

Mit dem Branchenprojekt „Schall.Holz.Bau III“ schuf das Projektteam Grundlagen für die Entwicklung von schallschutzoptimierten Deckensystemen, die für den kosten- und bauzeit-effizienten Einsatz im industriellen Hochbau geeignet sind.

Einerseits hat das Konsortium gemeinsam innovative konstruktive Ansätze erarbeitet und diese hinsichtlich ihrer Erfüllung zukünftiger bauakustischer Anforderungen an Deckensysteme (Einflussparameter, Wechselwirkungen u. dgl.) untersucht sowie nach ihren Einsatzmöglichkeiten im industriellen Hochbau bewertet.

Andererseits haben die Wissenschaftspartner bauakustische Prognosemodelle für die aufgezeigten Lösungsansätze im Deckenbauteil entwickelt.

Als Highlights hervorzuheben sind:

- Die wesentlichen Parameter, die einen signifikanten Einfluss auf die bauakustische Leistung von Fußbodenkonstruktionen auf unterschiedlichen Grunddeckensystemen haben, wurden identifiziert – dabei handelt es sich sowohl um konstruktive Parameter als auch solche in Bezug auf Materialität. Zusätzlich wurde die relative Gewichtung dieser Parameter in Bezug auf ihren Einfluss bestimmt. Diese Erkenntnisse werden zukünftig maßgeblich zur Entwicklung hochgradig vorgefertigter trockener Fußbodensysteme beitragen.
- Eine Datenbank mit ca. 400 Messergebnissen mit unterschiedlichen Kombinationen von Fußbodensystemen und Grunddecken wurde aufgebaut und damit ein auf neuronalen Netzen basierendes Planungstool geschaffen, um den Entwicklungsprozess der gefundenen Fußbodenaufbausysteme zu begleiten und zu dokumentieren. Diese steht für weitere zukünftige Entwicklungsarbeit der Branche zur Verfügung.

Ein besonderer Dank gilt dem gesamten Konsortium bestehend aus engagierten Personen aus Wissenschaft und Wirtschaft!

Das Entwickeln kreativer und praktisch umsetzbarer Systemlösungen sowie das Erstellen und Durchführen der für eine valide Aussage erforderlichen Vielzahl an Versuchsaufbauten und Prüfstandversuchen ist nur in einem motivierten und interdisziplinären Team möglich. Clusternetzwerke ermöglichen dies.

Michaela Smertnig

Clustermanagerin ecoplus Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich

Projektteam

Initiator, Koordinator & Förderwerber

ecoplus Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich



Wissenschaftliche Partner

TU Wien,
Institut für Werkstofftechnologie,
Bauphysik und Bauökologie



TGM – Versuchsanstalt Akustik und
Bauphysik



Koppelhuber² und Partner ZT OG



ACOM Research



Unternehmenspartner

Brucha GmbH



Franz Oberndorfer GmbH



Getzner Werkstoffe GmbH



Graf Holztechnik GmbH



James Hardie Austria GmbH



Kaufmann Bausysteme GmbH



Lindner GmbH



MAGK Architekten



MMK Holz-Beton-Verbund Fertigteile GmbH



Peikko Austria GmbH



Rubner Holzbau GmbH



RWT Plus ZT GmbH



Saint Gobain Austria GmbH



Stauss Perlite GmbH



Weitzer Parkett GmbH



Stora Enso Wood Products GmbH



WoodRocks Bau GmbH



Variotherm Heizsysteme GmbH



Abbildung 1: Das Konsortium Schall.Holz.Bau III

Projektlaufzeit

01/2021 – 08/2024

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Projektteam.....	4
Projektlaufzeit.....	6
1. Einleitung und Motivation.....	10
2. Ausgangslage – normativ und technisch.....	10
3. Vorarbeiten.....	14
4. Parameter-Identifikation.....	15
4.1. Versuchsaufbau.....	16
4.2. Aufbaubeschreibung der Rohdecken.....	17
4.3. Parameter.....	19
4.3.1. Estriche.....	19
4.3.2. Lagerung.....	19
4.3.3. Schüttung.....	21
4.3.4. Entkopplung der Schüttung.....	22
4.3.5. Varianten-Matrix.....	24
4.4. Ergebnisse.....	25
4.4.1. Einfluss des Lagerungstyps des Estrichs (flächig, linienförmig, punktförmig)	25
4.4.2. Einfluss des Estrichsystems bei Linien- bzw. Punktlagerung.....	29
4.4.3. Einfluss der Schüttung bei linienförmiger bzw. flächiger Lagerung.....	30
4.4.4. Einfluss der Bindung der Schüttung.....	31
4.4.5. Einfluss der Entkopplung der Schüttung bei linienförmiger bzw. flächiger Lagerung.....	32
4.4.6. Einfluss des Abstandes der Lagerung bei linien- bzw. punktförmiger Lagerung.....	34
4.4.7. Einfluss von Platten bzw. Schüttung als Beschwerung.....	35
4.4.8. Einfluss einer Deckenteilung (mittels DELTABEAM® Verbundträger).....	36
4.4.9. Contourplots zur Veranschaulichung der Zusammenhänge zweier Parameter	38
4.4.10. Parametergewichtung.....	44
4.4.11. Erkenntnisse aus der Parameterstudie.....	45
4.5. Einfluss der Grunddecke.....	46
4.6. Full-Size Prototypen.....	48
4.6.1. Fußbodensystem „Punkt“.....	49
4.6.2. Erkenntnisse.....	57
4.6.3. Fußbodensystem „Linie“.....	57

4.6.4. Erkenntnisse	67
4.7. Gebrauchstauglichkeit	68
4.7.1. Versuchsaufbau	68
4.7.2. Ergebnisse	69
4.8. Modellierung	70
4.8.1. Modellierungsansatz	70
4.8.2. Umsetzung als Webservice	73
5. Empirische Datengewinnung zur Modellvalidierung – Bauweisen, Prototypen und ihre bauakustische Performance.....	75
5.1. Modulbauweise.....	75
5.1.1. Aufbau „Roh-Deckenausbildung – Hohlraum Mineralwolle“ eines Holzbau- Modulsystems	77
5.1.2. Aufbauten von „Roh-Deckenausbildungen“ eines Holzbau-Modulsystems ..	78
5.1.3. Aufbauten von Deckenausbildungen eines Holzbau-Modulsystems mit Trockenestrich.....	80
5.2. Einordnung der Messergebnisse von Decken in Modulbauweise in das Anforderungs-System nach ÖNORM B 8115-5.....	83
5.3. Empirische Bestimmung der Wechselwirkung von mit Prognosemodellansatz optimierten Trockenestrichsystemen auf unterschiedlichen Rohdeckenbauarten in Holzbauweise	85
5.3.1. Empirische Bestimmung der Wechselwirkungen zwischen Estrichsystemen und Rohdeckenbauarten	85
5.3.2. Aufbaubeschreibung der Rohdecken.....	85
5.4. Estrich-Systemvarianten auf Holz-Beton-Verbunddecke	88
5.4.1. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Wanne“	88
5.4.2. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Doppelboden“	90
5.4.3. Estrich-Systemvariante „Linienlagerung“	92
5.4.4. Estrich-Systemvariante „Flächig gelagert“	93
5.5. Estrich-Systemvarianten auf Holzbalken-Rohdecke.....	96
5.5.1. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Wanne“	96
5.5.2. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Doppelboden“	97
5.5.3. Estrich-Systemvariante „Linienlagerung“	99
5.5.4. Estrich-Systemvariante „Flächig gelagert“	100
5.6. Estrich-Systemvarianten auf Brettsper Holz-Rohdecke (CLT)	105
5.6.1. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Wanne“	105
5.6.2. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Doppelboden“	107
5.6.3. Estrich-Systemvariante „Linienlagerung“	108
5.6.4. Estrich-Systemvariante „Flächig gelagert“	110
5.7. Vergleich der Wirkung der einzelnen Systemvarianten auf den unterschiedlichen Rohdecken	114

5.8. Einordnung der Prototypen in das Anforderungs-System nach ÖNORM B 8115-5	119
6. Integrale Systembetrachtung – Bauprozessmanagement	123
6.1. Ziel der integralen Systembetrachtung.....	123
6.2. Workshops zum Bauprozessmanagement.....	123
6.3. Erarbeitung der Themen des Bauprozessmanagements im 1. Forschungsjahr.....	124
6.4. Erarbeitung der Themen des Bauprozessmanagements im 2. Forschungsjahr.....	127
6.5. Erarbeitung der Themen des Bauprozessmanagements im 3. Forschungsjahr.....	128
6.6. Fazit integrale Systembetrachtung – Bauprozessmanagement.....	131
7. Literaturverzeichnis.....	133
8. Abbildungsverzeichnis	137
9. Tabellenverzeichnis	143

1. Einleitung und Motivation

Durch den verstärkten Einsatz von Holzbausystemen im verdichteten Wohnbau steigt stetig der Bedarf an Deckensystemen, die immer höhere Schallschutzniveaus bedienen können. Die gängigen Maßnahmen im Fußbodenaufbau zur Erzielung dieser hohen Schallschutzniveaus (z.B. Nassestrich) erfüllen die Ansprüche an Bauzeit und Vorfertigungsgrad im industriellen Holzbau derzeit nicht.

Das vorliegende Branchenprojekt „Schall.Holz.Bau III“ zielte darauf ab, Grundlagen für die Entwicklung von schallschutzoptimierten Deckensystemen zu schaffen, die für den kosten- und bauzeit-effizienten Einsatz im industriellen Holzbau geeignet sind.

Im Rahmen des Projektes wurden innovative konstruktive Ansätze zur Erfüllung zukünftiger Anforderungen an Deckensysteme aufgezeigt, hinsichtlich ihrer Einflussparameter und deren Wechselwirkungen untersucht sowie darauf basierend nach ihren Einsatzmöglichkeiten im industriellen Holzbau bewertet. Die bauakustische Betrachtung dieser Lösungsansätze erfolgte simultan zur effizienten, wirtschaftlichen und kreislauffähigen Prozessbetrachtung bei Produktion und Einbau dieser Deckensysteme.

Die Entwicklung und Optimierung neuer Bauteile im Holzbau mit dem Fokus auf Schallschutz allein auf Basis von Messungen ist aufgrund fehlender Prognosemodelle ein langwieriger und teurer Prozess. Eine erhebliche Reduzierung dieser Kosten kann erreicht werden, wenn dieser Forschungs- und Entwicklungsprozess durch Prognosemodelle gestützt werden kann.

Ziel des Projektes war daher zudem die Entwicklung von Prognosemodellen für die aufgezeigten Lösungsansätze im Deckenbauteil. Diese sollen die Vorhersage der bauakustischen Performance des Fußbodensystems auf unterschiedlichen Deckenbildnern (= Deckentragwerken) des Holzbaus mit sich ändernden Parametern in Entwicklungsprozessen ermöglichen.

Die mit diesem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse und Prognosemodelle versetzen die Branche in die Lage, Fußbodensysteme im Rahmen von an das Projekt anschließenden Prozessen zu einem Produkt innerhalb ihres Bausystems zu entwickeln und zu optimieren bzw. bestehende Produkte zu optimieren.

2. Ausgangslage – normativ und technisch

In den letzten Jahren findet der Holzrahmen- und Holzmassivbau neben der Fertigung von Einfamilienhäusern vermehrt auch in der Konzeption von Mehrfamilienhäusern seine Anwendung. In einer Studie [1], die bestimmte Holzbauprojekte in Deutschland, Schweden, Großbritannien, Schweiz, Italien, Österreich, Canada und Australien im Hinblick auf mehrere Aspekte hin untersuchte, wird betont, dass die bauweisebedingten schallschutztechnischen Nachteile auch in der Qualitätswahrnehmung des Holzbaus eine große Rolle spielen [2]. Eine maßgebliche Rolle spielt dabei die Qualität des Trittschallschutzes [3].

Bauteile in Holzbauweise weisen im tiefen Frequenzbereich ungünstige Schalldämmwerte auf. Der für den Holzbau sensible Frequenzbereich wird im Rahmen des obligatorisch anzuwendenden bauakustischen Anforderungssystems bis heute in Österreich nicht berücksichtigt. Bis 2000 galten die in Österreich angewendeten Schallschutzanforderungen als die strengsten in Europa [4, 5]. Die Anforderungswerte wurden dafür im Rahmen einer in den 1970er Jahren sehr breit angelegten Studie ermittelt [6]. Eine Vielfalt an unterschiedlichen Bauweisen mit ihren unterschiedlichen und spezifischen bauakustischen Verhaltensweisen war damals noch nicht gegeben. Erst mit der steigenden Anzahl von Gebäuden in Holz- und Holzrahmenbauweise sind auch deren bauakustischen Besonderheiten in den Fokus gerückt worden. Die Schallschutzqualität wird nicht in dem Ausmaß erlebt, als dies ein Einhalten der geforderten Schallschutzgrenzwerte erwarten ließe [7, 8, 9].

Bis Mitte der 1990er Jahre waren keine Kennwerte verfügbar, die den bauakustischen Frequenzbereich unter 100 Hz mitberücksichtigen hätten können. Mit der Einführung des Spektrum-Anpassungswertes $C_{l,50-2500}$ besteht nun die Möglichkeit, in Kombination mit dem klassischen Kennwert, dem Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ bzw. dem Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$, die trittschalldämmtechnische Leistungsfähigkeit von Decken auch im tiefen Frequenzbereich abzubilden.

Zahlreiche Studien zeigen, dass mit der Anwendung der Einzahlkombinationen $L_{n,w} + C_{l,50}$ bzw. $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ der tatsächlich subjektiv erlebte bauakustische Komfort im Hinblick auf den Trittschallschutz nachweislich deutlich besser beschrieben werden kann [10, 11, 12, 13]. Anhand dieser Erkenntnisse lassen sich Werteausprägungen ermitteln, die als Basiskennwerte für unterschiedliche Komfortklassen herangezogen werden könnten [10, 11].

Im Rahmen der COST Action FP0702 „Net-Acoustics for Timber based Lightweight Buildings and Elements“ (abgeschlossen 2012) [14] wurde einhellig festgestellt, dass der Frequenzbereich unter 100 Hz in den Anforderungen an den Schallschutz berücksichtigt werden muss, um dem geforderten Komfort in Gebäuden in Holz- bzw. Holzrahmenbauweise wahrnehmungsgerechte Werteausprägungen zuweisen zu können. Im Zuge der Aktivitäten der COST Action TU901 „Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions“ (abgeschlossen 2013) [15] wurden Möglichkeiten bezüglich einer europäischen Harmonisierung der bauakustischen Kennwerte und der Vorschlag eines Komfortklassensystems erarbeitet.

In Schweden ist seit 1999 der tiefe Frequenzbereich obligatorisch im Rahmen der Schallschutzanforderungen mit zu berücksichtigen. Eines der Argumente dafür war, dass eine Weiterentwicklung und ein sicheres Wachstum der Realisierung von Mehrfamilienhäusern in Holz- bzw. Holzrahmenbauweise künftig möglich sein sollte [16]. Alle anderen nordischen Länder sind diesem Beispiel zumindest mit Empfehlungen gefolgt [17]. In Österreich ist 2012 mit ÖNORM B 8115-5 [18] ein Schallschutzklassensystem auf freiwilliger Basis herausgegeben worden, das für die höchste Schallschutzklasse bezüglich Trittschall die Berücksichtigung des tiefen Frequenzbereiches ermöglicht.

Um mit Bauteilen in Holz- und Holzrahmenbau höhere Komfortklassen im Sinne der oben angeführten Anforderungssysteme erfüllen zu können, muss im Detailaufbau die

schall-dämmtechnische Besonderheit dieser Bauteile berücksichtigt werden. Der dafür notwendige Aufwand steht dabei in einem leistbaren Verhältnis zu den erzielbaren Ergebnissen [19, 20, 21]. Auf die Ausbildung und auf die Ausführungsqualität der Konstruktionsdetails ist allerdings zu achten.

Um adäquate Komfortklassen erfüllen zu können, gab es bisher kaum Alternativen als auf Estrichausführungen zurückzugreifen, wie sie im klassischen mineralischen Massivbau gängige Praxis sind (nasse mineralische Estriche, z.B. Zementestrich). Diese Fußbodenart erweist sich zwar als kostengünstig im Herstellungs- und Einbringungsprozess, aber ungünstig hinsichtlich Bauzeit – es resultiert eine Verzögerung durch die erforderliche Trocknungszeit bei Zementestrichen – und hinsichtlich des für die (eigentlich trockene Holz-) Bauweise widersprüchlichen Eintrags von Feuchtigkeit in die umliegende Holz- und Trockenbau-Konstruktion durch die Art der Herstellung (Nass-Einbringung). Alternativen in klassischer Trockenestrichbauweise mit gleicher trittschalldämmtechnischer Leistungsfähigkeit standen bis zur Projektinitiative nicht zur Verfügung. Es bestand daher die Notwendigkeit, das Potential von den eingesetzten Trockenestrichkomponenten mit modernen Messmethoden zu erheben, um sie optimal in derartigen Elementen umsetzen zu können, wie dies auch in Ansätzen in Zusammenhang mit den im Holzrahmenbau eingesetzten abgehängten Unterdecken weitgehend erfolgreich versucht wurde [19].

Im Planungsprozess der Bauteile konnte die Branche bisher nicht auf verlässliche Modelle zurückgegriffen werden. In der angewendeten Planungspraxis wird sehr häufig auf eine Art von „Versuch- und Irrtum-Methode“ zurückgegriffen. Kostenvorteile können sich nach dieser Methode nicht entwickeln, da entweder durch Überdimensionierungen oder durch späteren Sanierungsbedarf erhebliche Kosten entstehen. Die beiden Nachteile fördern nicht das Image des Holzbaus, weder bei den Bewohnerinnen und Bewohnern noch bei den Bauauftraggebenden.

Oft passen die Details der Bauteile und Systeme aus den inzwischen online für die Branche verfügbaren Datenkatalogen für den Holzbau nicht zu den firmenspezifischen Ausführungen der Holzunternehmen. Kennwerte von ähnlichen Konstruktionen können nur bedingt übernommen oder zum Vergleich herangezogen werden, da damit wesentliche Risiken verbunden sind. Um effektiver effiziente Lösungen in der Planung erproben zu können, sind verlässliche Prognosemodelle für einen modernen Holzbau unverzichtbar.

Die Prognose der Trittschallminderung von Fußbodenkonstruktionen auf Holzdecken ist ein komplexes und intensiv bearbeitetes Forschungsgebiet in der Bauakustik. [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29]. Derzeit bestehende europäische Deckensysteme umfassen in ihrer Konstruktionsvielfalt eine große Anzahl an Parametern und Variablen. Ebenso bietet der Markt für die eingesetzten Baumaterialien eine große Anzahl an verschiedenen Lösungen. Der überwiegende Anteil der bisher durchgeführten Forschungsarbeiten versuchte das Gesamtsystem Gebäudetrenndecke in einem Bottom-Up-Prozess zu modellieren, daher resultieren vieler dieser Modellierungsansätze in hochkomplexen Modellen, die einen hohen Spezialisierungsgrad auf den jeweiligen untersuchten Deckensystem besitzt. [30, 31, 32] Die drei hauptsächlich dabei angewandten Methoden, um frequenzabhängige

Prognosen des Trittschalldämmmaßes von Trenndecken zu prognostizieren, sind bisher

- die Statistische Energie Analyse (SEA) [22, 33],
- die Finite Elemente Methode (FEM) [30, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41],
- Analytische Modelle [42, 43, 44] und vereinfachte Lösungsansätze [45, 46, 47, 48], die stets nur für bestimmte Kombinationen von Fußbodenkonstruktion und Deckenbildner valide sind.

Die erste Methode besteht darin, eine Lösung mittels eines energiedurchschnittlichen Ansatzes herbeizuführen, so wie es in der Statistischen Energie Analyse (SEA) erfolgt. Diese z.B. in [33] beschriebene Art des Modellansatzes ergibt ein globales Ergebnis mit geringen Rechenkosten. Die Modellierung beginnt durch die Aufteilung des Systems in Subsysteme, die durch die Art der Schwingungswellen gekennzeichnet sind, die sich innerhalb der zugehörigen Subdomäne ausbreiten. Die SEA-Methode bestimmt die Höhe der Schwingungsenergie, die in den lokalen Modi der verschiedenen schwach gekoppelten Teilsysteme (Subdomänen) gespeichert ist, die durch signifikant reflektierende Grenzen voneinander getrennt sind.

Die Übertragung dieser Schwingungsenergie zwischen den einzelnen Teilsystemen wird über Kopplungsverlustfaktoren (CLF) beschrieben. Die SEA selbst bietet keine Möglichkeit diese CLF zu berechnen [40]. Ergänzend benötigt es daher immer Berechnungsmodelle (z.B. analytische Beschreibungen) simpler Kopplungen [33] oder Messungen zur Bestimmung dieser frequenzabhängigen CLF. Dadurch zeigen sich neben den notwendigen Vereinfachungen und Annahmen (z.B. Diffusität der Schallfelder), die die SEA in tiefen Frequenzen stark in ihrer Aussagekraft beeinträchtigen, weitere Nachteile. Details und komplexe Bodenkonfigurationen können nicht leicht abgebildet werden. Dadurch sind die konkreten Systeme nur mit geringen Parametervariationen und geringem Detailgrad abbildbar [28].

Die Finite Elemente Methode (FEM) basiert auf einem deterministischen Ansatz für die Lösung der vibro-akustischen Problemstellung eines körperschallangeregten Deckensystems, das Schallenergie in ein gekoppeltes Luftvolumen abstrahlt. Hierzu werden z.B. sowohl die Helmholtz-Gleichung für Schallausbreitung und Schallabstrahlung im Fluid als auch die Strukturmechanik numerisch für das Deckensystem und das umgebende Luftmedium gelöst. Die tatsächliche Geometrie der Komponenten des Bauteils und die unterschiedlichen Verbindungsmittel dieser können dabei berücksichtigt werden. Die FEM kann daher für komplexe Geometrien eingesetzt werden und benötigt keine Vereinfachungen, was zu Modellen führt, die analytisch oder mit anderen Methoden sonst nicht gelöst werden können.

Erfolgreich haben unterschiedliche Forschungsarbeiten gezeigt, dass mittels FEM valide Prognosen der Trittschalldämmung von Holzdecken möglich sind. Diese Modelle sind allerdings hoch spezialisiert und erfordern in der Regel eine Neumodellierung bei groben Änderungen des Konstruktionsprinzips des Deckensystems. Eine besondere Herausforderung stellt die Modellierung der Anregung der Decke durch das Hammerwerk in der Frequenzdomäne dar [32, 35]. Nachteilig sind ebenso die durch die notwendige feingliedrige Diskretisierung der Fluid- und Strukturdomänen langen Berechnungszeiten [49] und die Komplexität der

Anwendung [29] zu nennen. All diese Umstände führen zu einer geringen Verbreitung der FEM in den Planungsprozessen des Bauwesens.

Der dritte Weg zur Lösung des Problems umfasst alle vereinfachten Methoden, die für bestimmte Kombinationen von Eigenschaften und Geometrie der Fußbodenkonstruktion und des Deckenbildners entwickelt wurden. Diese Modelle bieten eine in der Regel schnelle Berechnungszeit und einfache Anwendbarkeit durch den Nutzenden [45]. Nachteilig ist ihr hoher Spezialisierungsgrad und die damit verbundene eingeschränkte Anwendbarkeit bei großen Abweichungen in Geometrie oder Konstruktion. Beispiel für diese simplen Modelle ist das in [50] dargestellte Berechnungsmodell der Trittschallminderungen von „schwimmenden Estrichen“.

Dieses Verfahren stellt die gängige Praxis zur Bestimmung der Trittschalldämmung des geplanten Deckenaufbaus dar. Es wird anhand der zu erwartenden Resonanzfrequenz der aufgebrachten Fußbodenkonstruktion ein Wert für die „Trittschallminderung“ gemäß [50] oder [51] abgeschätzt und zur Einzahlangabe der Trittschalldämmung des Deckenbildners addiert. Dieses Verfahren basiert auf dem Ansatz eines Einmassenschwingers (z.B. Estrich), welcher mit einer Feder (z.B. Trittschalldämmplatte) mit dem Deckenbildner verbunden ist. Aufgrund der Abweichung zu den im vorliegenden Projekt verfolgten Lösungsansätze kann dieses Verfahren keine zufriedenstellende Genauigkeit aufweisen. Ebenso zeigt die Literatur [22, 42], dass dieser simple Modellierungsansatz aufgrund der Interaktion zwischen Deckenbildner und Fußbodenkonstruktion sowie des sich gegenseitig beeinflussenden Schwingungsverhaltens gerade im Bereich des Holzbaus nicht pauschal für alle Deckenbildner valide ist. Es benötigt daher Ansätze für Gruppen von Deckenbildnern in Kombination mit einem Fußbodenaufbau [29, 52].

3. Vorarbeiten

Das bauakustische Potential von großflächigen Fertigteil-Estrichen wurde in einer Vorarbeit zum vorliegenden Projekt untersucht, ausgehend von Festlegungen, die in Sondierungsworkshops zu diesem Projekt gemeinsam mit Branchenvertretern getroffen wurden. Ziel war das Potenzial von Fertigteil-Estrichen grob zu prüfen. Dabei wurden zwei Varianten eines Fertigteil-Estriches in Form von simplifizierten Prototypen auf einer Holzbalkendecke hinsichtlich ihrer frequenzabhängigen Trittschallminderung analysiert. Die Ergebnisse zeigten in Abhängigkeit der Materialeigenschaften des Estrichs und der Lagerung ein großes Potential gegenüber konventionellen Nass- und Trockenestrichsystemen.

4. Parameter-Identifikation

Der vorliegende Bericht beschreibt die Entwicklung schallschutzoptimierter Deckensysteme im Rahmen des Projekts „Schall.Holz.Bau III“, dessen Ziel es war, Lösungen für den effizienten und kostengünstigen Einsatz solcher Systeme im industriellen Holzbau zu entwickeln. Im Fokus standen dabei die Trittschallschutzanforderungen von Holzdeckensystemen und die Optimierung der bauakustischen Eigenschaften durch innovative konstruktive Ansätze. Diese wurden hinsichtlich ihrer Einflussparameter und Wechselwirkungen analysiert, um ihre Eignung für den praktischen Einsatz im Holzbau zu bewerten. Die Untersuchung zielte darauf ab, Lösungen zu schaffen, die sowohl die Anforderungen an den Trittschallschutz als auch an eine hohe Vorfertigung und Prozessoptimierung erfüllen.

Die entwickelten Lösungsansätze wurden daraufhin umfassend untersucht, um eine Trittschalldämmung zu erreichen, die sowohl den Schallschutz-Komfortklassen nach ÖNORM B 8115-5 als auch den Erfordernissen eines hohen Vorfertigungsgrads im Holzbau gerecht wird. Das Projektteam arbeitete eng mit Branchenvertretern zusammen, um praxismgerechte Lösungen zu entwickeln, die bautechnische und akustische Anforderungen gleichermaßen erfüllen. Eine wesentliche Aufgabe war es, Prognosemodelle für diese Lösungen zu entwickeln, um künftige Weiterentwicklungen im Bereich des Holzbaus effizient unterstützen zu können.

Im Rahmen der Vorversuche wurden Deckensysteme in Klein- und Großformat untersucht, um den Trittschallpegel unter variierenden Parametern zu messen. Zu den analysierten Konstruktionsparametern gehörten das Flächengewicht des Estrichs, die Materialität und die dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung, die Art der Lagerung des Estrichs sowie das Flächengewicht und die Materialität der Schüttung. Zudem wurde der Einfluss einer Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung untersucht. Diese Parameter wurden in verschiedenen Konfigurationen getestet, um ihre Bedeutung für den Trittschallschutz systematisch zu bewerten. Die Messungen orientierten sich dabei an den Vorgaben der ÖNORM EN ISO 10140, die als Standard für die Bestimmung der Trittschalldämmung von Fußbodenkonstruktionen gilt.

Ziel der Vorversuche war es, die wichtigsten Einflussfaktoren zu identifizieren und ihre Relevanz für die Trittschalldämmung der untersuchten Deckensysteme zu bestimmen. Die gewonnenen Daten bildeten die Grundlage für die Entwicklung eines Prognosemodells, das auf neuronalen Netzwerken basiert und in der Softwareumgebung „Matlab 2023b“ implementiert wurde. Das Modell wurde so entwickelt, dass es den Trittschallpegel für eine Vielzahl von Konstruktionen – einschließlich Trockenestrichbauweisen auf Holzbetonverbund-, Holzbalken- sowie Brettstapel- und Brettsperrholzdecken – vorhersagen kann.

Die Modellierungsprozesse umfassten die Erfassung und Vorverarbeitung der relevanten Parameterdaten, die Entwicklung der Modellarchitektur, das Training des neuronalen Netzwerks sowie dessen Validierung und Optimierung. Zunächst wurden die Messdaten aus den Vorversuchen aufbereitet, um sie für das Training des Netzwerks nutzbar zu machen. Im nächsten Schritt wurde eine Netzwerkarchitektur entwickelt, die in der Lage ist, die komplexen Zusammenhänge zwischen den Konstruktionsparametern und der Trittschalldämmwirkung abzubilden. Das

Modelltraining erfolgte auf der Basis der Messdaten, wobei es in Trainings-, Test- und Validierungsdatensätze aufgeteilt wurde. Durch die Optimierung der Netzwerkparameter wurde sichergestellt, dass das Modell eine hohe Vorhersagegenauigkeit und Generalisierungsfähigkeit erreicht.

Das fertige Modell ermöglicht es nun, die Trittschalldämmwirkung von Trockenestrichbauweisen auf verschiedenen Holzrohdecken präzise zu prognostizieren. Dank der kontinuierlichen Optimierung kann es flexibel an unterschiedliche Bauweisen angepasst werden, was das Potenzial für zukünftige Entwicklungen im Bereich des Trittschallschutzes im Holzbau maximiert. Dieses Modell dient somit als leistungsfähiges Werkzeug zur Unterstützung der Weiterentwicklung schallschutzoptimierter Deckensysteme und bietet eine wertvolle Grundlage für die Prognose der akustischen Performance zukünftiger Bauteilentwicklungen.

4.1. Versuchsaufbau

Im Rahmen des Projekts wurde ein Versuchsstand aus Brettstapelholz-Bauteilen an der TU Wien errichtet (siehe Abbildung 2), der den Anforderungen der Normenreihe der ÖNORM EN ISO 10140 entspricht. Dieser Versuchsaufbau diente der Bestimmung des Norm-Trittschallpegels der untersuchten Deckensysteme mit den variierenden Fußbodenaufbauten. Eine wesentliche Herausforderung bei der Trittschallmessung ist die Vermeidung von Flankenübertragungen, die zu verfälschten Ergebnissen führen können. Um dies zu verhindern, wurde der Versuchsstand so konzipiert, dass die Flankenübertragung unterdrückt wird. Dies wurde durch eine freistehende Vorsatzschale und die Entkopplung der Decke mittels Elastomerauflager gewährleistet.

Die Anregung des Systems erfolgte durch ein normgerechtes Hammerwerk, das eine standardisierte Anregung auf die Deckenkonstruktion ausübt. Diese Methode stellt sicher, dass die Anregung den Anforderungen der Norm entspricht und reproduzierbare Ergebnisse liefert. Die Messung der resultierenden Schalldruckpegel wurde an acht statischen Mikrofonpositionen durchgeführt, die gleichmäßig im Empfangsraum verteilt waren. Diese Mikrofonpositionen ermöglichten es, ein umfassendes akustisches Bild der Trittschallübertragung zu erfassen und die akustischen Eigenschaften des Systems detailliert zu analysieren.



Abbildung 2: Versuchsstand an der TU Wien zur Messung des Trittschallpegels verschiedener Fußbodenkonstruktionen auf einer Brettsperrholzdecke. Der Aufbau dient der Untersuchung und Bewertung der Schallisolations- und Trittschalleigenschaften unterschiedlicher Fußbodensysteme unter kontrollierten Laborbedingungen.

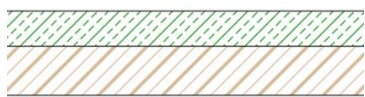
Durch diese Versuchsanordnung war es möglich, die Trittschalldämmung der verschiedenen untersuchten Fußbodenkonstruktionen unter kontrollierten Bedingungen zu bestimmen und gleichzeitig die Einflüsse der Konstruktionsparameter präzise zu isolieren und zu bewerten.

4.2. Aufbaubeschreibung der Rohdecken

Die Versuche wurden auf zwei verschiedenen Rohdeckenarten durchgeführt, die für die Untersuchung der Trittschallpegel ausgewählt wurden: eine Holz-Beton-Verbunddecke (HBV-Decke) und eine Brettstapeldecke (BSP).

- Die Holz-Beton-Verbunddecke bestand aus einer 100 mm dicken Betonschicht, die auf einer 140 mm starken Brettsperrholzschicht aufgebracht war. Für die Versuche wurde zusätzlich eine Variante dieser Deckenkonstruktion getestet, bei der ein deckenebener Unterzug eingebaut wurde. Diese Variante ermöglichte die Untersuchung der Auswirkungen eines zusätzlichen strukturellen Elements auf die Trittschallübertragung. Die Messungen wurden sowohl für die ursprüngliche als auch für die modifizierte Version der HBV-Decke durchgeführt, um die Unterschiede in der Fußbodenakustik zu bewerten.
- Die Brettstapeldecke bestand vollständig aus 140 mm dickem Brettstapelmaterial. Diese Konstruktion repräsentiert eine typische Holzbauweise ohne zusätzliche Betonierung, was einen direkten Vergleich der Trittschalleigenschaften zwischen Holz-Beton-Verbunddecken und reinen Holzdecken ermöglichte. Abbildung 3 zeigt die Aufbauten und Schichtstärken der untersuchten Grunddeckenkonstruktionen.

Holzbeton-Verbunddecke - HBV



FERTIGBETON verschraubt	100 mm
CLT	140 mm
$m' = 318 \text{ kg/m}^2$	-----
	240 mm

Brettstapeldecke - BSP



Brettstapeldecke	140 mm
$m' = 60 \text{ kg/m}^2$	

Abbildung 3: Schnittdarstellung der untersuchten Grunddeckensysteme als Brettstapeldecke und Holzbetonverbunddecke

Abbildung 4 zeigt den Vergleich der gemessenen Norm-Trittschallpegel der verwendeten Grunddeckensysteme. Die Abbildung verdeutlicht, dass sich der frequenzabhängige Trittschallpegel der verschiedenen Deckensysteme erheblich unterscheidet, insbesondere im niedrigen Frequenzbereich. Diese Unterschiede sind hauptsächlich auf die variierenden Flächengewichte und die unterschiedlichen Steifigkeiten der Systeme zurückzuführen. Bei Frequenzen ab etwa 2000 Hz gleichen sich die Trittschallpegel der getesteten Deckensysteme weitgehend an. Insgesamt ergibt sich ein Unterschied von etwa 7 dB im einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel der verschiedenen Deckenkonstruktionen.

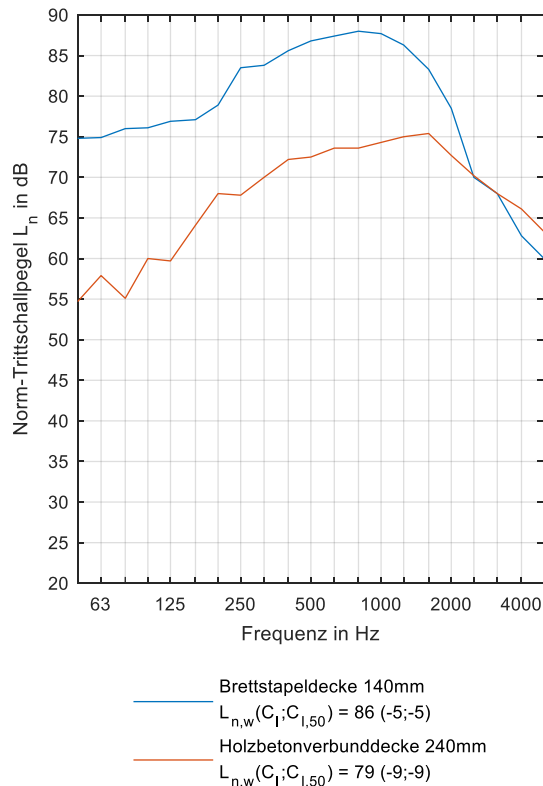


Abbildung 4: Frequenzabhängige Darstellung des gemessenen Norm-Trittschallpegels für Grunddecken in Holz-Beton-Verbundbauweise (HBV) und Brettstapelbauweise (BSP).

4.3. Parameter

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Parameter beschrieben, die im Rahmen der Untersuchungen zur Trittschallübertragung variiert wurden. Diese Parameter sind entscheidend für das Verständnis der Einflussfaktoren auf die Trittschallpegel und die Entwicklung der Prognosemodelle. Es werden die spezifischen Variationen und die Art der untersuchten Parameter erläutert, um einen Überblick über deren Auswirkungen auf die Schallschutzleistung der Deckensysteme zu geben. Ziel ist es, die Variabilität und Relevanz jedes Parameters zu verstehen und deren Beitrag zur Gesamtbewertung der Trittschallwirkung zu analysieren.

4.3.1. Estriche

Für die Estrichelemente wurden verschiedene Platten vorgefertigt. Die Zementestrich-Varianten wurden auf eine 3 mm dicke Stahlplatte gegossen, um eine einfache Handhabung mit einem Kran zu ermöglichen. Die Trockenestrich-Variante wurde auf einer Dreischichtplatte aufgebaut, um ein Brechen des Estrichs während des Transports und der Handhabung zu verhindern. Tabelle 1 zeigt die unterschiedlichen Varianten und dessen Abkürzungen in den Ergebnisbeschreibungen.

Tabelle 1: Übersicht der unterschiedlichen Estrichvariationen und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden

Abkürzung	Beschreibung
40 mm ZE	40 mm Zementestrich
100 mm ZE	100 mm Zementestrich
20 mm GFP + 19 mm 3S	Sandwichplatte bestehend aus 2x10 mm Gipsfaserplatten und einer 19 mm Dreischichtplatte aus Holz

4.3.2. Lagerung

Für die Lagerung des Estrichs auf den Grunddecken bzw. den Schüttungen wurden verschiedene Systeme eingesetzt. Es kamen sowohl punkt-, linien- als auch flächige Lagerungen zum Einsatz. Die Punkt- und Linienlagerungen wurden mithilfe von geschäumten Polyurethan-Pads oder -Streifen mit unterschiedlichen Steifigkeiten und Dicken (6, 12, 25 mm) realisiert. Für die flächigen Lagerungen wurden herkömmliche Trittschalldämmplatten aus Mineralwolle und Steinwolle in verschiedenen Dicken (12 – 60 mm) verwendet. Diese Variationen ermöglichten eine umfassende Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Trittschalldämmung.

Tabelle 2: Übersicht der unterschiedlichen Variationen der Lagerung (Trittschalldämmung) des Estrichs und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden

Typ	Lagerabstand in mm	Lagerdicke in mm	Material Abkürzung	Beschreibung Material
Linie, Punkt	312.5, 625, 1250	12.5, 25	SR18	Polyurethan
Linie	312.5, 625, 1250	12.5	SR11	Polyurethan
Linie, Punkt	625, 1250	12.5	SR28	Polyurethan
Fläche	-	30, 60	SW	Steinwolle
Fläche	-	30	MW	Minerwolle (Glaswolle)
Fläche	-	11	AFM29	Polyurethan (flächig)
Fläche	-	16	AFM35	Polyurethan (flächig)
Fläche	-	10	AFM26	Polyurethan und Korkgranulat (flächig)
Punkt	1250	12.5	SR110	Polyurethan
Punkt	625	12.5	SR55	Polyurethan

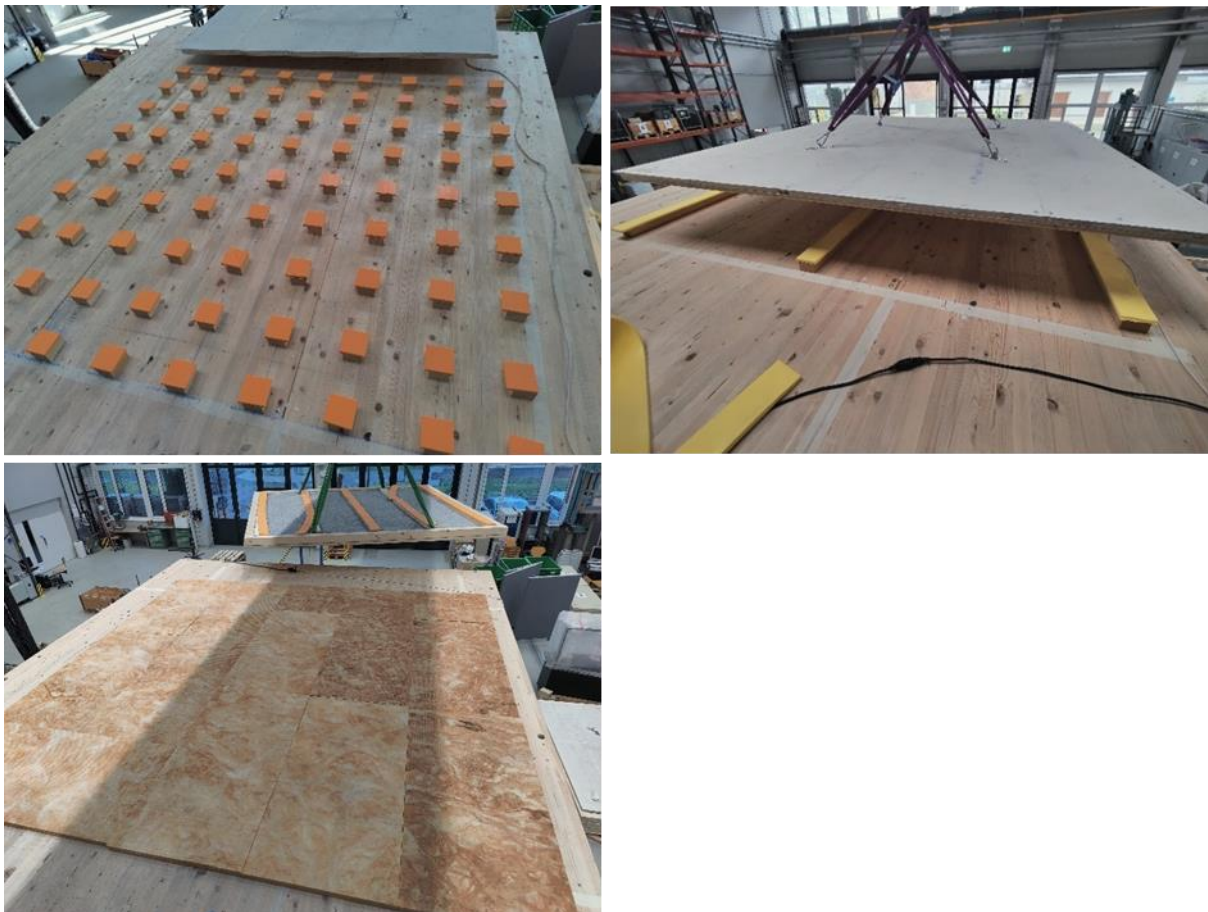


Abbildung 5: Darstellung der Lagerungssituationen der Estriche. Oben links ist die punktuelle Lagerung dargestellt, bei der der Estrich auf punktuellen Stützpunkten liegt. Oben rechts zeigt die linienförmige Lagerung, bei der der Estrich entlang von Linien gestützt wird. Unten links ist die flächige Lagerung zu sehen, bei der der Estrich über eine größere Fläche aufliegt.

4.3.3. Schüttung

Als Schüttung kamen verschiedene Materialien und Schüttungshöhen zum Einsatz. Die Schüttungen wurden in Wannen mit den Maßen 2,5 m x 2,5 m und einem Boden aus 19 mm Dreischichtplatten eingebracht. Diese Konstruktion ermöglichte das einfache Verheben der Schüttungsebenen und damit eine effiziente Variation der unterschiedlichen Fußbodenkonstruktionen. Die einzelnen Varianten der Schüttungen sind in Tabelle 3 dargestellt. Abbildung 5 zeigt die verschiedenen Schüttungen in den Wannen, die zur flexiblen Manipulation der Versuchsaufbauten verwendet wurden.

Tabelle 3: Übersicht der Schüttungsmaterialien und -dicken und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden.

Schüttungshöhe in mm	Schüttungs-material
keine	keine
60	Beton Granulat
80	Kies
70	Perlit
70	Platten
80	Kies gebunden

Abbildung 6 veranschaulicht die verschiedenen, in den Experimenten eingesetzten Schüttungsvarianten und präsentiert diese in unterschiedlichen Installationsszenarien. Sie bietet einen detaillierten Überblick über die unterschiedlichen Materialien und Schichtdicken der Schüttungen



Abbildung 6: Darstellung der unterschiedlichen Schüttungsmaterialien (links) und der verwendeten Betonplatten (25 cm x 25 cm x 7 cm) als Alternative zur Deckenbeschwerung (rechts).

4.3.4. Entkopplung der Schüttung

Zusätzlich zur elastischen Zwischenschicht zwischen Estrich und Schüttung wurde auch der Einfluss einer weiteren Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung untersucht, um die Trittschallübertragung weiter zu reduzieren und die akustische Entkopplung der Konstruktion zu optimieren. In den Versuchen kamen zwei unterschiedliche Entkopplungstechniken zum Einsatz:

- klassische Trittschalldämmplatten aus Mineralfaser, die eine flächige Entkopplungsebene bildeten, sowie
- geschäumte Polyurethane, die als punktuelle Entkopplungselemente eingesetzt wurden.

Diese beiden Materialien boten verschiedene Ansätze zur Schallentkopplung und ermöglichten eine differenzierte Betrachtung der Trittschalldämmwirkung in unterschiedlichen Konstruktionsaufbauten.

Neben der Wahl der Entkopplungsmaterialien spielte auch die Variation der Schichtdicke eine zentrale Rolle. Die untersuchten Dicken reichten von 12,5 mm bis 60 mm, wodurch der Einfluss der Materialstärke auf die Trittschallminderung analysiert werden konnte. Diese umfassende Untersuchung ermöglichte es, den optimalen Aufbau für maximale Trittschalldämmung zu identifizieren. Eine detaillierte Übersicht der untersuchten Varianten der Entkopplungsebenen, einschließlich Materialtypen und Schichtdicken, ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Übersicht der Materialien und -dicken als zusätzliche Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden.

Dicke in mm	Material	Beschreibung
keine	keine	Keine zusätzliche Entkopplungsebene
25	SR55	Polyurethan
25	NB	Polyurethan
25	SR28	Polyurethan
30	MW	Mineralwolle (Glaswolle)
30, 60	SW	Steinwolle
12.5	NE	Polyurethan
25	NB	Polyurethan

Abbildung 7 und Abbildung 8 veranschaulichen die verschiedenen Entkopplungsvarianten, die unterhalb der Schüttungsebene eingesetzt wurden, und präsentieren diese in unterschiedlichen Installationsszenarien. Sie bieten einen detaillierten Überblick über die unterschiedlichen Materialien und Schichtdicken.

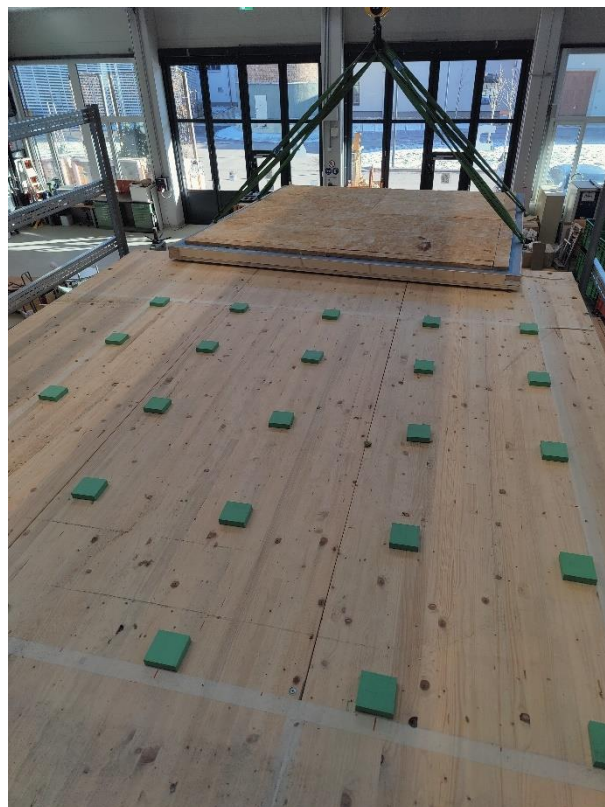


Abbildung 7: Darstellung der punktförmigen Entkopplung unterhalb der Schüttung mittels geschäumter Polyurethanpads (10 cm x 10 cm)



Abbildung 8: Darstellung der flächigen Entkopplung unterhalb der Schüttung mittels Trittschalldämmplatten (30 mm) aus Glaswolle und der darauf gelagerten Schüttung mit Trittschalldämmplatte aus Steinwolle (60 mm)

4.3.5. Varianten-Matrix

Tabelle 5 bietet eine umfassende Übersicht über alle untersuchten Parameter und ihre Varianten. Insgesamt wurden 311 verschiedene Kombinationen von Parametern und Materialien aufgebaut und deren Trittschallpegel auf der Brettstapeldecke, wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, gemessen. Diese umfangreiche Datenerhebung ermöglichte es, einen ausreichend großen Datensatz für die Erstellung empirischer Modelle zu generieren. Durch die Analyse dieser Daten konnte der Einfluss der einzelnen Parameter auf den Trittschallpegel des Deckensystems präzise quantifiziert werden. Zudem ermöglichte die Untersuchung die Bestimmung der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Parametern und deren Auswirkungen auf den Trittschallpegel des Deckensystems, wodurch ein tieferes Verständnis für die akustischen Eigenschaften und die Optimierungsmöglichkeiten der Fußbodenkonstruktionen erlangt wurde.

Neben dem vertieften Verständnis der Interaktionen und des Einflusses der Parameter auf den Trittschallpegel diente die gesammelte Datenbasis auch der Weiterentwicklung von Prototypen für Fußbodensysteme. Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten es, gezielt Optimierungen an den Prototypen vorzunehmen und diese entsprechend den festgestellten akustischen Anforderungen anzupassen. Auf Basis der empirischen Modelle konnten effektive Designstrategien und Materialkombinationen entwickelt werden, die die Trittschallminderung verbessern und somit zur Schaffung leistungsfähigerer und effizienter Fußbodensysteme im Holzbau beitragen.

Die in Abschnitt 4 gezeigten Ergebnisse sind gemäß der Parameterbeschreibung in Tabelle 5 in der Legende beschriftet. Die Reihenfolge der Parameter in der ersten Spalte der Tabelle entspricht der Legendenbeschriftung der einzelnen Datensätze. Tabelle 5 fungiert somit als Schlüssel, der die Legendenbeschriftungen den tatsächlichen Varianten der untersuchten Parameter zuordnet und als

Übersetzungshilfe dient, um die Verbindung zwischen den dargestellten Ergebnissen und den spezifischen Parameterkonfigurationen herzustellen.

Tabelle 5: Übersicht der Parameter, deren Variationen zur Messung des Norm-Trittschallpegels bei verschiedenen Fußbodenkonstruktionen auf der Brettstapeldecke untersucht wurden. Die Tabelle stellt in den Spalten die unterschiedlichen Ausprägungen der einzelnen Parameter dar, wobei jede Zeile keine spezifische Variante darstellt, sondern die Variationen der jeweiligen Parameter abbildet.

Estrich	Typ	Lager- abstand in mm	Lager- dicke in mm	Lager- material	Schüttungs- höhe in mm	Schüttungs- material	Entkopplungs- dicke Schüttung in mm	Material Entkopplung Schüttung
40mm ZE	Linie	1250	12.5	SR18	keine	keine	keine	keine
100mm ZE	Fläche	625	25	SR11	60	Beton Granulat	25	SR55
20mm GFP + 19mm 3S	Punkt	312.5	30	SR28	80	Kies	30	NB
flächig			60	SW	70	Perlit	60	SR28
			8	MW		Platten	12.5	MW
			16	AFM29		Kies gebunden		SW
				AFM35				NE
				AFM29				
				SR110				
				SR55				
				SN110				

4.4. Ergebnisse

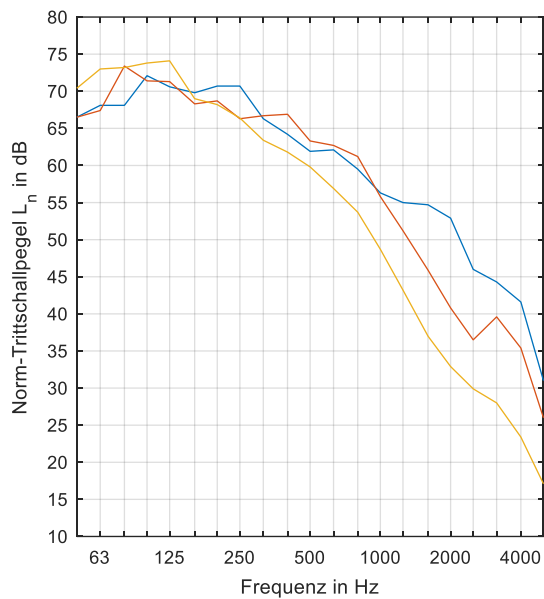
Auszugsweise werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse der in Abschnitt 4.3 dargestellten Kombinationen an Schichten beschrieben, um den Einfluss der Variation bestimmter Parameter auf den Trittschallpegel des gesamten Deckensystems zu veranschaulichen. Diese ausgewählten Beispiele verdeutlichen, wie sich Änderungen in den Schichtdicken, Materialtypen und deren Anordnung auf die akustische Leistung des Systems auswirken, und bieten so Einblicke in die Effektivität der verschiedenen Parameterkonfigurationen.

4.4.1. Einfluss des Lagerungstyps des Estrichs (flächig, linienförmig, punktförmig)

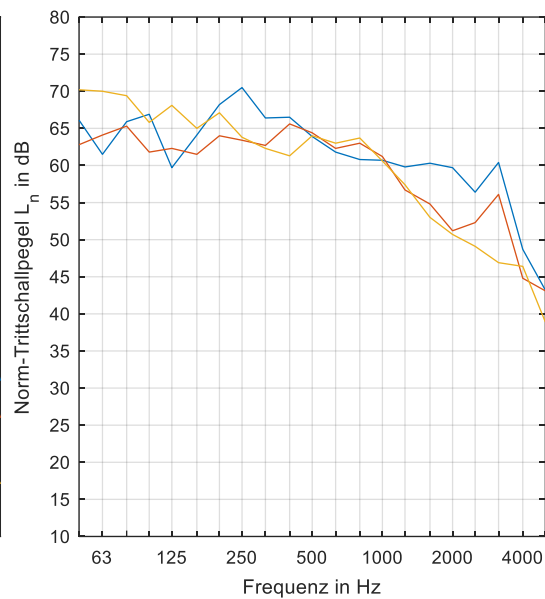
Abbildung 9 veranschaulicht den Einfluss verschiedener Lagerungstypen – flächig, linienförmig oder punktförmig – in Kombination mit unterschiedlichen Estrichtypen und -dicken auf den Norm-Trittschallpegel. Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass im Frequenzbereich unterhalb von 100 Hz eine flächige Lagerung im Vergleich zu punkt- oder linienförmigen Lagerungen um etwa 5 dB schlechter abschneidet. Diese Differenz ist vermutlich auf die Eigenschaften, insbesondere die dynamische Steifigkeit, der verwendeten geschäumten Polyurethane zurückzuführen. Bei linien- und punktförmigen Lagerungen ermöglichen diese Materialien niedrigere

Abstimmungsfrequenzen der Masse-Feder-Masse-Resonanz, was zu einem früheren Wirksamwerden des Entkopplungseffekts im Frequenzbereich führt. Im Gegensatz dazu sind die Resonanzfrequenzen bei flächiger Lagerung höher, wodurch der Entkopplungseffekt später einsetzt.

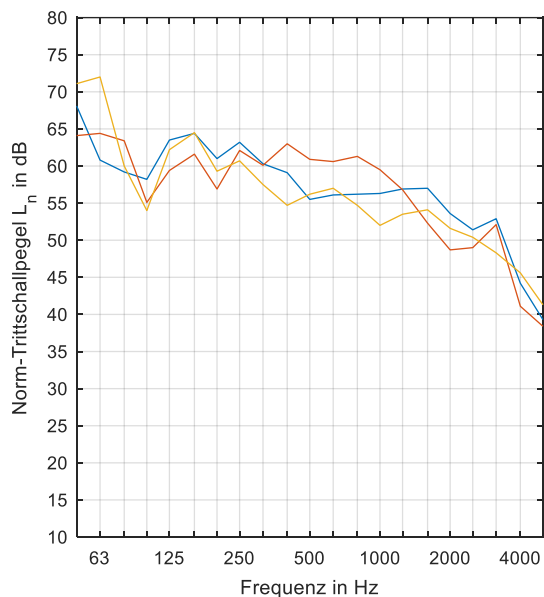
Im Frequenzbereich oberhalb von etwa 250 Hz ändert sich das Bild jedoch deutlich. Hier zeigt sich, dass die flächige Lagerung aufgrund der höheren Dämpfung der faserigen Trittschalldämmplatten eine signifikante Reduktion des Trittschallpegels bewirkt. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt bei der Verwendung von Trockenestrich (siehe Abbildung 9 oben links).



- 20mm GFP + 19mm 3S, Punkt, 625mm, 12.5mm SR28
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 64 (0;1)$
- 20mm GFP + 19mm 3S, Linie, 625mm, 12.5mm SR11
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 63 (0;2)$
- 20mm GFP + 19mm 3S, Fläche, 30mm SW
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 62 (2;4)$



- 40mm ZE, Punkt, 625mm, 12.5mm SR55
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 66 (-4;-4)$
- 40mm ZE, Linie, 625mm, 12.5mm SR18
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 64 (-4;-3)$
- 40mm ZE, Fläche, 60mm SW
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 62 (-2;1)$



- 100mm ZE, Punkt, 625mm, 12.5mm SR55
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 61 (-5;-3)$
- 100mm ZE, Linie, 625mm, 12.5mm SR18
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 60 (-4;2)$
- 100mm ZE, Fläche, 30mm MW
 $L_{n,w}(C_1; C_{1,50}) = 59 (-4;2)$

Abbildung 9: Darstellung des Einflusses der Lagerungsarten (punktförmig, linienförmig, flächig) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Die Abbildungen zeigen die Messwerte für verschiedene Estricharten: 20 mm Gipsfaserplatte und 19 mm Dreischichtplatte (oben links), 40 mm Zementestrich (oben rechts) und 100 mm Zementestrich (unten links).

Bei Betrachtung der einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel zeigt sich, dass durch die flächige Lagerung eine Reduktion des Norm-Trittschallpegels um bis zu 4 dB erreicht werden kann. Diese Reduktion nimmt mit der Zunahme der Lagerungsfläche

(von flächig über linienförmig bis punktförmig) zu. Berücksichtigt man jedoch die spektralen Anpassungswerte wie $C_{I,50}$, die für die Wahrnehmung besonders relevant sind, schneiden alle Lagerungstypen ähnlich gut ab. Der Typ der Lagerung hat somit keinen signifikanten Einfluss auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel mit Spektrumanpassungswert $L_{n,w} + C_{I,50}$. Der Einfluss auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ ist jedoch deutlich ausgeprägt und zeigt, dass die Wahl des Lagerungstyps erhebliche Auswirkungen auf die Trittschallminderung hat.

Ähnlich wie bei den Fußbodenaufbauten ohne Schüttung zeigt sich auch bei einem Schichtaufbau mit einer 80 mm dicken Kiesschüttung ein vergleichbares Bild. Der positive Einfluss der linienförmigen Lagerung, der in Abbildung 9 ohne Schüttung noch deutlich sichtbar war, ist in Abbildung 10 mit Schüttung im Frequenzbereich unter 100 Hz deutlich abgeschwächt. Dies könnte auf die zusätzliche Masse und den anderen Schwingungsverlauf der Schüttung zurückzuführen sein, wodurch der Entkopplungseffekt der linienförmigen Lagerung weniger stark zum Tragen kommt.

Wie auch ohne Schüttung, ist ab einem Frequenzbereich von 250 Hz ein deutlich reduzierter Norm-Trittschallpegel bei flächig verlegten Mineralfaserdämmplatten zu beobachten. Diese Dämpfungseigenschaft der faserigen Platten scheint den Trittschall in den höheren Frequenzen effektiver zu mindern. Auch in diesem Fall wird der Einfluss auf den einzahlbewerteten Trittschallpegel $L_{n,w}$ durch die Wahl der Lagerungsart deutlich reduziert, jedoch sind die Unterschiede im Vergleich zu den Varianten ohne Schüttung weniger stark ausgeprägt.

Bei Betrachtung des bewerteten Trittschallpegels $L_{n,w} + C_{I,50}$, der die Wahrnehmung niederfrequenter Geräusche stärker berücksichtigt, sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Lagerungsarten nahezu vernachlässigbar. Dies deutet darauf hin, dass die Art der Lagerung, insbesondere bei Verwendung von Schüttungen, einen größeren Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel im niedrigen Frequenzbereich hat, während sich im höheren Frequenzbereich die Unterschiede nivellieren.

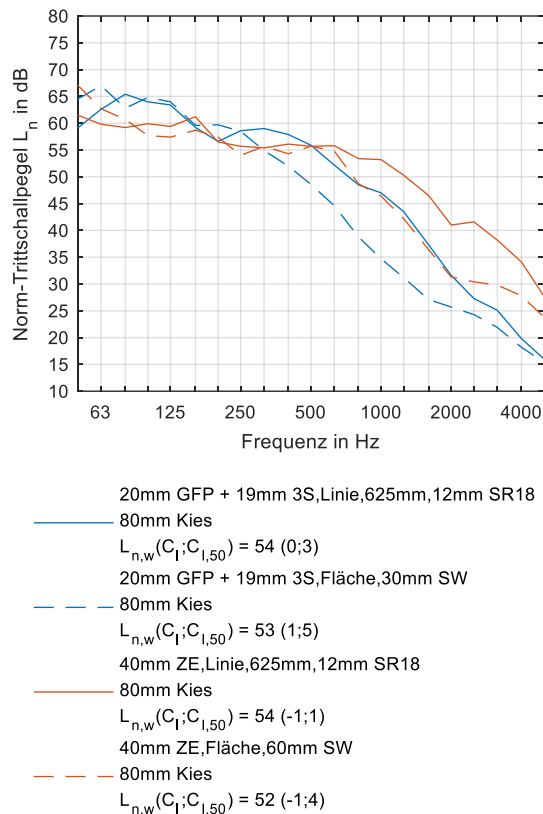


Abbildung 10: Darstellung des Einflusses der Lagerungsarten (linienförmig, flächig) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm) mit 80 mm Kiesschüttung als Rohdeckenbeschwerung.

4.4.2. Einfluss des Estrichsystems bei Linien- bzw. Punktlagerung

Der Einfluss von unterschiedlichen Estrichen in Materialität und Dicke auf den Norm-Trittschallpegel einer Brettsperrholzdecke ohne Schüttung und verschiedenen Lagerungstypen des Estrichs ist in Abbildung 11 dargestellt. Dabei zeigt sich das bereits bekannte Phänomen: Bei beiden Lagerungsvarianten weist der Trockenestrich aufgrund seines geringeren Flächengewichts eine deutlich schlechtere Performance im Norm-Trittschallpegel auf und erreicht Werte, die bis zu 15 dB höher liegen. Dies deutet auf die geringere Trittschalldämmwirkung des Trockenestrichs hin. Im höheren Frequenzbereich kommt jedoch die innere Dämpfung des Materials stärker zur Geltung, was zu einer gewissen Reduktion des Trittschallpegels führt. Gleichzeitig spielt die niedrigere Oberflächenhärte des Trockenestrichs eine Rolle bei dieser Reduktion.

Die Estrichdicke eines zementgebundenen Estrichs zeigt vor allem bei Punktlagerung eine stärkere Auswirkung auf den Trittschallpegel als bei linienförmigen Lagerungen. In beiden Fällen verschieben sich die Kurven nahezu parallel, was darauf hindeutet, dass die Dicke des Estrichs in erster Linie den Pegel beeinflusst, ohne das Frequenzverhalten signifikant zu verändern. Bei der Linienlagerung weist der Estrich mit einer Dicke von 100 mm, der ein höheres Flächengewicht besitzt, im Mittel einen um 4 dB niedrigeren Norm-Trittschallpegel auf als der Estrich mit 40 mm Dicke. Dieser Unterschied verstärkt sich bei Punktlagerungen, wo er bis zu 7 dB betragen kann. Dies

verdeutlicht, wie die Kombination von Materialstärke und Lagerungstyp maßgeblich den Trittschallschutz beeinflusst.

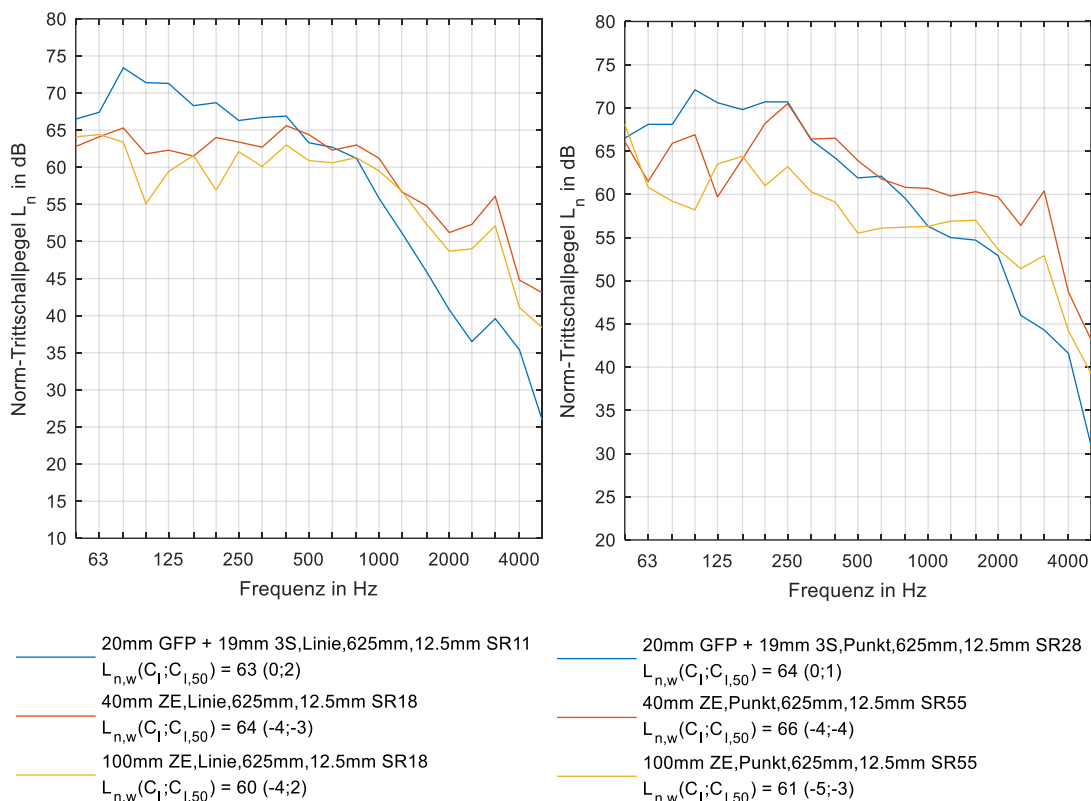


Abbildung 11: Darstellung des Einflusses unterschiedlicher Estrichsysteme (20 mm Gipsfaserplatte und 19 mm Dreischichtplatte, 40 mm Zementestrich und 100 mm Zementestrich) bei variierender Lagerung (punkt- und linienförmig) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.4.3. Einfluss der Schüttung bei linienförmiger bzw. flächiger Lagerung

Abbildung 12 verdeutlicht den Einfluss der Schüttung auf den Norm-Trittschallpegel bei variierender Lagerung eines 40 mm Zementestrichs. Sowohl bei der flächigen als auch bei der linienförmigen Lagerung zeigt sich durch die Schüttung eine deutliche Reduktion des frequenzabhängigen Norm-Trittschallpegels um 10 bis 15 dB. Dieser Effekt ist hauptsächlich auf die Erhöhung der Gesamtmasse des Deckensystems durch die Schüttung zurückzuführen, die zu einer verbesserten Trittschalldämmung führt.

Im Frequenzbereich von 50 bis 500 Hz wird jedoch ein Unterschied im Einfluss der Schüttung auf den Norm-Trittschallpegel bei den beiden Lagerungsvarianten deutlich. Bei der linienförmigen Lagerung zeigt die Schüttung einen geringeren positiven Einfluss, was sich in einem etwas höheren Spektrumanpassungswert $C_{l,50}$ von -3 dB im Vergleich zu -4 dB bei der flächigen Lagerung widerspiegelt. Dies könnte darauf hinweisen, dass bei einer linienförmigen Lagerung die Schwingungsübertragung aufgrund der geringeren Kontaktfläche stärker gedämpft wird (siehe Abschnitt 4.4.1) und damit die Verbesserung durch die Schüttung eine etwas kleinere Rolle spielt.

Oberhalb von 500 Hz zeigt sich bei beiden Lagerungsvarianten eine vergleichbare Reduktion des Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung. Obwohl der Unterschied in den höheren Frequenzen geringer ausfällt, weist die Einzahlbewertung darauf hin, dass in beiden Fällen die Schüttung eine Trittschallreduktion von etwa 10 dB bewirkt. Dies bestätigt, dass die Schüttung sowohl bei der flächigen als auch bei der linienförmigen Lagerung eine signifikante Verbesserung der Trittschalldämmung bietet, obwohl die Art der Lagerung im unteren Frequenzbereich einen größeren Einfluss auf den Effekt der Schüttung hat.

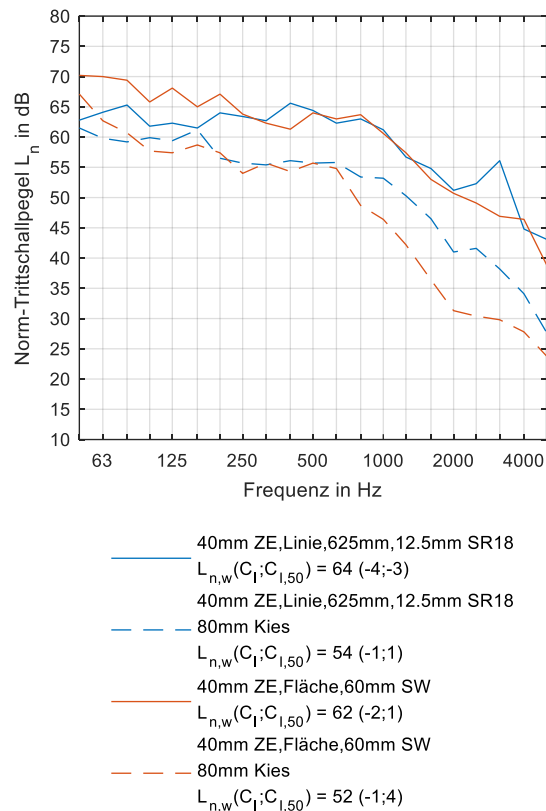


Abbildung 12: Darstellung des Einflusses einer Schüttung (80 mm Kies) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Untersucht wird der Effekt der Schüttung bei variierender Lagerung des Estrichs, sowohl linienförmig als auch flächig.

4.4.4. Einfluss der Bindung der Schüttung

Abbildung 13 zeigt den Unterschied im Norm-Trittschallpegel zwischen einer gebundenen Kiesschüttung (mittels Latexmilch) und einer ungebundenen Schüttung. Im frequenzabhängigen Verlauf lässt sich unterhalb von 300 Hz eine geringfügige Verschlechterung bei der gebundenen Kiesschüttung beobachten, was auf eine leichte Plattenwirkung der Schüttungsebene hinweist. Diese Plattenwirkung kann zu einer erhöhten Schallübertragung in tieferen Frequenzbereichen führen, da die gebundene Schüttung eine stabilere Struktur bildet und somit weniger entkoppelt als die lockerere, ungebundene Variante.

Oberhalb von 300 Hz zeigt sich jedoch eine geringfügige Verbesserung des Norm-Trittschallpegels bei der gebundenen Kiesschüttung. Diese Verbesserung ist auf die höhere innere Dämpfung des gebundenen Materials zurückzuführen, das Vibrationen und Schwingungen besser absorbiert und somit die Schallübertragung in höheren Frequenzen reduziert.

Beide Effekte – die leichte Verschlechterung in tieferen Frequenzen und die Verbesserung in höheren Frequenzen – haben jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$. Dies zeigt, dass die Unterschiede im Gesamtverhalten der beiden Schüttungsvarianten geringfügig sind und sich auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel kaum auswirken.

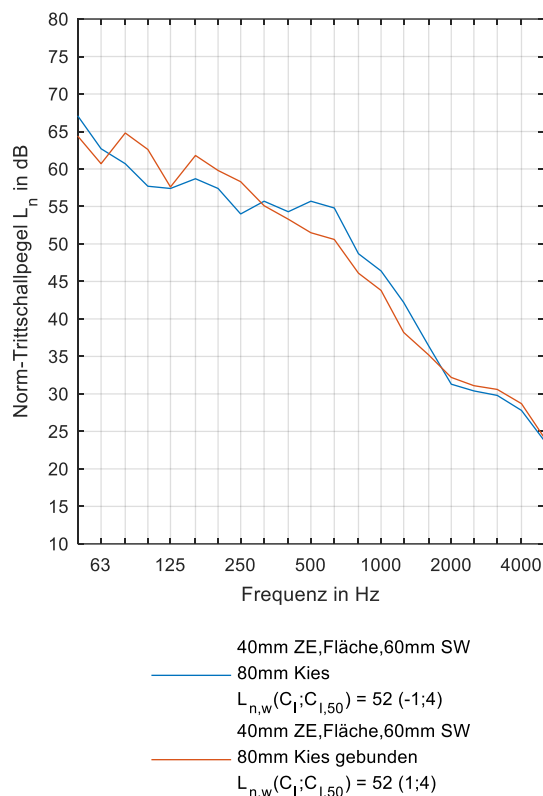


Abbildung 13: Darstellung des Einflusses Bindung der Schüttung (80mm Kies) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140mm).

4.4.5. Einfluss der Entkopplung der Schüttung bei linienförmiger bzw. flächiger Lagerung

Abbildung 14 zeigt den Einfluss einer zusätzlichen Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung, die durch eine 30 mm starke Trittschalldämmplatte aus Mineralfaser realisiert wurde. Diese zusätzliche Schicht führt in beiden Lagerungsvarianten zu einer spürbaren Reduktion des Norm-Trittschallpegels ab etwa 100 Hz, während unterhalb dieser Frequenz keine nennenswerte Veränderung festzustellen ist. Besonders in den mittleren Frequenzbereichen zwischen 100 Hz und 500 Hz tritt eine deutliche

Verbesserung des Trittschallschutzes auf, da die zusätzliche Entkopplungsebene die Schallübertragung weiter reduziert.

Ab 500 Hz fällt die Verbesserung bei der flächigen Lagerung jedoch weniger stark aus, was vermutlich auf die bereits vorhandene Dämpfung durch die flächigen Trittschalldämmplatten zurückzuführen ist. Bei der Linienlagerung hingegen kompensiert die zusätzliche Entkopplungsebene teilweise die fehlende Dämpfung (siehe Abschnitt 4.4.3), wodurch der Unterschied zwischen den beiden Lagerungsarten im Vergleich zu vorherigen Ergebnissen (siehe Abbildung 11) geringer ausfällt.

Interessanterweise zeigt sich im einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel dennoch ein um etwa 2 dB niedrigerer Wert bei der flächigen Lagerung im Vergleich zur Linienlagerung des Estrichs. Berücksichtigt man jedoch den spektralen Anpassungswert $C_{1,50}$, verschwindet dieser Unterschied weitgehend, was darauf hindeutet, dass beide Lagerungssysteme in der Gesamtbetrachtung ähnliche Ergebnisse liefern, sobald das gesamte Trittschallspektrum einbezogen wird.

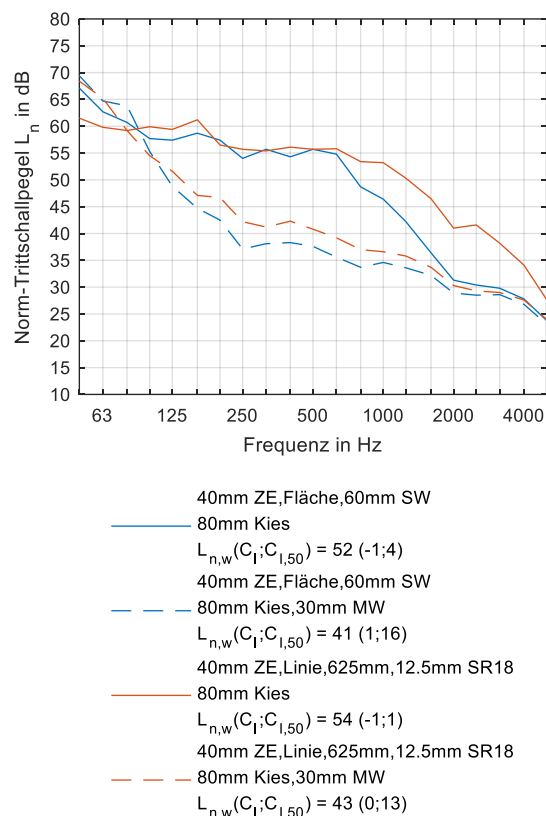


Abbildung 14: Darstellung des Einflusses einer zusätzlichen Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung (80 mm Kies), realisiert durch eine 30 mm dicke Glaswolleplatte, auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Verglichen werden die Effekte bei variierender Lagerung des Estrichs, sowohl linienförmig als auch flächig.

4.4.6. Einfluss des Abstandes der Lagerung bei linien- bzw. punktförmiger Lagerung

In Abbildung 15 wird der Einfluss des Achsabstandes der Lagerungsflächen bei verschiedenen Lagerungstypen, im Fall eines 40 mm Zementestrichs, dargestellt. Dabei wird deutlich, dass in beiden Fällen – sowohl bei der punktförmigen als auch bei der linienförmigen Lagerung – der Norm-Trittschallpegel mit zunehmendem Lagerabstand ansteigt. Dieser Effekt ist über nahezu den gesamten Frequenzbereich zu beobachten.

Sowohl bei der Punkt- als auch bei der Linienlagerung zeigt sich, dass die Erhöhung des Abstands von 312,5 mm (Linienlagerung) bzw. 315 mm (Punktlagerung) auf 1250 mm eine Verschlechterung des Trittschallschutzes bewirkt. In den einzahlbewerteten Größen, wie dem Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$, ist ebenfalls eine Verschlechterung um etwa 2 dB zu verzeichnen. Dieser negative Einfluss auf den Trittschallpegel lässt sich dadurch erklären, dass größere Lagerabstände eine ungleichmäßige Lastverteilung zur Folge haben, was die schalltechnischen Vorteile der punktuellen und linienförmigen Lagerung verringert und zu einer verstärkten Schallübertragung führt.

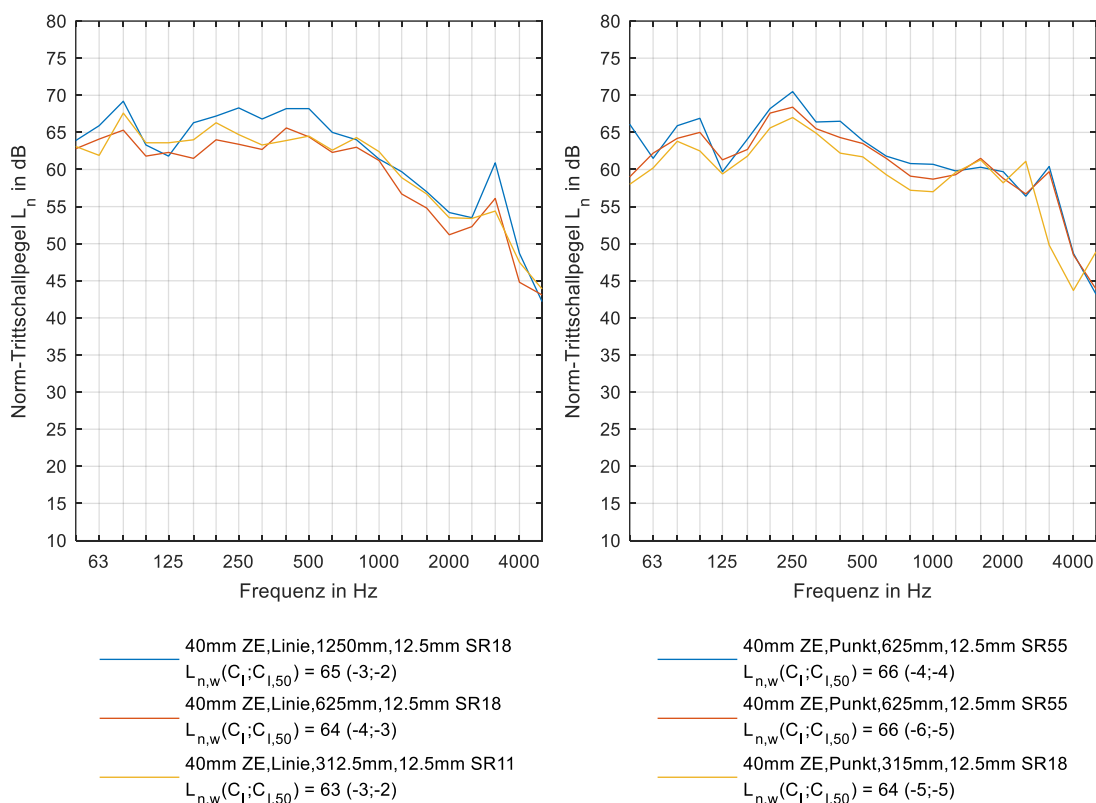


Abbildung 15: Darstellung des Einflusses des Achsabstandes der Lagerung (linienförmig links, punktförmig rechts) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Untersucht wird der Effekt bei Verwendung eines 40 mm Zementestrichs, der auf geschäumtem Polyurethan gelagert ist.

4.4.7. Einfluss von Platten bzw. Schüttung als Beschwerung

Abbildung 16 veranschaulicht den Einfluss der Verwendung von kleinformatigen Betonplatten (25 cm x 25 cm x 7 cm) als Beschwerung im Vergleich zu einer 80 mm starken Kiesschüttung. Trotz eines ähnlichen Flächengewichts beider Schüttungsarten, zeigen sich signifikante Unterschiede im Norm-Trittschallpegel. Im Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 2000 Hz erzielt die Beschwerung mittels kleinformatiger Platten eine Reduktion des Trittschallpegels um bis zu 5 dB im Vergleich zur Kiesschüttung. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen, die lose Schüttungen typischerweise als effektiver bei der Verbesserung des Trittschallschutzes ansehen. Eine präzise Erklärung für dieses unerwartete Ergebnis konnte bisher nicht gefunden werden.

Wenn beide Schüttungsvarianten durch eine zusätzliche 30 mm starke Trittschalldämmplatte aus Mineralfaser entkoppelt werden, zeigt sich, dass die lose Kiesschüttung – im Einklang mit der bestehenden Literatur – geringere Norm-Trittschallpegel aufweist. Bei der Einzahlbewertung ergibt sich eine Reduktion des Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ um 3 dB bei der losen Kiesschüttung im Vergleich zur Betonplatten-Schüttung, wenn beide mit der zusätzlichen Entkopplungsebene versehen sind.

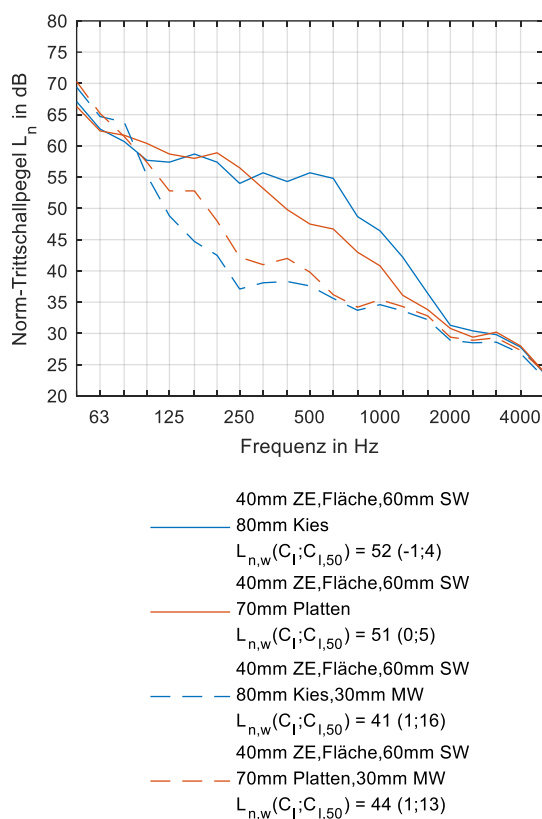


Abbildung 16: Darstellung des Unterschieds zwischen 80 mm Kies und 25 cm x 25 cm x 7 cm Betonplatten als Deckenbeschwerung in den frequenzabhängigen Verläufen des Norm-Trittschallpegels einer flächig gelagerten Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Die Schüttung wurde sowohl ohne als auch mit zusätzlicher Entkopplungsebene durch eine 30 mm dicke Glaswolleplatte unterhalb der Schüttung ausgeführt.

4.4.8. Einfluss einer Deckenteilung (mittels DELTABEAM® Verbundträger)

Neben den in den Abschnitt 4.3 beschriebenen Variationen im Schichtaufbau des Fußbodensystems wurde auch der Einfluss der Deckenteilung durch einen deckengleichen Verbundträger auf den Norm-Trittschallpegel untersucht. Der Verbundträger wurde in zwei verschiedenen Einbauzuständen analysiert: einmal im Zustand „eingebaut“ und einmal im Zustand „eingebaut und ausbetoniert“. Abbildung 17 illustriert diese beiden Einbauzustände.

Der DELTABEAM® Verbundträger wurde dabei auf Elastomerlagern auf der Versuchsstand-Wand aufgelagert. Die jeweiligen Deckenelemente liegen auf der gegenüberliegenden Seite des DELTABEAM® ebenso auf Elastomerlagern um die Flankenübertragung zu unterdrücken. Die Deckenelemente liegen direkt auf dem DELTABEAM® ohne zusätzliche Entkopplung auf. Es wurde in beiden Fällen kein zusätzlicher Verbund mit den bestehenden Aufbetonschichten der Holz-Beton-Verbunddecke hergestellt, wie beispielsweise durch eine zusätzliche Bewehrung. Die Untersuchungen wurden sowohl an der Grunddecke, einer Holz-Beton-Verbunddecke (siehe Abbildung 3), als auch an der Grunddecke mit verschiedenen Fußbodenaufbauten durchgeführt. Dabei kamen großformatige Prototypen zum Einsatz, die in den Abschnitten 4.4 beschrieben sind.

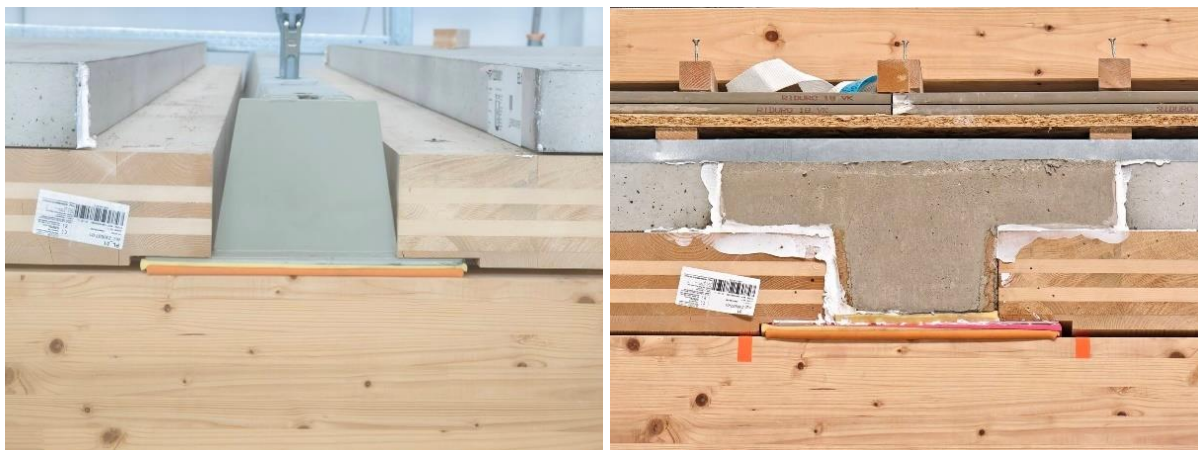


Abbildung 17: Einbauzustand des deckenebenen DELTABEAM® Verbundträgers als Deckenaufleger einer Holz-Beton-Verbunddecke (100 mm Beton, 140 mm CLT). Links ist der Zustand des nicht ausbetonierten Trägers dargestellt, rechts der Zustand nach dem Ausbetonieren.

Abbildung 18 veranschaulicht den Einfluss eines deckenebenen Verbundträgers sowie die Auswirkungen der Deckenteilung auf den Norm-Trittschallpegel in zwei verschiedenen Einbauzuständen. Im nicht ausbetonierten Zustand sind keine signifikanten Unterschiede im Norm-Trittschallpegel im Vergleich zur durchgehenden Rohdecke festzustellen. Hingegen zeigt der ausbetonierte Zustand, insbesondere im Frequenzbereich zwischen 160 Hz und 500 Hz, eine geringfügige Erhöhung des Norm-Trittschallpegels um bis zu 3 dB. Diese Veränderung könnte durch die Verbundwirkung

der Ortbetonmasse zwischen den beiden Fertigbetonteilen verursacht werden, die möglicherweise die Schallübertragung in diesem Frequenzbereich beeinflusst. Bei der einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegelbewertung $L_{n,w}$ beträgt die erhöhte Messung lediglich 1 dB, was auf eine relativ geringe, aber dennoch merkbare Beeinflussung durch den ausbetonierten Verbundträger hinweist.

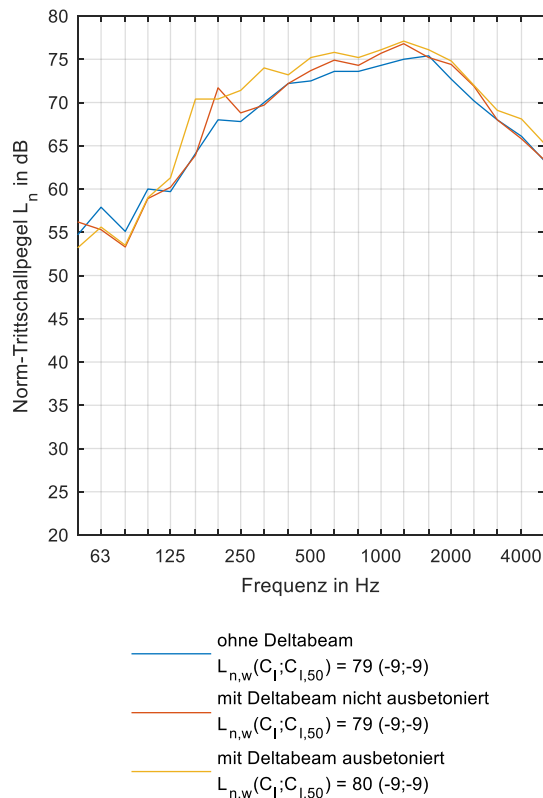


Abbildung 18: Darstellung des Einflusses der Deckenteilung durch einen deckenebenen Verbundträger auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Holz-Beton-Verbunddecke (100 mm Beton, 140 mm CLT).

Abbildung 19 veranschaulicht den Vergleich zwischen der durchgehenden Rohdecke und der Rohdecke, die durch einen ausbetonierten Verbundträger getrennt wird, bei Verwendung zweier unterschiedlicher Fußbodenkonstruktionen. Diese Konstruktionen wurden aus dem Set der großflächigen Prototypen ausgewählt. Die Analyse erstreckt sich über den gesamten Frequenzbereich, und es zeigt sich kein nennenswerter Unterschied im Norm-Trittschallpegel aufgrund der Deckentrennung und des ausbetonierten deckenebenen Verbundträgers. Trotz der Unterschiede in der Konstruktion der Fußbodensysteme bleibt die Schallübertragung innerhalb der Rohdecke durch die Trennung und den Verbundträger weitgehend unverändert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Deckentrennung in Kombination mit dem ausbetonierten Verbundträger keinen signifikanten Einfluss auf die Trittschallminderung hat, unabhängig von den verwendeten Fußbodenkonstruktionen.

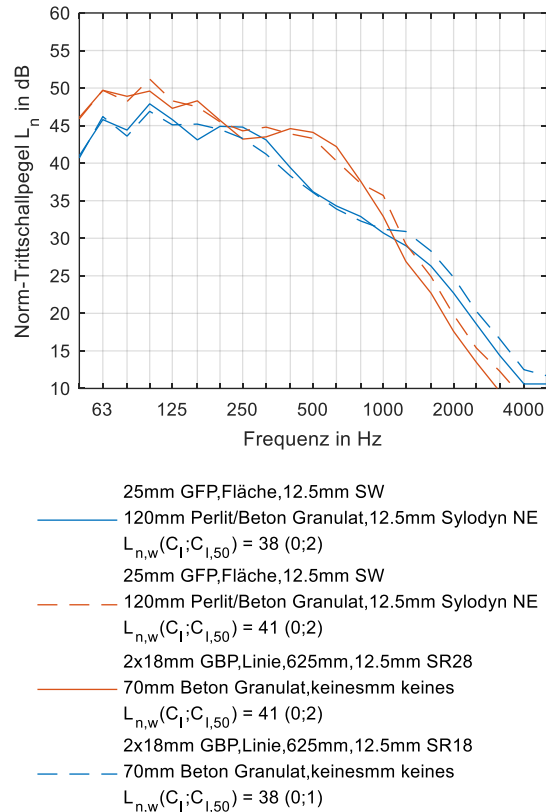


Abbildung 19: Darstellung des Einflusses der Deckenteilung durch einen deckenebenen Verbundträger auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Holz-Beton-Verbunddecke (100 mm Beton, 140 mm CLT) mit unterschiedlichen Fußbodenkonstruktionen des Systemtyps „Punkt“ und „Linie“.

4.4.9. Contourplots zur Veranschaulichung der Zusammenhänge zweier Parameter

Alle 311 gemessenen Norm-Trittschallpegel der verschiedenen Kombinationen von Schichtenfolgen und Materialitäten (siehe Tabelle 5) wurden zu strukturierten Datensätzen zusammengefasst. Ziel war es, die zweidimensionalen Abhängigkeiten der unterschiedlichen Parameter hinsichtlich der Verbesserung des Norm-Trittschallpegels einer Brettsperrholzdecke zu analysieren. Hierzu wurden mindestens 9 Punkte für jede Parameterkonstellation als Stützpunkte für eine Regression verwendet. Ein polynomialer Regressionsansatz wurde gewählt, um die Parameter mittels der Methode der nichtlinearen kleinsten Quadrate (nonlinear least squares) zu schätzen. Das parametrische Modell basiert auf der Annahme, dass die Daten aus zwei Komponenten bestehen: einer deterministischen Komponente und einer zufälligen Komponente. Die deterministische Komponente wird durch das parametrische Modell beschrieben, während die zufällige Komponente als Fehler beschrieben wird, der mit den Daten assoziiert ist.

Durch diesen Prozess konnten die Zusammenhänge der unterschiedlichen Parameter zur Trittschallminderung, sowohl in Bezug auf $\Delta L_{n,w}$ als auch $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$, bestimmt

und in den Abbildung 20 bis Abbildung 25 mittels Contourplots visualisiert werden. Ein Contourplot stellt eine 3D-Oberfläche dar, indem Linien gezeichnet werden, die Punkte mit gemeinsamen Z-Werten entlang eines Abschnitts verbinden. Die folgenden Abbildungen illustrieren die Auswirkungen der variierenden Parameter auf die Reduktion des Norm-Trittschallpegels und zeigen auf, wie sich diese Parameter in der Praxis auf den Trittschallpegel des Deckensystems auswirken.

4.4.9.1. Linienlagerung ohne Schüttung

Abbildung 20 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen dem Flächengewicht des Estrichsystems und dem Abstand der Lagerungen für den Lagertyp „Linie“. Wie in Abschnitt 4.3.1 beschrieben, zeigt sich für $\Delta L_{n,w}$, dass die Verbesserungen des Trittschallpegels sowohl bei einem höheren Flächengewicht des Estrichs als auch bei einem geringeren Abstand der Lagerungen zunehmen. Diese Beziehung deutet darauf hin, dass eine höhere Masse des Estrichsystems und eine engere Lagerung zu einer besseren Trittschallminderung führen. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei $\Delta L_{n,w} + C_{l,50}$ eine geringere Abhängigkeit vom Abstand der Lagerungen. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die spektralen Anpassungswerte weniger sensibel auf Veränderungen im Lagerabstand reagieren, während die Verbesserung des Norm-Trittschallpegels stärker durch das Flächengewicht des Estrichsystems beeinflusst wird.

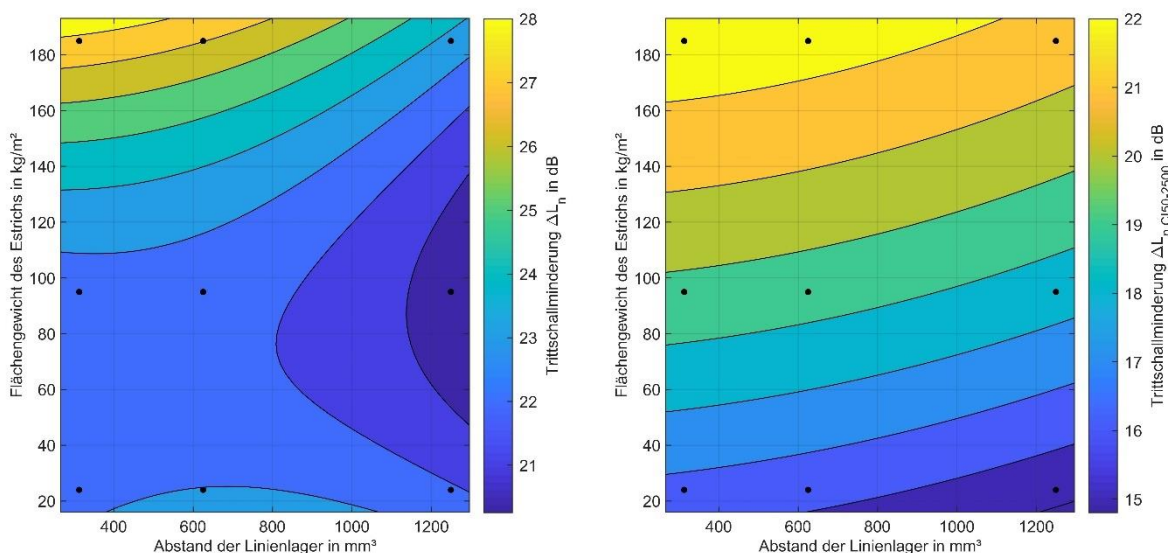


Abbildung 20: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht des Estrichs und des Achsabstandes der Lagerung (Linienlager) bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit dem Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{l,50}$

4.4.9.2. Punktlagerung ohne Schüttung

Für die Punktlagerung in Abbildung 21 zeigen sich im Vergleich zu Abschnitt 4.4.9.1 ähnliche Ergebnisse: die Verbesserungen des Trittschallpegels nehmen sowohl bei

einem höheren Flächengewicht des Estrichs als auch bei einem geringeren Abstand der Lagerungen zu. Nur für $\Delta L_{n,w} + C_{l,50}$ scheint mit einem Abstand von rund 600 mm ein Optimum in der Trittschallminderung zu liegen.

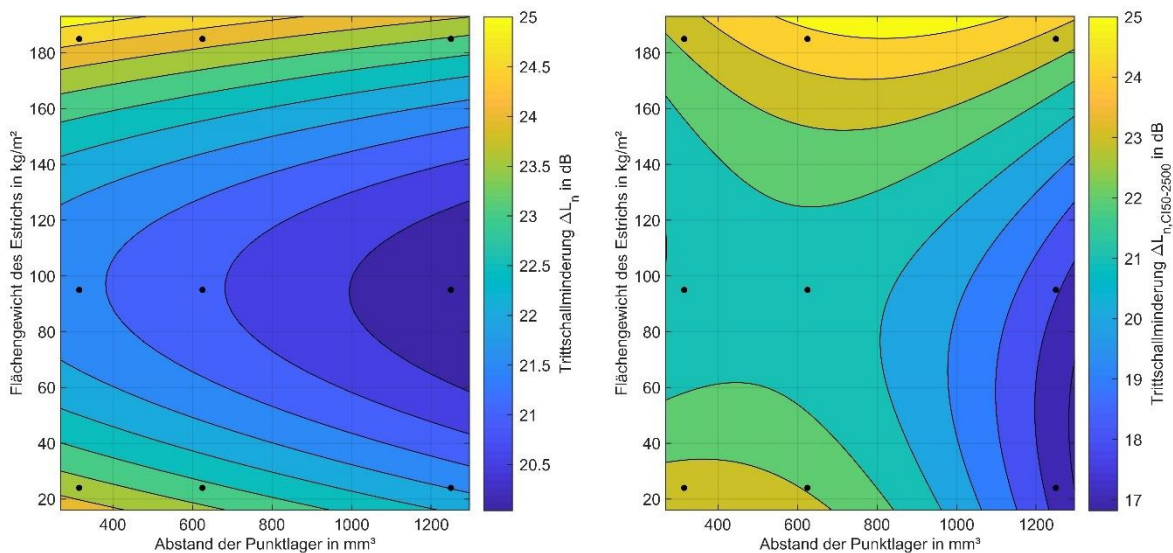


Abbildung 21: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Flächengewicht des Estrichs und des Achsabstandes der Lagerung (Punktlager) bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{l,50}$

4.4.9.3. Schüttung liniengelagert ohne Entkopplung

Der Einfluss einer Schüttung ohne zusätzliche Entkopplungsebene auf den Norm-Trittschallpegel ist in Abbildung 22 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei liniengelagerten Estrichsystemen mit einem Flächengewicht von 20-100 kg/m² eine kontinuierliche Verbesserung des Trittschallpegels mit steigendem Flächengewicht der Schüttung zu beobachten ist. Dieser Effekt entspricht den bereits bekannten Erkenntnissen aus wissenschaftlichen Arbeiten über flächig gelagerte Systeme, bei denen ebenfalls eine solche Tendenz festgestellt wurde.

Interessanterweise zeigt sich, dass ab einem Flächengewicht von etwa 100 kg/m² des Estrichs die weitere Verbesserung des Norm-Trittschallpegels deutlich abnimmt. Dies deutet darauf hin, dass ab einem bestimmten Punkt das zusätzliche Gewicht des Estrichs keine signifikante Verbesserung der Trittschallminderung mehr bringt.

Bei der Betrachtung der Verbesserungen inklusive des Spektrumanpassungswerts $C_{l,50}$ wird jedoch eine konstante Verbesserung des Trittschallpegels mit steigendem Flächengewicht der Schüttung beobachtet. Diese Verbesserung scheint unabhängig vom Flächengewicht des Estrichs zu sein, was darauf hindeutet, dass die Schüttung in Bezug auf den spektralen Anpassungswert eine stabilisierende Wirkung auf das Gesamtsystem ausübt.

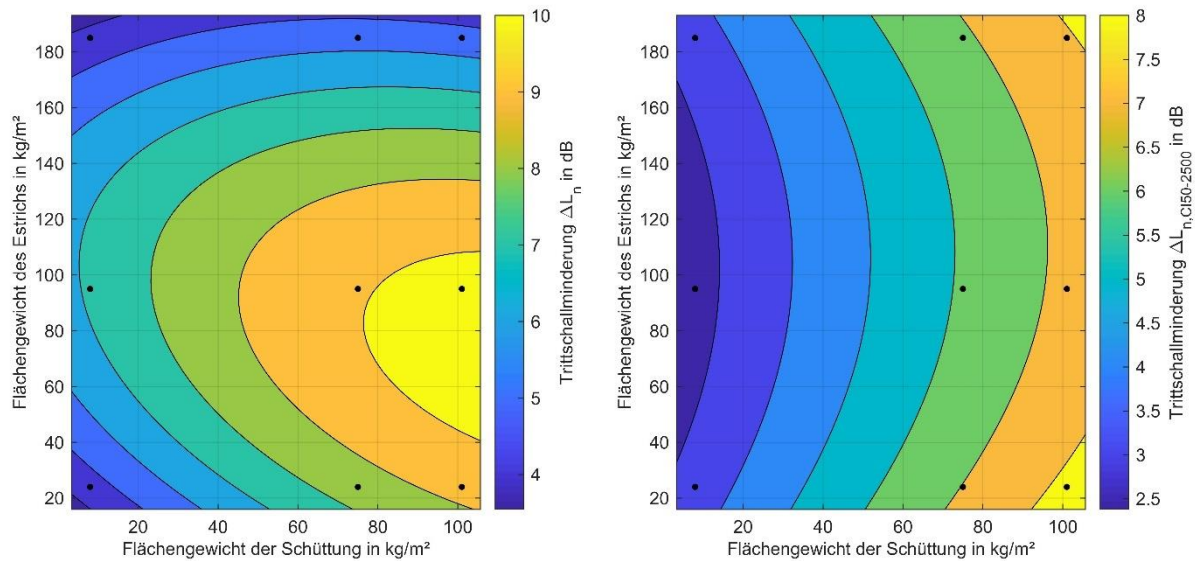


Abbildung 22: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und des Flächengewichts des liniengelagerten Estrichs bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{I,50}$

4.4.9.4. Schüttung flächig gelagert ohne Entkopplung

Ähnlich wie in Abschnitt 4.4.9.3 beschrieben, zeigt sich in Abbildung 23 auch bei einem flächig gelagerten Estrichsystem eine zunehmende Trittschallminderung mit steigendem Flächengewicht des Estrichs und der Schüttung. Dieser Effekt tritt sowohl bei der Betrachtung des Norm-Trittschallpegels $\Delta L_{n,w}$ als auch unter Berücksichtigung des Spektrumanpassungswertes $\Delta L_{n,w} + C_{I,50}$ auf. Mit zunehmendem Flächengewicht des Estrichs lässt sich eine Verbesserung der Trittschallminderung beobachten. Diese Verbesserung bleibt auch bei Einbeziehung des Spektrumanpassungswertes konsistent.

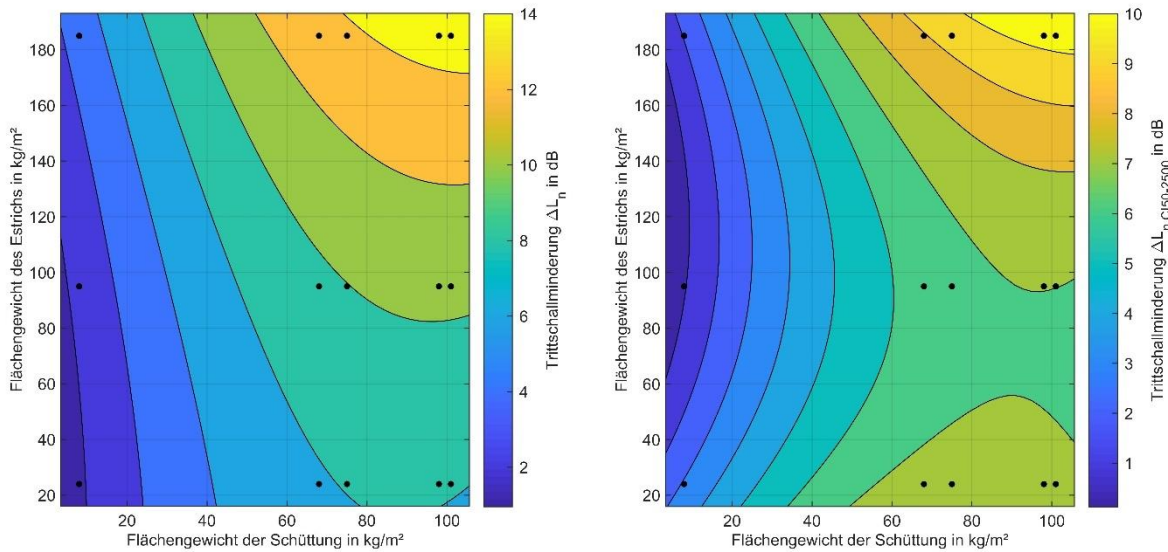


Abbildung 23: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und des Flächengewichts des flächig gelagerten Estrichs bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{l,50}$

4.4.9.5. Schüttung liniengelagert mit Entkopplung

Abbildung 24 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Flächengewicht der Schüttung und der dynamischen Steifigkeit einer zusätzlichen Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung bei Linienlagerung des Estrichs. Sowohl für den Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ als auch für den Norm-Trittschallpegel mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{l,50}$ ist zu erkennen, dass die Trittschallminderung mit einem höheren Flächengewicht und einer geringeren dynamischen Steifigkeit zunimmt.

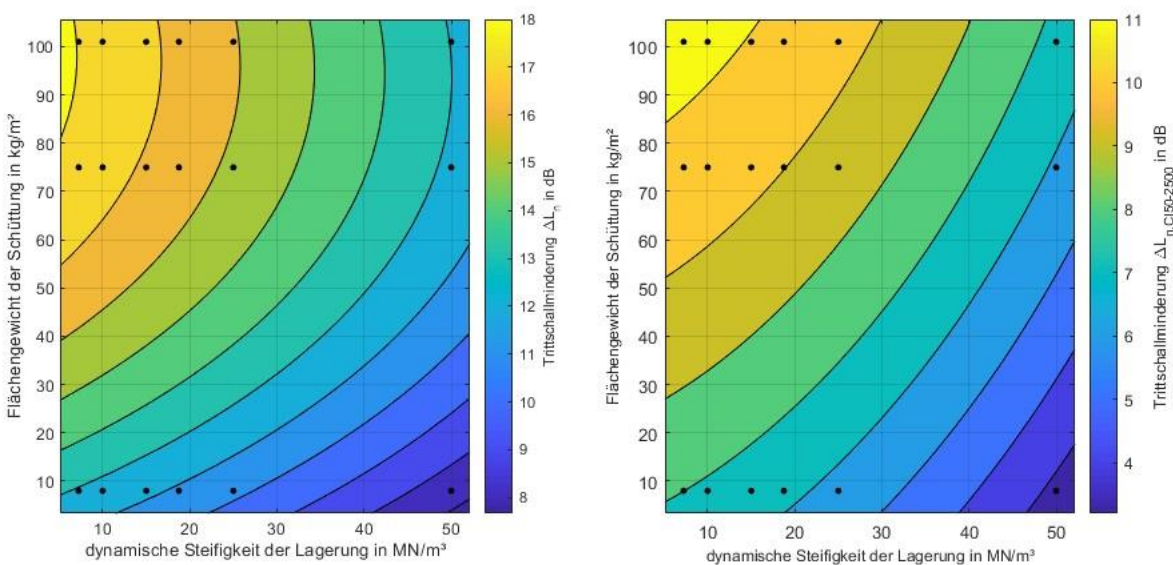


Abbildung 24: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und der dynamischen Steifigkeit einer zusätzlichen Entkopplungsebene bei einem

liniengelagertem Estrich und einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{I,50}$

4.4.9.6. Schüttung flächig gelagert mit Entkopplung

Abbildung 25 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Flächengewicht der Schüttung und der dynamischen Steifigkeit einer zusätzlichen Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung bei flächiger Lagerung des Estrichs. Dabei werden sowohl $L_{n,w}$ als auch der Norm-Trittschallpegel mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{I,50}$ dargestellt. Es ist erkennbar, dass eine höhere Trittschallminderung mit steigendem Flächengewicht und abnehmender dynamischer Steifigkeit der Entkopplungsebene einhergeht. Ein markanter Punkt ist dabei die flächige Lagerung, bei der sich bei einer dynamischen Steifigkeit von etwa 25 MN/m³ ein Optimum in der Trittschallminderung abzeichnet.

Dieses Phänomen deutet darauf hin, dass es ein ideales Verhältnis zwischen Flächengewicht und Steifigkeit gibt, das zu einer maximalen Trittschallreduktion führt. Allerdings könnte dieses Ergebnis auch auf die Methodik der Contourplot-Erstellung mittels polynomischer Funktionen zurückzuführen sein, was eine gewisse Unschärfe in der Interpretation der Daten bedeuten könnte. Besonders bei komplexen Schallschutzuntersuchungen, bei denen viele Variablen gleichzeitig eine Rolle spielen, können solche methodischen Einschränkungen zu überzeichneten Optimierungen in den Ergebnissen führen. Die dargestellten Zusammenhänge sollten daher unter Berücksichtigung dieser potenziellen Unschärfe interpretiert werden.

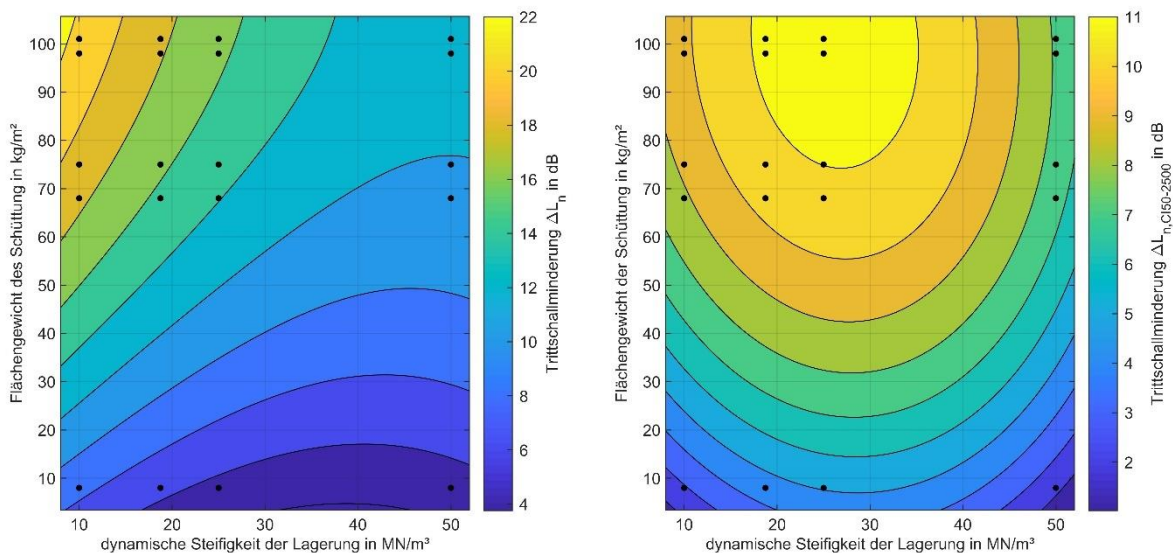


Abbildung 25: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und der dynamischen Steifigkeit einer zusätzlichen Entkopplungsebene bei einem flächig gelagertem Estrich und einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{I,50}$

4.4.10. Parametergewichtung

Zunächst wurden anhand der Vorversuchsergebnisse der kleinformatischen Aufbauten durch Variation der Schichtaufbauten, Konstruktion und Materialität der Fußbodenkonstruktion wesentliche Parameter identifiziert, die den Trittschallpegel des Gesamtdeckensystems beeinflussen (siehe Abschnitt 4.4.9). Auf dieser Grundlage wurden lineare Regressionsmodelle entwickelt. Die Parameter und deren Gewichte in den Modellen sind in Abbildung 26 dargestellt. Anhand der Höhe des Balkens in Abbildung 26 lässt sich dessen Gewicht und damit sein Einfluss auf den prognostizierten Trittschallpegel einer Brettsperrholzdecke mit der jeweiligen Fußbodenkonstruktion erkennen.

Für alle Systeme zeigt sich die Steifigkeit der Trittschalldämmung direkt unterhalb des Estrichs als der wichtigste Einflussparameter. Ebenso ist für beide Systeme das Flächengewicht der Schüttung als der unwesentlichste Einflussparameter identifizierbar. Diese Beobachtung könnte sich durch die besseren Dämpfungseigenschaften der leichteren Schüttungsvarianten erklären, wodurch sie ihren Nachteil des geringeren Flächengewichts kompensieren können. Das Flächengewicht des Estrichs und die dynamische Steifigkeit einer möglichen elastischen Zwischenschicht zwischen Schüttung und Deckenbelag sind ebenfalls wesentliche Parameter mit Einfluss auf die bauakustische Performance.

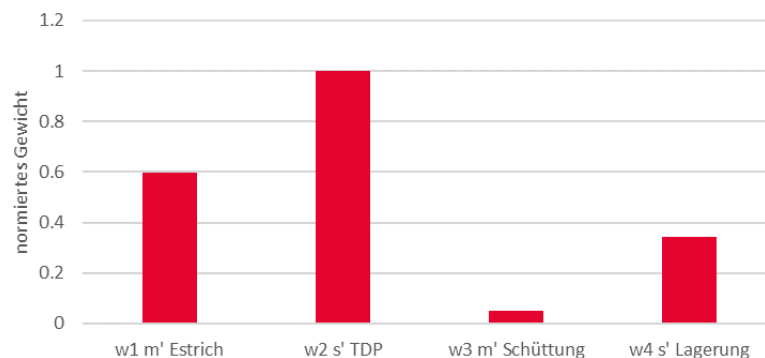


Abbildung 26: Darstellung der normierten Gewichte der im linearen Prognosemodell berücksichtigten Einflussparameter zur Prognose des Trittschallpegels einer Brettsperrholzdecke mit Fußbodenkonstruktion (Estrich, Trittschalldämmung, Schüttung, elastische Lagerung der Schüttung)

4.4.11. Erkenntnisse aus der Parameterstudie

- **Lagerungstyp:** Unterhalb von 100 Hz schneidet die flächige Lagerung etwa 5 dB schlechter ab als punkt- oder linienförmige Lagerungen. Dies liegt vermutlich an der niedrigeren Abstimmfrequenz und damit Resonanzfrequenz bei Punkt- und Linienlagerung im Vergleich zur flächigen Lagerung, wodurch oberhalb dieser eine Minderung des Trittschallpegels stattfindet. Bei Fußbodenaufbauten mit Kiesschüttung ist der Vorteil der linienförmigen Lagerung im Frequenzbereich unter 100 Hz vermindert. Oberhalb von 250 Hz zeigt die flächige Lagerung eine signifikante Reduktion des Trittschallpegels, insbesondere bei Trockenestrich, aufgrund der höheren Dämpfung der fasrigen Trittschalldämmplatten.
- **Estrich:** Ein Trockenestrich hat aufgrund seines geringeren Flächengewichts eine schlechtere Trittschalldämmung und zeigt Werte, die bis zu 15 dB höher sind als bei anderen Estricharten. Im höheren Frequenzbereich reduziert die innere Dämpfung und der geringeren Oberflächenhärte des Trockenestrichs den Trittschallpegel etwas. Bei zementgebundenem Estrich hat die Dicke einen stärkeren Einfluss auf den Trittschallpegel bei Punktlagerungen als bei linienförmigen Lagerungen. Ein 100 mm dicker Zementestrich hat bei Linienlagerung einen um 4 dB niedrigeren Norm-Trittschallpegel als ein 40 mm dicker Zementestrich, und dieser Unterschied erhöht sich auf bis zu 7 dB bei Punktlagerungen.
- **Schüttung:** Schüttungen führen bei flächiger und linienförmiger Lagerung eines 40 mm Zementestrichs zu einer Reduktion des Norm-Trittschallpegels um 10 bis 15 dB, hauptsächlich aufgrund der erhöhten Gesamtmasse. Im Frequenzbereich von 50 bis 500 Hz hat die Schüttung bei linienförmiger Lagerung einen geringeren Einfluss auf den Trittschallpegel im Vergleich zur flächigen Lagerung. Oberhalb von 500 Hz bewirkt die Schüttung bei beiden Lagerungen eine ähnliche Reduktion des Trittschallpegels um etwa 10 dB.
- **Zusätzliche Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung:** Die zusätzliche Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung, realisiert durch eine 30 mm dicke Mineralfaserplatte, reduziert den Norm-Trittschallpegel ab etwa 100 Hz spürbar in beiden Lagerungsvarianten, besonders zwischen 100 Hz und 500 Hz. Oberhalb von 500 Hz ist die Verbesserung bei der flächigen Lagerung weniger ausgeprägt, während die Linienlagerung von der Entkopplungsebene profitiert. Im einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel ist die flächige Lagerung etwa 2 dB besser als die Linienlagerung, aber der Unterschied verschwindet weitgehend bei Berücksichtigung des spektralen Anpassungswerts $C_{1,50}$.
- **Achsabstand der Lagerung:** Der Norm-Trittschallpegel bei einem 40 mm Zementestrich steigt mit zunehmendem Lagerabstand in beiden Lagerungstypen – punktförmig und linienförmig – an. Ein Abstand von 1250 mm verschlechtert den Trittschallschutz im Vergleich zu 312,5 mm bzw. 315 mm um etwa 2 dB. Größere Lagerabstände führen zu einer ungleichmäßigen Lastverteilung und verringern die schalltechnischen Vorteile der Lagerung, was zu erhöhter Schallübertragung führt.

- Deckenteilung durch Verbundträger:** Die Untersuchungen zeigen, dass es sowohl bei den Messungen der Rohdecke als auch bei denen mit unterschiedlichen Fußbodenaufbauten nur minimale Unterschiede im einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel zwischen Deckensystemen mit und ohne deckenebenen Verbundträger gibt. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass der Verbundträger keinen signifikanten Einfluss auf die bauakustische Leistung der Deckensysteme im getesteten Setup hat. Die geringen Unterschiede, die festgestellt wurden, sind im Vergleich zu den Variationen durch andere Faktoren der Fußbodenaufbauten eher marginal. Dies legt nahe, dass andere Komponenten des Deckensystems sowie deren Zusammenspiel stärkere Auswirkungen auf die Trittschallbewertung haben als der Verbundträger selbst.

4.5. Einfluss der Grunddecke

Abbildung 27 veranschaulicht den Zusammenhang der Trittschallkennwerte von Fußbodenvarianten auf Holz-Beton-Verbunddecke (HBV) und Holzbalkendecke (HBD) für die Systemvarianten "Flächig", "Linie" und "Punkt". Es ist kein direkter linearer Zusammenhang zwischen den gemessenen Standard-Trittschallpegel $L_{n,w}$ auf der HBD und denen auf der HBV erkennbar. Eine empirische Modellierung dieser Wechselwirkung auf Basis des entstandenen Datensatzes wird als nicht möglich betrachtet.

Generell ist zu beobachten, dass die auf der HBV-Decke gemessenen Standard-Trittschallpegel zwischen rund 10 dB und 15 dB niedriger liegen als jene auf der HBD. Dies liegt vor allem an der höheren Masse und den damit niedrigeren Trittschallpegel $L_{n,w}$ im tiefen Frequenzbereich <250 Hz der HBV-Grunddecke. Die höhere Steifigkeit der HBV im Vergleich zur HBD und der damit einhergehende höhere Trittschallpegel im Frequenzbereich >500 Hz können durch die eingesetzten Fußbodensysteme deutlich kompensiert werden.

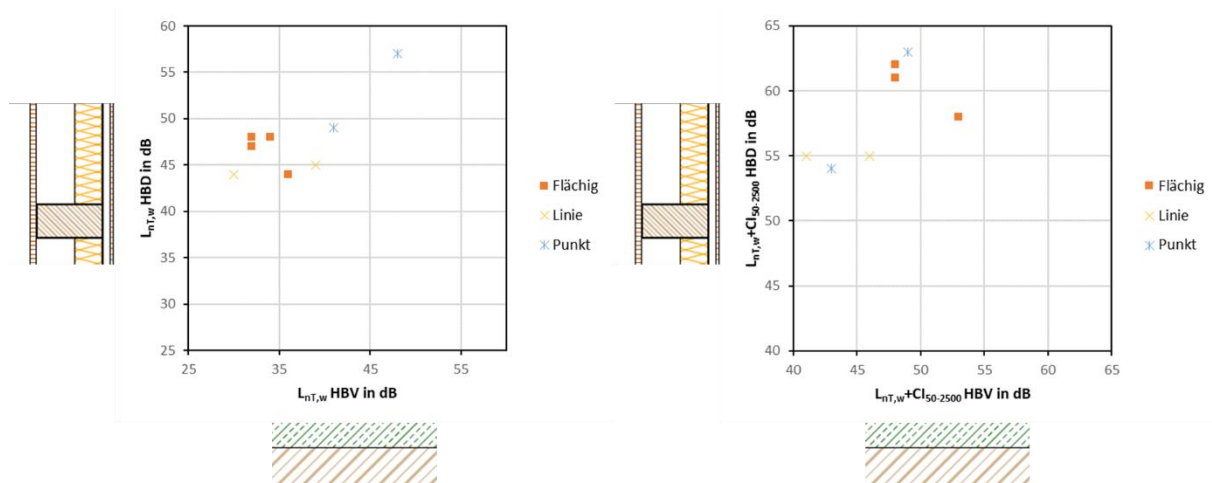


Abbildung 27: Zusammenhang der Trittschallkennwerte $L_{n,w}$ und $L_{n,w}+C_{l,50}$ von Fußbodenvarianten auf den Rohdecken (siehe Abschnitt 5.1.1.) Holz-Beton-Verbunddecke mit 100 mm Beton und 140 mm CLT (HBV)- und einer Holzbalkendecke (HBD)

Der Vergleich des gemessenen Standard-Trittschallpegels von Deckenkonstruktionen, die auf einer Kombination der entwickelten Fußbodensysteme mit einer CLT-Rohdecke und der HBD-Rohdecke basieren, zeigt einen klareren linearen Zusammenhang als der Vergleich zwischen HBV- und HBD-Rohdecken in Abbildung 27. Aufgrund dieser Beobachtung wurde ein empirisches Modell entwickelt, das als "Übersetzung" zwischen den Messdaten, die auf der CLT-Rohdecke erfasst wurden, und den erwarteten Ergebnissen auf der HBV-Decke dient. Dieses Modell, basierend auf neuronalen Netzwerken, ermöglicht eine präzisere Vorhersage der Trittschallpegel für verschiedene Deckenkonstruktionen, indem es die Unterschiede zwischen den Rohdeckentypen berücksichtigt. Die nähere Beschreibung dieses Prozesses erfolgt in Abschnitt 4.8.

Beim Vergleich in Abbildung 28 ist zu erkennen, dass der Standard-Trittschallpegel auf der HBV-Decke zwischen 10 und 15 dB niedriger ausfällt als auf einer CLT-Rohdecke. Die Gründe hierfür liegen äquivalent zu Abbildung 14 in dem deutlich höheren Flächengewicht der HBV-Rohdecken im Vergleich zu jenen aus CLT.

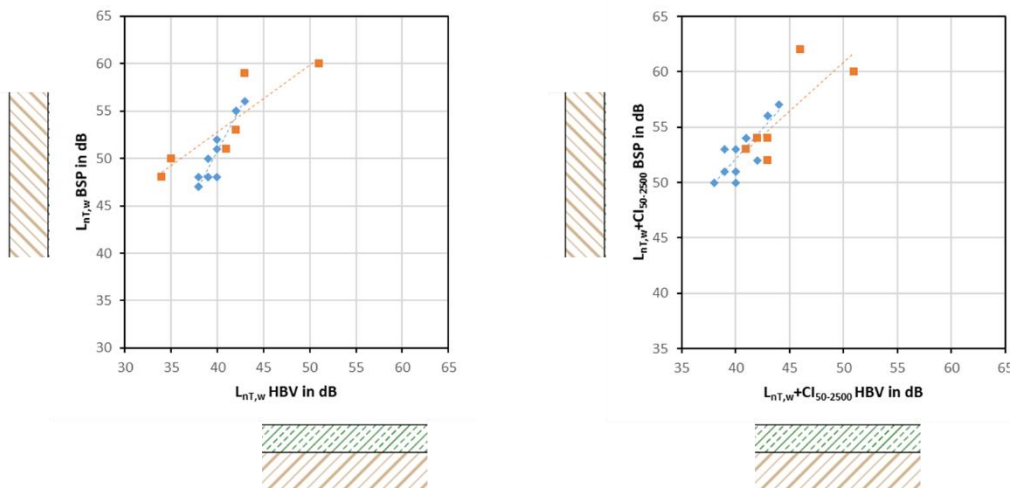


Abbildung 28: Zusammenhang der Trittschallkennwerte $L_{n,w}$ und $L_{n,w}+C_{l,50}$ von Fußbodenvarianten auf den Rohdecken (siehe Abschnitt 5.1.1.) Holz-Beton-Verbunddecke mit 100 mm Beton und 140 mm CLT (HBV) und einer 140 mm Brettstapeldecke (BPS).

Die frequenzabhängige Betrachtung, wie in Abbildung 29 dargestellt, vergleicht die Norm-Trittschallpegel, die auf der HBV-Rohdecke und der BSP-Rohdecke gemessen wurden. Der Mittelwert $\Delta L_{n,HBV-BSP}$ zeigt, dass der Unterschied zwischen den Norm-Trittschallpegel auf der BSP- und der HBV-Decke insbesondere in den niedrigen Frequenzbereichen deutlich ausgeprägter ist. Dies bedeutet, dass die BSP-Decke in den tiefen Frequenzbereichen signifikant schlechtere Trittschallwerte aufweist als die HBV-Decke. Mit zunehmender Frequenz nimmt dieser Unterschied jedoch ab, was darauf hinweist, dass der relative Vorteil der HBV-Decke in den höheren Frequenzen weniger ausgeprägt ist.

Es ist wichtig zu beachten, dass nicht die Streuung der Messwerte, sondern der Unterschied in den Mittelwerten zwischen den beiden Deckensystemen im Vordergrund steht. Um die zugrunde liegenden Mechanismen und die genaue Natur dieses Unterschieds vollständig zu verstehen, ist eine zusätzliche Analyse erforderlich.

Der Einsatz von Methoden wie Künstlicher Intelligenz kann dabei helfen, die komplexen Zusammenhänge zwischen den Frequenzbereichen und den unterschiedlichen Deckensystemen besser zu erfassen. Dies ermöglicht eine tiefere Einsicht in die akustischen Eigenschaften und bietet eine fundierte Basis für weitere Optimierungen und Interpretationen.

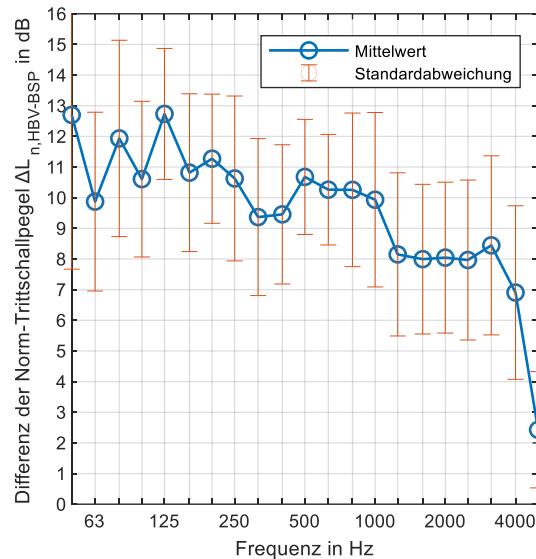


Abbildung 29: Frequenzabhängiger Mittelwert und Standardabweichung der Differenz $\Delta L_{n,HBV} - L_{n,BSP}$ zwischen den Norm-Trittschallpegeln unterschiedlicher Fußbodensysteme aus Abschnitt 4.6 auf einer Holz-Beton-Verbunddecke (HBV) und einer Brettstapeldecke (BSP)

4.6. Full-Size Prototypen

Basierend auf den Erkenntnissen aus Abschnitt 4.3 wurden Fußbodensysteme entwickelt, um die aktuellen Anforderungen der OIB-Richtlinie 5:2019 hinsichtlich des Trittschallschutzes ($L_{n,T,w} \leq 48$ dB) zu erfüllen. Nach der initialen Entwicklung dieser Systeme im Konsortium wurden gezielte Parameter festgelegt, um einen weiteren Optimierungsprozess durchzuführen. In vier Workshops mit den beteiligten Unternehmenspartnern wurden die identifizierten Lösungsansätze in vier akustisch unterschiedliche Systemvarianten kategorisiert, die sich in ihren Wirkprinzipien unterscheiden und die Grundlage für die Optimierung bildeten. Der Fokus des Optimierungsprozesses lag auf den Systemen „Punkt“ (Punktlagerung; siehe Abschnitt 4.6.1) und „Linie“ (Linienlagerung; siehe Abschnitt 4.6.2), die jeweils hinsichtlich ihrer Parameter mit dem größten Potenzial für Trittschallminderung untersucht wurden. Um den Einfluss dieser Parameter weiter zu erforschen, wurden 1:1 Modelle angefertigt und systematisch variiert. Dabei war das Ziel, die bauakustische Performance der entwickelten Systeme weiter zu verbessern und an die Anforderungen der OIB-Richtlinie anzupassen.

Die Trittschallmessungen, durchgeführt nach ÖNORM EN ISO 10140-3:2021, lieferten detaillierte Ergebnisse, die Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der jeweiligen Systemanpassungen ermöglichten. Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für die

Feinjustierung der Systeme, um eine optimale Trittschalldämmung zu erreichen und die gesetzlich geforderten Schallschutzwerte zuverlässig einzuhalten.

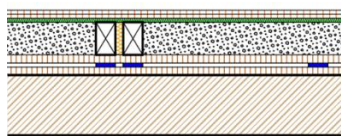
4.6.1. Fußbodensystem „Punkt“

Das System besteht aus einer „Wanne“, die als Deckenbeschwerung mit Schüttung fungiert und die mittels geschäumter Polyurethan-Pads entkoppelt auf der Grunddecke punktförmig gelagert ist. Auf dieser Wanne befindet sich ein Trockenestrichsystem, das durch eine Trittschalldämmung elastisch auf der Schüttung aufliegt. Um die akustische Performance dieses Systems zu optimieren, wurden folgende wesentliche Variationsparameter definiert und systematisch untersucht:

- **Estrichsystem (Flächengewicht):** Variationen des Flächengewichts des Trockenestrichs, um den Einfluss auf die Trittschalldämmung und die Gesamtmasse des Systems zu analysieren.
- **Trittschalldämmung (Materialität):** Verschiedene Materialien der Trittschalldämmung wurden eingesetzt, um deren elastische Eigenschaften und die Auswirkungen auf die Schallübertragung zu bewerten.
- **Schüttung (Materialität):** Die Materialität der Schüttung wurde variiert, um die unterschiedlichen Dämpfungseigenschaften und das Verhalten der Masse als Beschwerung zu testen.
- **Lagerung der Schüttung (dynamische Steifigkeit):** Die dynamische Steifigkeit der Lagerung der Schüttung wurde modifiziert, um den Einfluss auf die Schallübertragung und die Trittschallminderung zu untersuchen.

Diese Variationen der in

Abbildung 30 und Abbildung 31 dargestellten Systemvariante „Punkt“ dienten dazu, eine optimale Kombination der Systemkomponenten zu identifizieren, die sowohl die bauakustischen Anforderungen erfüllt als auch eine effiziente Trittschallminderung gewährleistet.



TROCKENESTRICHSYSTEM	25 - 42.5 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE	12 - 20 mm
SCHÜTTUNG	60 - 120 mm
OSB-PLATTE	25 mm
SYLODYN	6 - 25 mm
BRETTSTAPEL-ROHDECKE,	140 mm
$m' = 60 \text{ kg/m}^2$	

Abbildung 30: Schnittdarstellung der untersuchten Fußbodenkonstruktion „Punkt“ und dessen Parameter auf der Brettstapeldecke



Abbildung 31: Beispielfoto einer Messsituation eines Deckenaufbaus mit dem Fußbodensystem „Punkt“ auf einer Brettstapeldecke

4.6.1.1. Variantenmatrix

Ausgehend von den in Abbildung 30 dargestellten Systemvarianten ergibt sich die in Tabelle 6 aufgeführte Variantenmatrix. Diese Matrix zeigt die unterschiedlichen Variationen der zuvor definierten Parameter und deren systematische Anwendung bei den verschiedenen Fußbodenkonstruktionen. Jede Variante wurde hinsichtlich ihrer akustischen Wirksamkeit bewertet.

Tabelle 6: Übersicht über die Parameter und dessen Variation im Rahmen der Messungen der Norm-Trittschallpegel des Fußbodensystems „Punkt“

Estrich	Lagermaterial des Estrichs	Lagerdicke in mm	Schüttung - Dicke in mm	Schüttung Material	Lagerung Schüttung	Lagerdicke in mm
25mm GFP	Steinwolle	12mm	120	Perlit/Beton Granulat	Sylodyn NE	25
37.5mm GFP	Holzfaser	20mm	120	Perlit	keine	12
30mm GFP			60	Beton Granulat	Steinwolle	6
42.5mm GFP						

4.6.1.2. Einfluss des Estrichs

In Abbildung 32 ist der Einfluss der verschiedenen Trockenestrichsysteme aus Tabelle 6 auf den Norm-Trittschallpegel der Brettstapeldecke in Kombination mit dem Fußbodensystem „Punktlagerung“ dargestellt. Die variierenden Flächengewichte der Estrichsysteme zeigen einen klaren Effekt auf den frequenzabhängigen Verlauf des Norm-Trittschallpegels. Insbesondere im mittleren und höheren Frequenzbereich ab etwa 200 Hz ist eine deutliche Verbesserung des Trittschallschutzes zu beobachten. Mit steigendem Flächengewicht des Estrichs verbessert sich der Trittschallpegel um bis zu 15 dB, was auf die erhöhte Masse des Systems zurückzuführen ist.

Ab einem Frequenzbereich von ca. 3150 Hz laufen die Kurven der verschiedenen Systeme zusammen, was auf die geringen Pegel und den damit verbundenen kleinen Signalabstand zum Umgebungsgeräusch zurückzuführen ist. Unterhalb von 200 Hz hat das Flächengewicht des Estrichs hingegen einen geringeren Einfluss auf die Trittschallminderung, da die Veränderung des Gesamtgewichts im tiefen Frequenzbereich nicht ausreichend ist, um signifikante Verbesserungen zu bewirken.

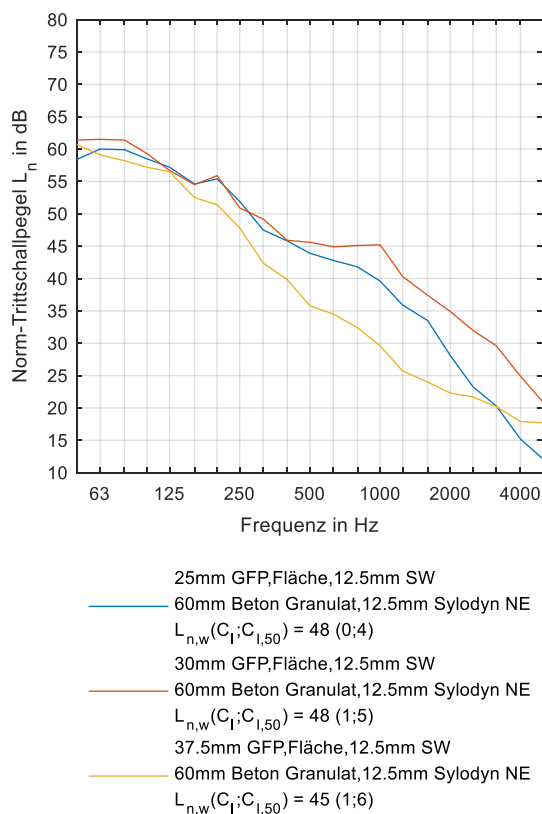


Abbildung 32: Darstellung des Einflusses der Dicken des Trockenestrichs aus Gipsfaserplatten (25 mm, 30 mm, 37,5 mm) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.1.3. Einfluss der Trittschalldämmung

Abbildung 33 zeigt den Einfluss der beiden unterschiedlichen Materialitäten der Trittschalldämmung unterhalb des Estrichs. Für beide Estrichvarianten lässt sich erkennen, dass die Konstruktion mit Steinwolle trotz ihrer höheren dynamischen Steifigkeit (40 MN/m^3 laut Datenblatt) im Vergleich zur Holzfaser (30 MN/m^3 laut Datenblatt) einen deutlich niedrigeren einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel aufweist.

Dieser Unterschied ist insbesondere im Frequenzbereich zwischen 125 Hz und 1000 Hz ausgeprägt. Hier zeigen die Deckenkonstruktionen mit Steinwolle als Trittschalldämmung eine Verbesserung um bis zu 13 dB im Vergleich zur Variante mit Holzfaser. Dies deutet darauf hin, dass die höhere innere Dämpfungseigenschaft der Steinwolle in diesem Frequenzbereich wirksamer zur Trittschallminderung beiträgt, obwohl sie eine höhere Steifigkeit besitzt.

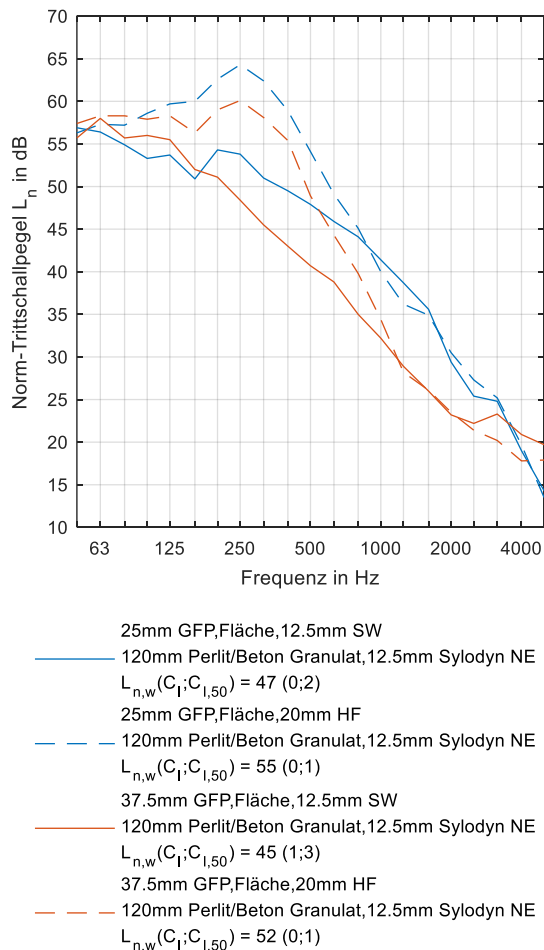


Abbildung 33: Darstellung des Einflusses der Trittschalldämmung (12 mm Steinwolle, 20 mm Holzfaser) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ mit variierenden Dicken des Estrichs aus Gipsfaserplatten (25 mm, 37,5 mm) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.1.4. Einfluss der Schüttung

Abbildung 34 veranschaulicht den Einfluss der unterschiedlichen Schüttungsvarianten gemäß Tabelle 6 auf den Norm-Trittschallpegel einer Brettstapeldecke in Kombination mit der Fußbodenkonstruktion „Punktlagerung“. Die Flächengewichte der Schüttungsvarianten variieren stark: 60 mm Betongranulat mit 90 kg/m², 120 mm Perlit mit 102 kg/m² sowie 120 mm einer Perlit-/Betongranulat-Mischung mit 95,1 kg/m². Trotz dieser deutlichen Unterschiede im Flächengewicht ist der Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel insgesamt gering. Der größte Unterschied zeigt sich im Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 200 Hz, wo die leichteste Variante (Perlit) im Vergleich zur schwersten Variante (Betongranulat) eine Differenz von bis zu 5 dB aufweist. In diesem tieffrequenten Bereich zeigt sich eine Tendenz: Mit zunehmendem Flächengewicht der Schüttung verbessert sich der Norm-Trittschallpegel. Diese Verbesserung lässt sich auf die höhere Masse zurückführen, die die Schallübertragung in tiefen Frequenzen effektiver dämpft.

In der Einzahlbewertung fällt der Einfluss des erhöhten Flächengewichts jedoch aufgrund des eingeschränkten Frequenzbereichs, in dem diese Masse besonders wirksam ist, nur gering aus. Oberhalb von 200 Hz sind kaum Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen, was darauf hindeutet, dass das Flächengewicht in höheren Frequenzen eine deutlich geringere Rolle spielt.

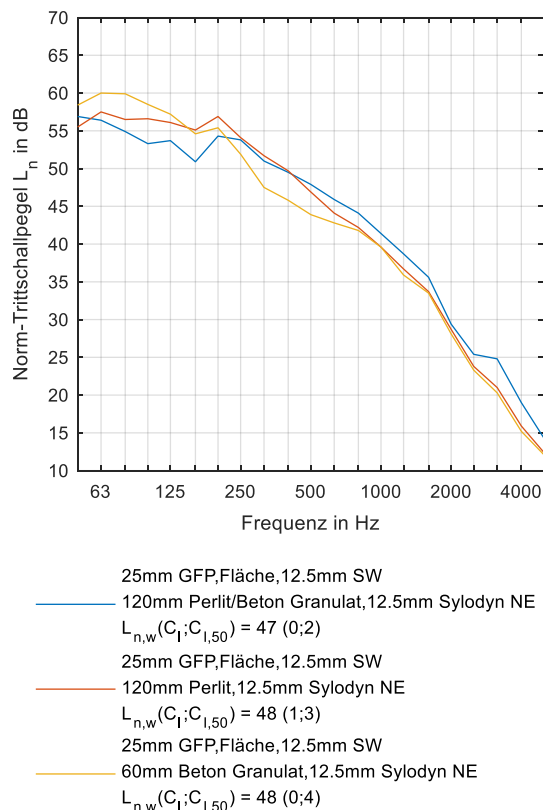


Abbildung 34: Darstellung des Einflusses der Schüttung (120 mm Perlit/Betongranulat, 120 mm Perlit, 60 mm Betongranulat) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ mit Estrich aus Gipsfaserplatten (25 mm) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.1.5. Einfluss der Lagerung der Wannen

Abbildung 35 zeigt den Einfluss verschiedener Lagerungsvarianten unterhalb der „Wanne“ auf den Norm-Trittschallpegel einer Brettstapeldecke in Kombination mit der Fußbodenkonstruktion „Punktlagerung“. Es wird deutlich, dass die Einführung einer zusätzlichen Entkopplungsebene aus Steinwolle (12 mm) nur minimale Auswirkungen auf die Reduktion des Norm-Trittschallpegels hat. Ebenso zeigt sich, dass die Dicke der Lagerung (6 - 25 mm) kaum Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel nimmt.

Bemerkenswert ist hingegen, dass eine punktförmige Lagerung auf geschäumten Polyurethanpads im Frequenzbereich von 50 Hz bis 250 Hz eine signifikante Verbesserung des Trittschallpegels um bis zu 7 dB bewirkt. Dies deutet darauf hin, dass die punktuelle Lagerung besonders in tiefen Frequenzen effizienter zur Reduktion der Schallübertragung beiträgt. Im höheren Frequenzbereich, oberhalb von 250 Hz, zeigt die Variante mit flächiger Lagerung auf Steinwolle hingegen eine bis zu 5 dB stärkere Dämpfung. Dies lässt sich vermutlich auf die höhere innere Dämpfung der Steinwolle zurückführen, die in höheren Frequenzbereichen wirksamer ist.

In der Einzahlbewertung des Norm-Trittschallpegels ergeben sich durch die Lagerung der Wanne, insbesondere im Vergleich zu einer Konstruktion ohne zusätzliche Lagerung oder mit einer flächigen 12 mm dicken Trittschalldämmplatte aus Steinwolle, Verbesserungen von bis zu 6 dB. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Wahl der Lagerungsart und -materialien eine entscheidende Rolle in der Optimierung des Trittschallschutzes spielt.

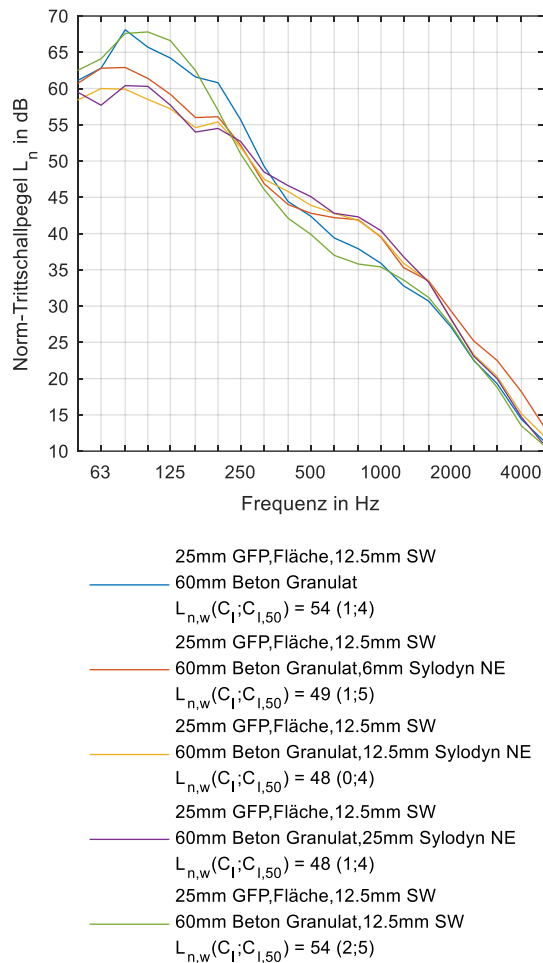


Abbildung 35: Darstellung des Einflusses der Wannenlagerung (keine, 6 mm Sylodyn, 12 m Sylodyn, 25 mm Sylodyn, 12 mm Steinwolle) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ mit Estrich aus Gipsfaserplatten (25 mm) und 12 mm Trittschalldämmung aus Steinwolle auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.1.6. Übersicht

Abbildung 36 fasst die Ergebnisse der durchgeführten Variantenstudie in Form der einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ mit und ohne Spektrumanpassungswert $C_{I,50}$ zusammen. Die Darstellung verdeutlicht den Einfluss der verschiedenen untersuchten Parameter auf den Trittschallschutz der Brettstapeldecke in Kombination mit unterschiedlichen Fußbodenkonstruktionen.

Die Auswertung zeigt, dass sich die Wahl der Schüttung, der Lagerungsart sowie der Trittschalldämmung maßgeblich auf den $L_{n,w}$ und den $L_{n,w} + C_{I,50}$ auswirkt. In den Varianten mit höheren Flächengewichten und optimierten Trittschalldämmungen lassen sich deutliche Verbesserungen des Trittschallschutzes erzielen, insbesondere in den Frequenzbereichen, die für den subjektiv wahrgenommenen Trittschall am relevantesten sind. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Konstruktionen und Lagerungstypen, insbesondere in Kombination mit unterschiedlichen Schüttungen und Estrichsystemen, werden in den Diagrammen übersichtlich dargestellt, wobei einige Varianten durch eine signifikante Trittschallminderung hervorstechen.

Ohne Entkopplung unter Wanne

EP3 - 12mm		m' Estrich in kg/m ²		
		29	38	43
L _{n,w} + CI50	m' _s = 78 kg/m ²	59	58	57
L _{n,w} in dB		53	54	51

Mit Entkopplung unter Wanne

EP3 - 12mm				
L _{n,w} + CI50 in dB	m' Estrich in kg/m ²			
	29	38	43	
m' Schüttung in kg/m ²	11	53	52	51
	43	51	50	49
	78	50	50	48

EP3 - 12mm				
L _{n,w} in dB	m' Estrich in kg/m ²			
	29	38	43	
m' Schüttung in kg/m ²	11	48	48	45
	43	48	48	45
	78	47	47	45

Mit Entkopplung unter Wanne

Holzfaser- 20mm				
L _{n,w} + CI50 in dB	m' Estrich in kg/m ²			
	29	38	43	
m' Schüttung in kg/m ²	11	55	56	57
	43	54	53	52
	78	56	54	53

Holzfaser- 20mm				
L _{n,w} in dB	m' Estrich in kg/m ²			
	29	38	43	
m' Schüttung in kg/m ²	11	53	55	56
	43	50	51	49
	78	55	52	52

A	hoher Schallschutz
B	erhöhter Schallschutz
C	Basisschallschutz
D	Verringerter Schallschutz

L _{n,w} < 48
L _{n,w} > 48

Abbildung 36: Übersicht über die gemessenen einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$ des Fußbodensystems „Punkt“ und Einteilung in die Komfortklassen gemäß ÖNORM B 8115-5 bzw. Erfüllung der Anforderungen gemäß OIB RL 5 für Wohnbau

4.6.2. Erkenntnisse

- **Flächengewicht des Estrichs und Norm-Trittschallpegel:** Das Flächengewicht des Estrichs hat einen signifikanten Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel. Mit steigendem Flächengewicht verbessert sich der Norm-Trittschallpegel insbesondere bei höheren Frequenzen (ab ca. 200 Hz). Bei Frequenzen unter 200 Hz hat das Flächengewicht des Estrichs nur einen begrenzten Einfluss.
- **Materialität der Trittschalldämmung:** Die Trittschalldämmung beeinflusst den einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel erheblich. Steinwolle mit höherer dynamischer Steifigkeit bietet eine bessere Trittschallminderung im Vergleich zu Holzfaser, insbesondere im Frequenzbereich zwischen 125 Hz und 1000 Hz, obwohl die Steinwolle eine höhere Steifigkeit aufweist.
- **Schüttungsvarianten und Norm-Trittschallpegel:** Unterschiede im Flächengewicht der Schüttung haben nur einen begrenzten Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel. Der größte Unterschied tritt im Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 200 Hz auf, wo die schwerere Schüttung bessere Ergebnisse liefert. Die Einzahlbewertung zeigt aufgrund des begrenzten Frequenzbereichs nur geringe Auswirkungen der Schüttungsvarianten.
- **Lagerung der Wanne und Trittschallminderung:** Eine zusätzliche Entkopplungsebene aus Steinwolle hat kaum Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel. Die Lagerdicke (6 - 25 mm) beeinflusst den Norm-Trittschallpegel nur minimal. Punktförmige Lagerung auf geschäumtem Polyurethan zeigt im Bereich von 50 Hz bis 250 Hz eine signifikante Trittschallminderung. Im höheren Frequenzbereich bietet Steinwolle aufgrund ihrer besseren inneren Dämpfung Vorteile.

4.6.3. Fußbodensystem „Linie“

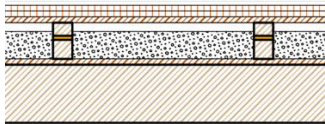
Das beschriebene System (siehe

Abbildung 37) besteht aus Staffeln, deren zwei Teile längs mittels geschäumter Polyurethane entkoppelt wurden. Dies führt zu einer linienförmigen Lagerung, bei der sowohl die Dicke als auch die Steifigkeit der Lagerung variiert wurden, um verschiedene Estrichvariationen zu untersuchen. Der Hohlraum zwischen den Staffeln und unterhalb des Estrichs wurde mit Schüttung verfüllt, wobei folgende Variationsparameter betrachtet wurden:

- **Schüttung (Lagerung und Material):** Der Hohlraum wurde entweder komplett mit Betongranulat in unterschiedlichen Dicken verfüllt oder die Schüttung zusätzlich auf einer Mineralwolleplatte gelagert. Alternativ wurde der Hohlraum lediglich mit einer Mineralwolleplatte ohne Schüttung bedämpft.
- **Estrichvariationen (Flächengewicht):** Unterschiedliche Dicken und Flächengewichte des Estrichs wurden verwendet, um deren Einfluss auf die Trittschallminderung zu analysieren.

- **Lagerung in den Staffeln (Dicke und Steifigkeit):** Die Dicke und die dynamische Steifigkeit der Lagerung innerhalb der Staffeln wurden variiert, um den Einfluss auf die Schallübertragung und die Trittschallminderung zu bewerten.
- **Entkopplungsebene unterhalb des Systems:** Zusätzliche Entkopplung: In einer weiteren Variante wurde das gesamte System zusätzlich auf einer weiteren Entkopplungsebene gelagert, um die akustische Entkopplung zu maximieren.

Diese Varianten ermöglichten es, die Effekte auf die Trittschallminderung und die Schallübertragung systematisch zu untersuchen.



TROCKENESTRICH PLATTE	/	OSB-	12.5 - 25 mm
OSB-PLATTE			18 mm
STAFFEL 4/6			40 mm
SYLOMER			6 - 12.5 mm
STAFFEL 4/6			40 mm
SCHÜTTUNG			50 - 70 mm
OSB-PLATTE			25 mm
BRETTSTAPELDECKE- ROHDECKE,			140 mm
$m' = 60 \text{ kg/m}^2$			

Abbildung 37: Schnittdarstellung der untersuchten Fußbodenkonstruktion „Linie“ und deren Parameter auf Brettstapeldecke



Abbildung 38: Beispielfoto einer Messsituation eines Deckenaufbaus mit dem Fußbodensystem „Linie“ auf einer Brettstapeldecke

4.6.3.1. Variantenmatrix

Ausgehend von den in Abbildung 37 dargestellten Systemvarianten ergibt sich die in Tabelle 7 angeführte Variantenmatrix. Diese Matrix zeigt die unterschiedlichen Variationen der zuvor definierten Parameter und deren systematische Anwendung bei den verschiedenen Fußbodenkonstruktionen. Jede Variante wurde hinsichtlich ihrer akustischen Wirksamkeit bewertet.

Tabelle 7: Übersicht über die Parameter und deren Variation im Rahmen der Messungen der Norm-Trittschallpegel des Fußbodensystems „Linie“

Estrich	Lager	Lagerdicke in mm	Schüttungshöhe in mm	Schüttungsmaterial	Entkopplung unterhalb der Wanne	Entkopplungsdicke unterhalb der Wanne in mm
2x12.5mm GBP	SR18	12.5	70	Betongranulat	MW	20
2x18mm GBP	SR28	6	50	keine (mit MW als Hohlraumbedämpfung)	SW	30
25mm OSB			30			12

4.6.3.2. Einfluss des Estrichs

In Abbildung 39 ist der Einfluss der verschiedenen Trockenestrichsysteme aus Tabelle 7 auf den Norm-Trittschallpegel der Brettstapeldecke in Kombination mit dem Fußbodensystem „Linienlagerung“ dargestellt. Die variierenden Flächengewichte der Estrichsysteme zeigen einen signifikanten Effekt auf den frequenzabhängigen Verlauf des Norm-Trittschallpegels. Ab etwa 100 Hz lässt sich eine deutliche Verbesserung des Trittschallschutzes mit zunehmendem Flächengewicht des Estrichs erkennen. Je schwerer der Estrich (2 x 12,5 mm GFP = 17 kg/m², 2 x 18 mm = 25 kg/m², 25 mm OSB = 16 kg/m²), desto stärker reduziert sich der Trittschallpegel, mit einer Verbesserung um bis zu 11 dB. Dies ist auf die erhöhte Masse des Systems zurückzuführen. Die Verschlechterung des Trittschallschutzes bei der Verwendung einer OSB-Platte als Estrich ist im Vergleich zu ihrem geringen Flächengewicht überproportional. Diese Verschlechterung kann nicht ausschließlich durch das geringere Gewicht erklärt werden. Eine mögliche Ursache könnte die höhere Oberflächenhärte und Impedanz der OSB-Platte sein, die das Kraftspektrum der Hammerwerksanregung verändert und somit die Schallübertragung begünstigt. Ab einem Frequenzbereich von etwa 3150 Hz gleichen sich die Verläufe der verschiedenen Estrichsysteme an, was auf die niedrigen Pegel und den dadurch geringeren Signalabstand zum Umgebungsgeräusch zurückzuführen ist. Unterhalb von 63 Hz hat das Flächengewicht des Estrichs hingegen einen geringeren Einfluss auf die Trittschallminderung, da die Gewichtsunterschiede in diesem tiefen Frequenzbereich nicht ausreichend sind, um signifikante Verbesserungen zu erzielen.

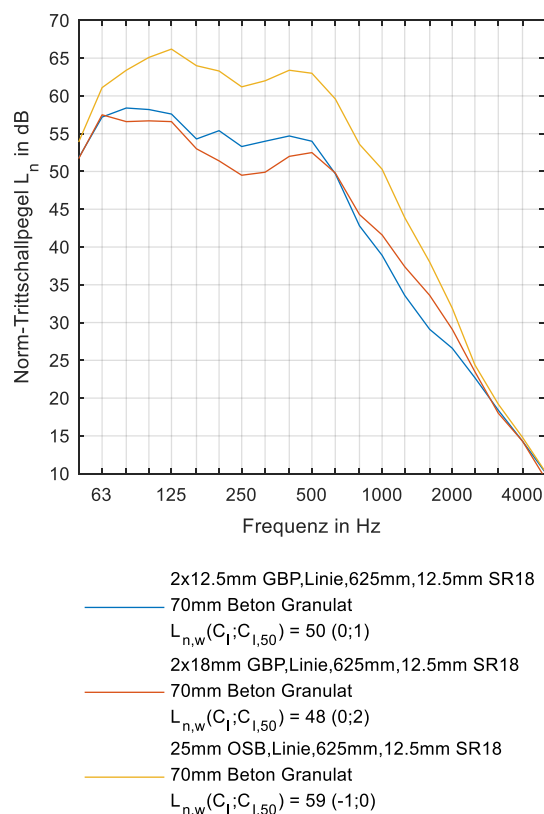


Abbildung 39: Darstellung des Einflusses der Dicken des Trockenestrichs aus Gipsbauplatten (2x 12.5 mm, 2x 18 mm) und einer OSB Platte (25 mm) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-

4.6.3.3. Einfluss der Lagersteifigkeit

Abbildung 40 zeigt den Einfluss der Lagersteifigkeit auf den Norm-Trittschallpegel des Systems „Linie“ auf einer Brettstapeldecke. Es ist erkennbar, dass der Einsatz eines steiferen Lagers (SR 18 mit einer dynamischen Steifigkeit von $s' = 0,29 \text{ MN/m}^3$ und SR 28 mit $s' = 0,42 \text{ MN/m}^3$) zu einer geringfügigen Erhöhung des Norm-Trittschallpegels im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 1000 Hz führt. Bei der Trockenestrichvariante mit 2x 12,5 mm GKB ist eine Erhöhung des Trittschallpegels um etwa 3 dB zu beobachten, was auf die erhöhte Steifigkeit der Lagerung zurückzuführen ist, die die Schallübertragung im mittleren Frequenzbereich begünstigt.

Bei der potenziell weniger vorteilhafte Estrichvariante mit einer 25 mm OSB-Platte, die bereits in Abschnitt 4.6.3.2 als weniger effizient im Trittschallschutz beschrieben wurde, zeigt sich ein etwas schwächerer Einfluss der Lagersteifigkeit. Hier führt die Steigerung der Steifigkeit im Durchschnitt nur zu einer Erhöhung des Trittschallpegels um etwa 1 dB. Diese geringere Reaktion könnte darauf hindeuten, dass bei Estrichsystemen, die bereits von Natur aus eine geringere Verbesserung des Norm-Trittschallpegels bewirken, die Lagersteifigkeit eine untergeordnete Rolle spielt. Es scheint, dass bei weniger effektiven Estrichsystemen die strukturellen Eigenschaften die Trittschallminderung stärker bestimmen als die Steifigkeit der Lagerung. Daher könnte es weniger sinnvoll sein, bei solchen Systemen die Lagersteifigkeit zu optimieren, da die Auswirkung auf den Trittschallpegel im Vergleich zu massereicheren oder flexibleren Systemen geringer ist.

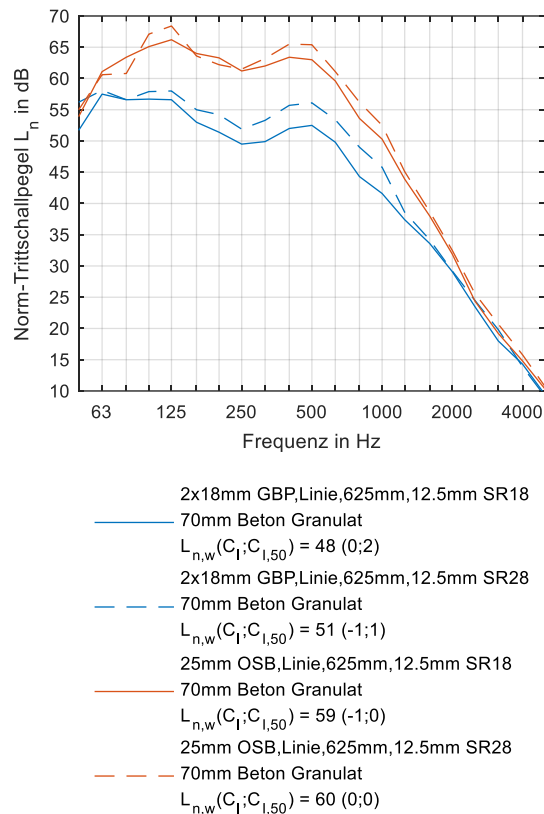


Abbildung 40: Darstellung des Einflusses der Steifigkeit des Linienlagers (SR18, SR28) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12mm GBP, 25mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.3.4. Einfluss der Dicke der Linienlagerung

In Abbildung 41 ist der Einfluss der Lagerdicke zwischen den beiden Holzstaffeln zur Entkopplung des Estrichs von der Grunddecke auf den Norm-Trittschallpegel einer Brettstapeldecke in Kombination mit dem System „Linie“ dargestellt. Es zeigt sich, dass der Einfluss der Lagerdicke ähnliche, wenn auch etwas weniger stark ausgeprägte Effekte wie die Lagersteifigkeit (siehe Abschnitt 4.6.3.3) aufweist. Mit abnehmender Lagerdicke ist eine Zunahme des Norm-Trittschallpegels um rund 2 dB im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 1000 Hz für beide Estrichsysteme zu beobachten. Dieser Anstieg lässt sich darauf zurückführen, dass die dünneren Lager eine reduzierte Entkopplung bieten, was zu einer erhöhten Schallübertragung im mittleren Frequenzbereich führt.

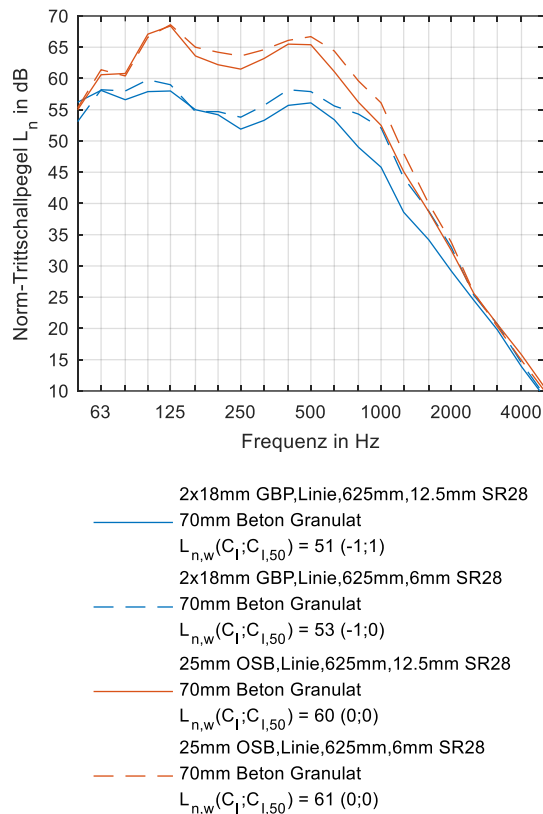


Abbildung 41: Darstellung des Einflusses der Dicke des Linienlagers (6 mm, 12 mm) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 25 mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.3.5. Einfluss der Schüttung

Abbildung 42 zeigt die Gegenüberstellung der gemessenen Norm-Trittschallpegel der Fußbodensystemvariante „Linie“, einmal mit 70 mm Betongranulat als Schüttung im Hohlraum zwischen den Linienentkopplungselementen und einmal mit einer 30 mm dicken Glaswolleplatte ohne zusätzliche Schüttung als Beschwerung. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Auflast durch die Schüttung eine signifikante Reduktion des Norm-Trittschallpegels bewirkt. Dieser Effekt tritt für beide betrachteten Estrichvarianten (2x 12,5 mm GKB und 25 mm OSB) auf und zeigt sich besonders im Frequenzbereich von 63 Hz bis 1000 Hz, wobei die Trittschallpegel um bis zu 12 dB verbessert werden.

Die Verbesserung durch die Schüttung ist für beide Estrichvarianten nahezu gleich ausgeprägt, was darauf hinweist, dass die zusätzliche Masse eine entscheidende Rolle bei der Schallminderung spielt. Im Gegensatz dazu hat die alleinige Bedämpfung des Hohlraums durch eine Glaswolleplatte ohne zusätzliche Schüttung eine deutlich geringere Auswirkung auf den Norm-Trittschallpegel.

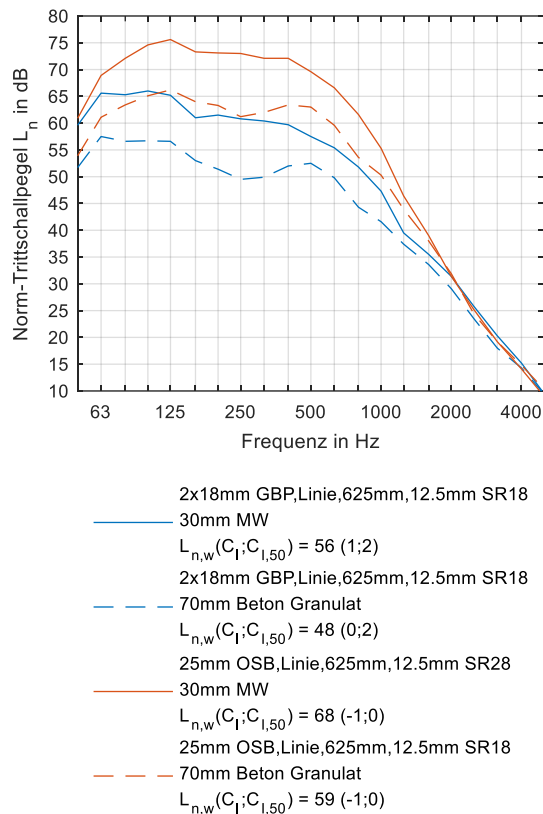


Abbildung 42: Darstellung des Einflusses der Schüttung (70 mm Betongranulat oder 30 mm Mineralwolle) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 25 mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.3.6. Einfluss der Lagerung der Schüttung

Der Einfluss einer zusätzlichen Lagerung der Schüttung auf einer 20 mm starken Glaswolleplatte bei gleichzeitiger Reduktion der Schütthöhe auf 50 mm im Vergleich zu einer 70 mm Schüttung ohne Entkopplung auf den Norm-Trittschallpegel der Fußbodensystemvariante „Linie“ ist in Abbildung 43 dargestellt. Für beide Estrichvarianten (2x 12,5 mm GKB und 25 mm OSB) zeigt sich, dass diese zusätzliche Entkopplung bei gleichzeitiger Reduktion der Schütthöhe keine Verbesserung des Norm-Trittschallpegels bewirkt.

Im Gegenteil: Über den gesamten Frequenzbereich kommt es zu einer Erhöhung des Trittschallpegels um bis zu 8 dB. Dies deutet darauf hin, dass die Reduktion der Schütthöhe eine entscheidende Rolle spielt, indem die verringerte Masse den positiven Effekt der Schallentkopplung durch die Glaswolleplatte überlagert.

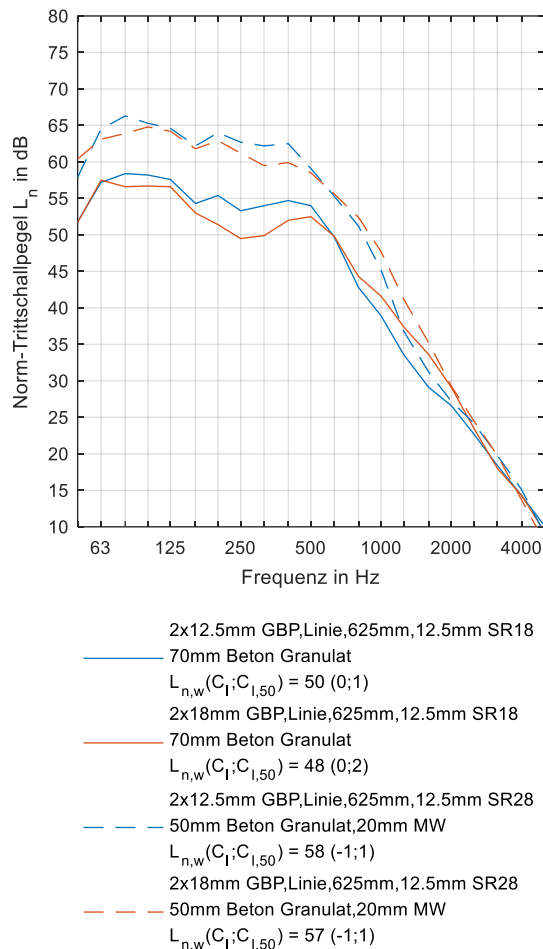


Abbildung 43: Darstellung des Einflusses der zusätzlichen Lagerung der Schüttung (70 mm Beton Granulat bzw. 50mm Betongranulat auf 20 mm Glaswolle) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 2x 18 mm GBP) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.3.7. Einfluss der Lagerung unter der Wanne

Abbildung 44 zeigt den Einfluss verschiedener Lagerungsvarianten unterhalb der „Wanne“ auf den Norm-Trittschallpegel einer Brettstapeldecke in Kombination mit der Fußbodenkonstruktion „Linienlagerung“. Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Abschnitt 4.6.1.5 zeigt der frequenzabhängige Verlauf des Norm-Trittschallpegels eine deutliche Reduktion im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 1000 Hz, mit einer Verbesserung von bis zu 10 dB durch die zusätzliche Entkopplungsebene, die durch eine 30 mm starke Glaswolleplatte erreicht wird.

Für beide Estrichsysteme (2x 12,5 mm GKB und 25 mm OSB) zeigt sich eine vergleichbare Ausprägung dieser Verbesserung. Die zusätzliche Entkopplung durch die Glaswolleplatte führt zu einer signifikanten Minderung des Trittschallpegels in den mittleren Frequenzbereichen, was auf die Effektivität dieser Entkopplungsmaßnahme hinweist.

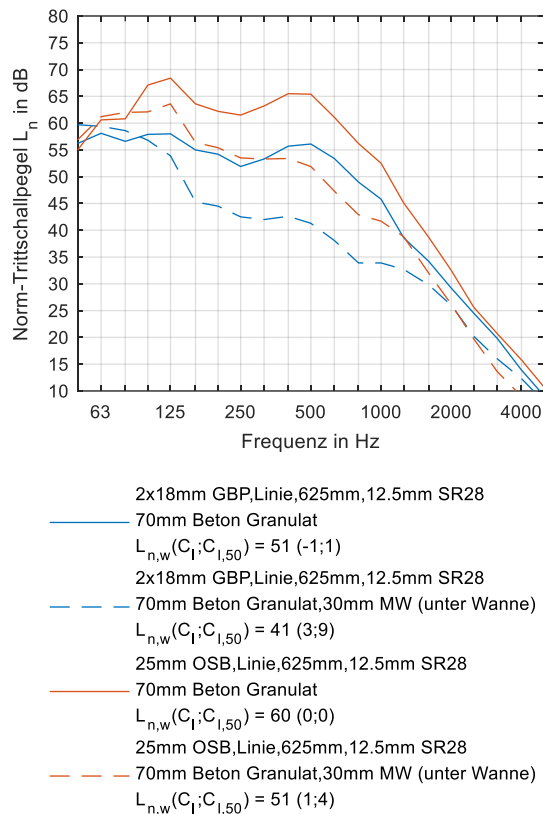


Abbildung 44: Darstellung des Einflusses der zusätzlichen Entkopplung unterhalb der Wanne durch eine 30 mm starke Glaswolleplatte auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 25 mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).

4.6.3.8. Übersicht

Abbildung 45 fasst die Ergebnisse der durchgeführten Variantenstudie in Form der einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ mit und ohne Spektrumanpassungswert $C_{1,50}$ für das System „Linienlagerung“ zusammen. Diese Darstellungen veranschaulichen den Einfluss der verschiedenen untersuchten Parameter auf den Trittschallschutz der Brettstapeldecke in Kombination mit unterschiedlichen Fußbodenkonstruktionen. Sie bieten einen umfassenden Überblick über die akustische Performance der verschiedenen Systemvarianten und helfen dabei, die Wirksamkeit der unterschiedlichen Maßnahmen zur Trittschallminderung zu bewerten.

In Abschnitt 4.6.3 wurden verschiedene Parameter des Fußbodensystems „Linienlagerung“ hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Norm-Trittschallpegel untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das Flächengewicht des Estrichs den Trittschallschutz signifikant verbessert, besonders bei Frequenzen ab 100 Hz. Die Lagersteifigkeit und -dicke beeinflussen ebenfalls den Trittschallpegel, wobei höhere Steifigkeit und geringere Dicke tendenziell zu einer Erhöhung des Trittschallpegels führen. Die Schüttungsvarianten bewirkten eine merkliche Reduktion des Trittschallpegels im Vergleich zur alleinigen Ausstattung des Hohlraums mit Glaswolleplatten. Zusätzliche Entkopplungsebenen, insbesondere bei reduzierter Schütthöhe, zeigten hingegen eine Erhöhung des Trittschallpegels.

		ohne Entkopplung unter Wanne			
		$L_{n,w} + C_{I50}$ in dB	m' Estrich in kg/m ²		
			16 (OSB)	18 (GBP)	29 (GBP)
ohne Entkopplung unter Wanne $s'=10MN/m^3$	mit Schüttung $m'=70kg/m^2$	60	54	52	
	ohne Schüttung	68	61	60	
mit Entkopplung unter Wanne $s'=10MN/m^3$	mit Schüttung $m'=70kg/m^2$	55	52	50	
	ohne Schüttung	-	-	-	

		ohne Entkopplung unter Wanne			
		$L_{n,w}$	m' Estrich in kg/m ²		
			16 (OSB)	18 (GBP)	29 (GBP)
ohne Entkopplung unter Wanne $s'=10MN/m^3$	mit Schüttung $m'=70kg/m^2$	60	53	51	
	ohne Schüttung	68	60	59	
mit Entkopplung unter Wanne $s'=10MN/m^3$	mit Schüttung $m'=70kg/m^2$	51	42	41	
	ohne Schüttung	-	-	-	

A	hoher Schallschutz	
B	erhöhter Schallschutz	
C	Basisschallschutz	$L_{n,w} < 48$
D	Verringerter Schallschutz	$L_{n,w} > 48$

Abbildung 45: Übersicht über die gemessenen einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{I,50}$ des Fußbodensystems „Linie“ und Einteilung in die Komfortklassen gemäß ÖNORM B 8115-5 bzw. Erfüllung der Anforderungen gemäß OIB RL 5 für Wohnbau

4.6.4. Erkenntnisse

Die untersuchten Parameter beeinflussen den Norm-Trittschallpegel der Brettstapeldecke in Kombination mit verschiedenen Varianten des Fußbodensystems „Linienlagerung“. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede je nach Variation der einzelnen Parameter:

- **Flächengewicht des Estrichs:** Das Flächengewicht des Estrichs wirkt sich signifikant auf den Norm-Trittschallpegel aus. Eine Erhöhung des Flächengewichts verbessert den Trittschallschutz merklich, besonders ab 100 Hz. Eine OSB-Platte verschlechtert den Trittschallschutz aufgrund ihrer höheren Oberflächenhärte.
- **Lagersteifigkeit:** Höhere Lagersteifigkeit führt zu einer leichten Erhöhung des Trittschallpegels im Bereich von 100 Hz bis 1000 Hz. Ihr Einfluss bei weniger vorteilhaften Estrichsystemen ist jedoch geringer.
- **Lagerdicke:** Eine reduzierte Lagerdicke erhöht den Trittschallpegel um etwa 2 dB im Frequenzbereich von 100 Hz bis 1000 Hz, was auf den Einfluss der Dicke auf den Trittschallschutz hinweist.
- **Schüttung:** Die Verwendung von 70 mm Betongranulat als Schüttung reduziert den Trittschallpegel um bis zu 12 dB. Eine Schüttung von 50 mm in Kombination mit zusätzlicher Entkopplung führte hingegen zu einer Erhöhung des Trittschallpegels um bis zu 8 dB.

- **Zusätzliche Entkopplung unterhalb der Wanne:** Eine zusätzliche Entkopplungsebene aus 30 mm Glaswolle senkt den Norm-Trittschallpegel im Frequenzbereich von 100 Hz bis 1000 Hz um bis zu 10 dB, was die Effektivität der zusätzlichen Entkopplungsmaßnahmen unterstreicht.

4.7. Gebrauchstauglichkeit

Zusätzlich zu den akustischen Untersuchungen der Deckenkonstruktionen wurden Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit der Gesamtdeckenkonstruktion gemäß ÖNORM B 1995-1-1 durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf den Systemen „Linie“ und „Punkt“ und deren Einfluss auf die Durchbiegung sowie die erste Eigenfrequenz des Deckensystems und somit auf die Erfüllung der Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit (siehe Abbildung 46).

Tabelle NA.7.2-E5 – Grenzwerte des Frequenz- und Steifigkeitskriteriums für Deckenklassen nach Tabelle NA.7.2-E1

	Deckenklasse I	Deckenklasse II	Deckenklasse III
Grenzwert für das Frequenzkriterium	$f_1 \geq f_{gr} = 8 \text{ Hz}$	$f_1 \geq f_{gr} = 6 \text{ Hz}$	–
Grenzwert für das Steifigkeitskriterium	$w_{stat} \leq w_{gr} = 0,25 \text{ mm}$	$w_{stat} \leq w_{gr} = 0,50 \text{ mm}$	–

Abbildung 46: Auszug aus der ÖNORM B 1995-1-1 zu der Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit von Deckensystemen

Die durchgeführten Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf die in Abbildung 46 festgelegten Anforderungen. Weitergehende Anforderungen, wie etwa die Verformungen der Fußbodenaufbaukonstruktion (FBOK), sind darin nicht berücksichtigt und werden dadurch nicht überprüft. Sämtliche Schichten und Komponenten der geplanten Trockenestrich-Konstruktion, die auf den jeweiligen Deckenträger aufgebracht werden, müssen auf die technischen Anforderungen abgestimmt sowie im Hinblick auf Gebrauchstauglichkeit und Langlebigkeit sorgfältig ausgewählt werden.

4.7.1. Versuchsaufbau

Die untersuchten Deckensysteme (siehe Abschnitt 5.1.1.; Holz-Beton-Verbunddecke, Brettsper Holzdecke, Holzbalkendecke) wurde linienförmig auf Holzbalken zweiseitig gelagert, wobei die Auflagerbereiche zur Simulation der realen Einbausituation mit Schrauben fixiert wurden. Die Verschraubung diente der Stabilisierung und Vermeidung von Verschiebungen an den Auflagern. Als Referenz diente ein Betonbalken, mittels dem die Deckenverformung unter einer Auflast von 100 kg in der Deckenmitte gemessen wurde. Diese Referenzmessung ermöglichte einen direkten Vergleich der Durchbiegung zwischen dem Holz- und Betonaufbau und gab Aufschluss über das statische Verhalten und die

Schwingungsanfälligkeit der Decke in Anlehnung an die Anforderungen der ÖNORM B 1995-1-1. Der Aufbau ist in Abbildung 47 dargestellt.



Abbildung 47: Abbildung des Mess-Setups zur Bestimmung der ersten Eigenfrequenz und der Durchbiegung bei 100 kg Punktlast in Deckenmitte

4.7.2. Ergebnisse

Alle untersuchten Deckenkonstruktionen erfüllten die Anforderungen an die Eigenfrequenz für die Deckenklassen 1 und 2, wobei keine Beeinflussung durch die Haupttragrichtung festgestellt wurde. Die Durchbiegung an der Deckenunterseite konnte bei Holzbalkendecken durch eine orthogonale Anordnung der beiden Haupttragrichtungen der Fußbodenkonstruktion und des Deckensystems um 9%-15% (siehe Abbildung 48) reduziert werden. Für die anderen Grunddeckensysteme, Holz-Beton-Verbund und Brettsperrholz, zeigte sich kein Einfluss der Haupttragrichtung des Fußbodensystems.

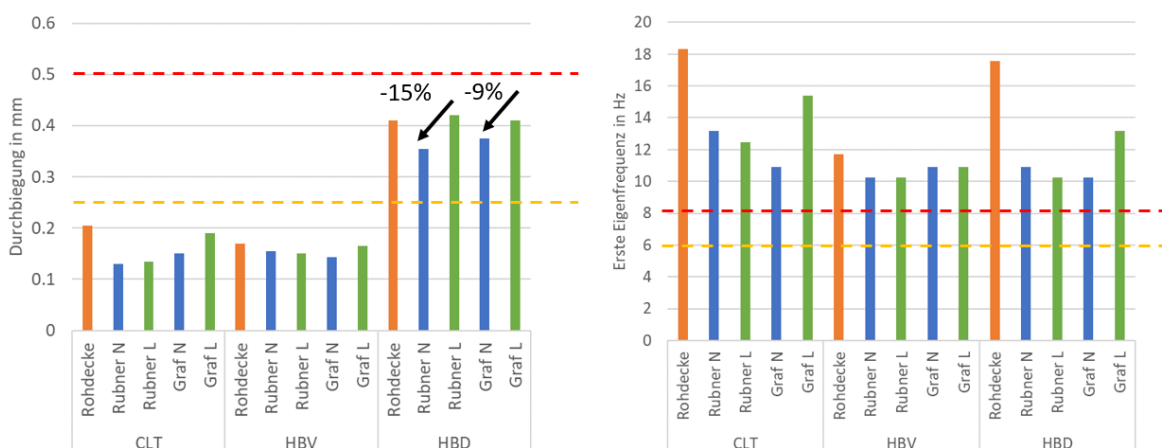


Abbildung 48: Einfluss der Haupttragrichtung der Fußbodenkonstruktion N Normal, L Längs zur Haupttragrichtung der Grunddecke auf die Durchbiegung der Gesamtdeckenkonstruktion an der Deckenunterseite

4.8. Modellierung

4.8.1. Modellierungsansatz

Grundsätzlich wurde der gewählte Ansatz zur Modellierung des Trittschallpegels durch die Notwendigkeit bestimmt, präzise Vorhersagen für verschiedene Fußbodenkonstruktionen auf Brettsperrholzdecken zu treffen. Traditionelle Methoden zur Prognose von Trittschallpegeln stoßen oft an ihre Grenzen, insbesondere wenn es um die Berücksichtigung komplexer und nicht-linearer Zusammenhänge geht, die durch die physikalischen Eigenschaften der Materialien und deren Wechselwirkungen entstehen. In diesem Kontext bietet der Einsatz von Künstlicher Intelligenz, im Speziellen jener von neuronalen Netzwerken, erhebliche Vorteile. Neuronale Netzwerke sind in der Lage, große Mengen an Daten zu verarbeiten und dabei tiefgehende Muster zu erkennen, die für die genaue Vorhersage von Trittschallpegeln erforderlich sind. Der gewählte Ansatz zielt darauf ab, durch die Anwendung eines tiefen neuronalen Netzwerks die komplexen Zusammenhänge zwischen den physikalischen Eingangsparametern und den resultierenden Trittschallpegeln besser zu erfassen und so die Genauigkeit der Vorhersagen zu erhöhen.

In Abbildung 49 ist der gesamte Modellierungsprozess als Prozessflussdiagramm dargestellt, das die wesentlichen Schritte visualisiert:

1. Datenerfassung und -vorverarbeitung,
2. Modellarchitektur,
3. Training des Modells,
4. Validierung und Evaluierung sowie
5. Optimierung und Feineinstellung.

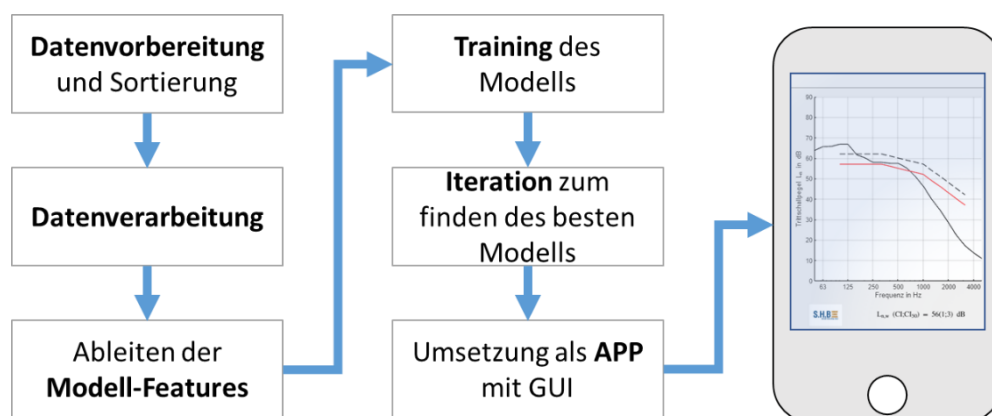


Abbildung 49: Prozessablauf der Entwicklung der Prognosemodelle der Norm-Trittschallpegel der untersuchten Fußbodensysteme in Kombination mit einer Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbunddecke

Nach Abschluss aller Vorversuche, die sowohl im Klein- als auch im Großformat durchgeführt wurden, wurde basierend auf den Messdaten ein KI-Modell zur Prognose

des Trittschallpegels L_n einer Brettsper Holzdecke mit Fußbodenkonstruktionen vom Typ „Linie“ und „Punkt“ entwickelt. Grundlage dieses Modells war ein neuronales Netzwerk, das speziell für die Systeme „Linie“ und „Punkt“ konzipiert wurde. Der Messdatensatz umfasste rund 400 Messungen, was eine ausreichende Aufteilung in Trainings-, Test- und Validierungsdaten ermöglichte.

Die Entwicklung des neuronalen Netzwerks begann mit der Vorverarbeitung der Eingangsparameter, die das Flächengewicht des Estrichs, die dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung bzw. der Lagerung des Estrichs, das Flächengewicht der Schüttung und die dynamische Steifigkeit der Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung umfassten. Diese Daten wurden normalisiert, um konsistente Eingangsgrößen zu gewährleisten. Anschließend wurde eine tiefgreifende Architektur mit 100 Ebenen entworfen, um die komplexen, nicht-linearen Zusammenhänge zwischen den Eingangsparametern und dem frequenzabhängigen Trittschallpegel $L_{n,w}$ abzubilden. Der Output des Netzwerks wurde so strukturiert, dass es für jedes Frequenzband eine Vorhersage lieferte.

Das Training des Modells erfolgte mithilfe der vorbereiteten Daten, wobei das Netzwerk durch Rückpropagation und Optimierungsalgorithmen wie den Stochastic Gradient Descent (SGD) lernte, die Beziehungen zwischen den Eingaben und den entsprechenden Trittschallpegeln korrekt abzubilden. Durch die Aufteilung des Datensatzes in ausreichend viele Trainings-, Test- und Validierungsdaten konnte die Leistung des Modells während des Trainings kontinuierlich überwacht und optimiert werden. Überanpassungen wurden vermieden, indem die Modellleistung regelmäßig auf dem Validierungsdatensatz überprüft wurde.

Nach Abschluss des Trainings und der Validierung wurde das Modell auf einem unabhängigen Testdatensatz evaluiert. Die Ergebnisse zeigten eine Abweichung zwischen dem prognostizierten einzahlbewerteten Trittschallpegel $L_{n,Rechnung}$ und dem gemessenen Trittschallpegel $L_{n,w,Messung}$, wie in Abbildung 51 dargestellt. Es stellte sich heraus, dass die allgemein übliche Abweichung von ± 2 dB bei derartigen Modellen im 95%-Konfidenzintervall mit 2,2 dB über den gesamten Datensatz nicht vollständig erreicht wurde.

Eine detaillierte Analyse zeigte jedoch, dass diese Abweichung hauptsächlich auf Ausreißer im Datensatz zurückzuführen war, die durch individuelle Besonderheiten, wie beispielsweise die fehlende Lagerung der Schüttung, bedingt waren und daher nur eine geringe Repräsentation im Gesamtdatensatz aufwiesen. Nach der Berücksichtigung dieser Ausreißer reduzierte sich die erzielte Standardabweichung auf 2,1 dB. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Robustheit des entwickelten neuronalen Netzwerks, obwohl es bei der Modellierung von speziellen, weniger häufig auftretenden Systemkonfigurationen Herausforderungen gab.

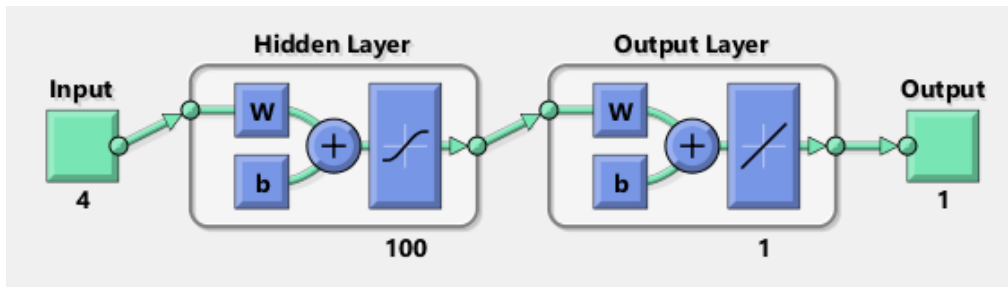


Abbildung 50: Layer-Struktur des angewendeten Neuralen Netzes zur Prognose der Norm-Trittschallpegel der untersuchten Fußbodensysteme in Kombination mit einer Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbunddecke

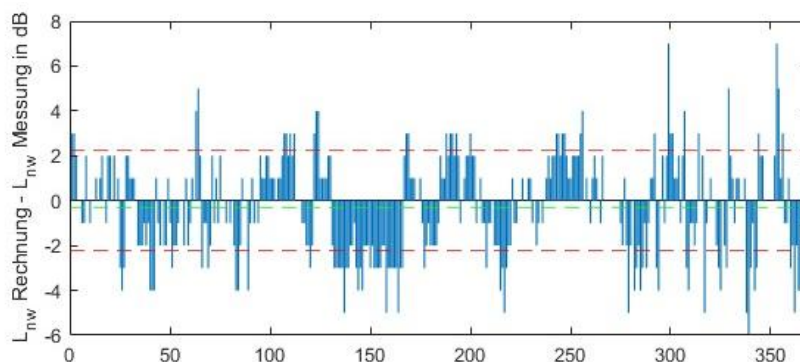


Abbildung 51: Abweichung zwischen dem mittels Neural Network prognostiziertem einzahlbewertetem Trittschallpegel $L_{n,w,Rechnung}$ und $L_{n,w,Messung}$ über den Datensatz generiert aus Abschnitt 4.4 auf einer Brettsperrholzdecke

Das Prognosemodell für den Einfluss der Grunddecke auf den Trittschallpegel der Gesamtdecken, bestehend aus Fußbodenkonstruktion und Rohdecke, wie in Abbildung 52 dargestellt, wurde äquivalent zu dem zuvor präsentierten Prognosemodell entwickelt. Basierend auf den generierten Daten aus Abschnitt 4.6 wurde ein neuronales Netzwerk trainiert, um Messdaten, die auf einer Brettsperrholzrohdecke gewonnen wurden, auf die zu erwartenden Messdaten auf einer Holz-Beton-Verbunddecke zu "übersetzen". Die erreichte Prognosegenauigkeit, ausgedrückt als Abweichung zwischen $L_{n,w,Rechnung}$ und $L_{n,w,Messung}$ ist in Abbildung 52 dargestellt. Dabei wurde eine Standardabweichung von $\pm 1,4$ dB erzielt, was eine zu erwartende Genauigkeit bedeutet, die deutlich unter den ± 2 dB liegt.

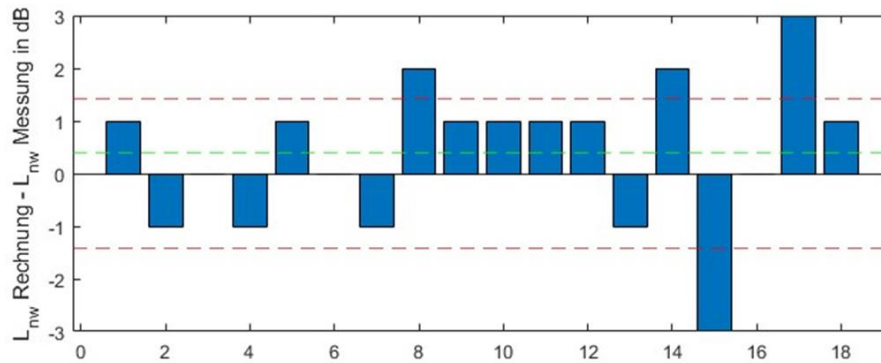


Abbildung 52: Abweichung zwischen dem mittels Neural Network prognostizierten einzahlbewerteten Trittschallpegel $L_{n,w,Rechnung}$ und dem gemessenen $L_{n,w,Messung}$ über den Datensatz generiert aus Abschnitt 4.6 auf Holz-Beton-Verbunddecken

4.8.2. Umsetzung als Webservice

Der Prozess zur Umsetzung des beschriebenen Modells als Webservice begann mit der Integration der Prognosemodelle in die Softwareumgebung "Matlab 2023b". In dieser Umgebung wurden die neuronalen Netzwerke entwickelt und trainiert, um präzise Vorhersagen des Trittschallpegels für Fußbodenkonstruktionen auf Brettsperrholz- und Holzbetonverbunddecken zu ermöglichen. Die Resultate dieser Integration wurden in ein benutzerfreundliches Tool innerhalb von Matlab eingebettet, das eine einfache Eingabe der physikalischen Parameter und die Generierung von Prognosen ermöglicht.

Für die Bereitstellung des Modells als Webservice wurde das Tool anschließend auf eine Webseite übertragen. Diese Webseite dient als Hosting-Plattform für den Webservice und ermöglicht es den Nutzenden, die Prognosemodelle direkt über eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) zu verwenden. Der Webservice ist so konzipiert, dass er über den Webbrowser zugänglich ist, ohne dass eine lokale Installation von Matlab erforderlich ist.

Das Webservice (Berechnungstool) ist unter www.bauakustik-research.at unter „Schall.Holz.Bau III“ aufrufbar.

Abbildung 53 zeigt die grafische Oberfläche des Webservice, wie sie dem Nutzenden präsentiert wird. Die GUI wurde speziell entwickelt, um eine intuitive Bedienung zu gewährleisten, indem sie einfache Eingabefelder für die benötigten Parameter bereitstellt und die Ergebnisse der Vorhersagen übersichtlich darstellt. Zusätzlich können die Nutzenden die Ergebnisdaten exportieren, was eine flexible Nutzung der Prognosen für weitere Analysen oder Berichterstellungen ermöglicht.

Diese Implementierung ermöglicht es dem Webservice, die prognostischen Funktionen des Modells einem breiten NutzerInnenkreis zugänglich zu machen, während die Benutzerfreundlichkeit durch die intuitive grafische Oberfläche und die Möglichkeit zum Export der Ergebnisse gewährleistet wird. Der Webservice stellt somit eine praktische und effektive Lösung dar, um die im Projekt entwickelten Prognosemodelle für Fußbodenkonstruktionen einer breiteren Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen.

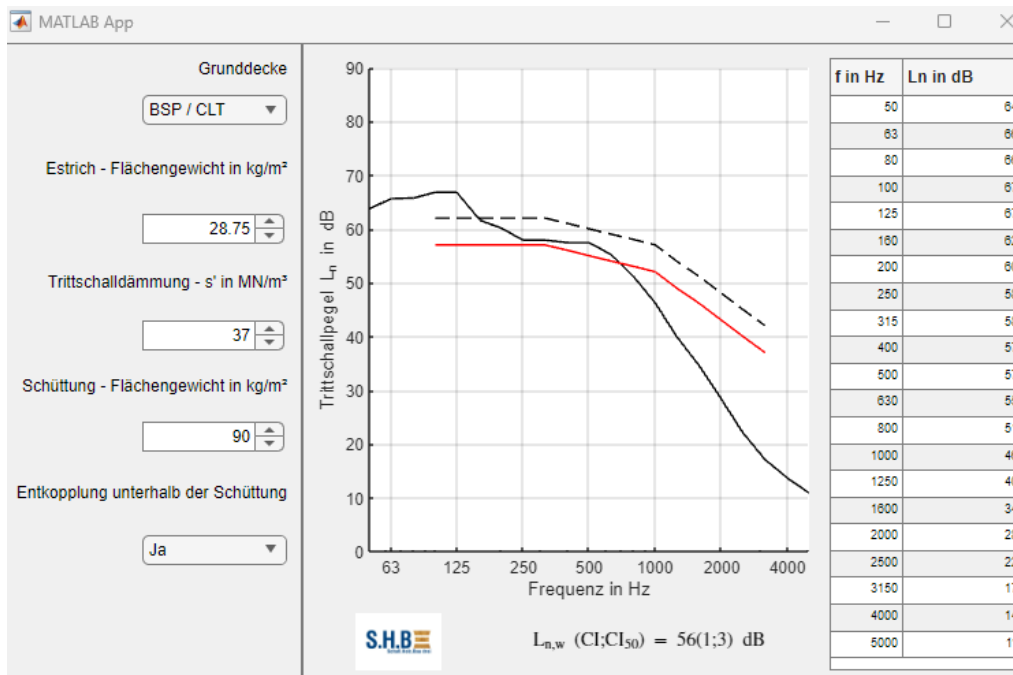


Abbildung 53: Grafische Oberfläche zur Prognose des Trittschallpegels der im Rahmen des Projekts erarbeiteten und untersuchten Fußbodenkonstruktionen auf Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbunddecken

5. Empirische Datengewinnung zur Modellvalidierung – Bauweisen, Prototypen und ihre bauakustische Performance

5.1. Modulbauweise

Die Modulbauweise ist ein bedeutender Vorfertigungsansatz im Holzbau. Deckensituationen von übereinander angeordneten Raum-Modulen sollten daher in der Studie berücksichtigt werden. Empirische Daten zur Charakterisierung der Trittschalldämmeigenschaften einer üblichen Deckenbauart in Holzbau-Modulbauweise in unterschiedlichen Ausführungen der Grunddecke bei unterschiedlichen Situationen der Flankenübertragung sowie auch ausgeführt mit Trockenstrich wurden in einer Modulkombination aus zwei übereinanderliegenden Raum-Modulen gemessen. Die Versuchsmodule aus CLT-Elementen wurden vom Projektpartner Kaufmann Bausysteme GmbH in einer Halle am Standort Kalwang hergestellt. Auch die erforderlichen Modifikationen zur Herstellung der unterschiedlichen Versuchsbedingungen wurden von Mitarbeitern der Kaufmann Bausysteme GmbH durchgeführt. Die Aufbaukombination der beiden Module ist in den Abbildung 54 und Abbildung 55 ersichtlich.



Abbildung 54: Modell-Module in 1:1 zur Untersuchung der Trittschalldämmung von Deckenbauarten in Modulbauweise in Vorbereitung zur Messung



Abbildung 55: Modell-Module in 1:1 zur Untersuchung der Trittschalldämmung von Deckenbauarten in Modulbauweise messbereit

Nachfolgend sind die untersuchten Deckenkombinationen sowie die dazugehörigen Messergebnisse angeführt. Zum Einfluss der Entkopplung der Flankenübertragung sind die wesentlichsten Ergebnisse dargestellt. Tabelle 8 und Tabelle 9 beinhalten die Werte des jeweiligen Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ sowie

Tabelle 10 zusätzlich auch die Spektrum-Anpassungswerte C_I sowie $C_{I,50-2500}$. Die Messungen erfolgten nach ÖNORM EN ISO 16283-2, damit ein Vergleich mit Ergebnissen von realisierten Objekten möglich ist.

Die Modul-Räume hatten innen eine Länge von 6,0 m, eine Breite von 3,4 m und eine Raumhöhe von 2,7 m. Durch Einbringen von großflächigen Diffuser-Elementen zur Erhöhung der Diffusität des Schallfeldes sowie das Anordnen von Absorbern aus Mineralwolle zur Justierung der Nachhallzeit wurden die Messbedingungen in den leeren Modulräumen im Hinblick auf die Verringerung der Messunsicherheit verbessert. Eine Vergleichbarkeit mit der Messgenauigkeit im Prüfstand sollte damit näherungsweise ermöglicht werden.

5.1.1. Aufbau „Roh-Deckenausbildung – Hohlraum Mineralwolle“ eines Holzbau-Modulsystems


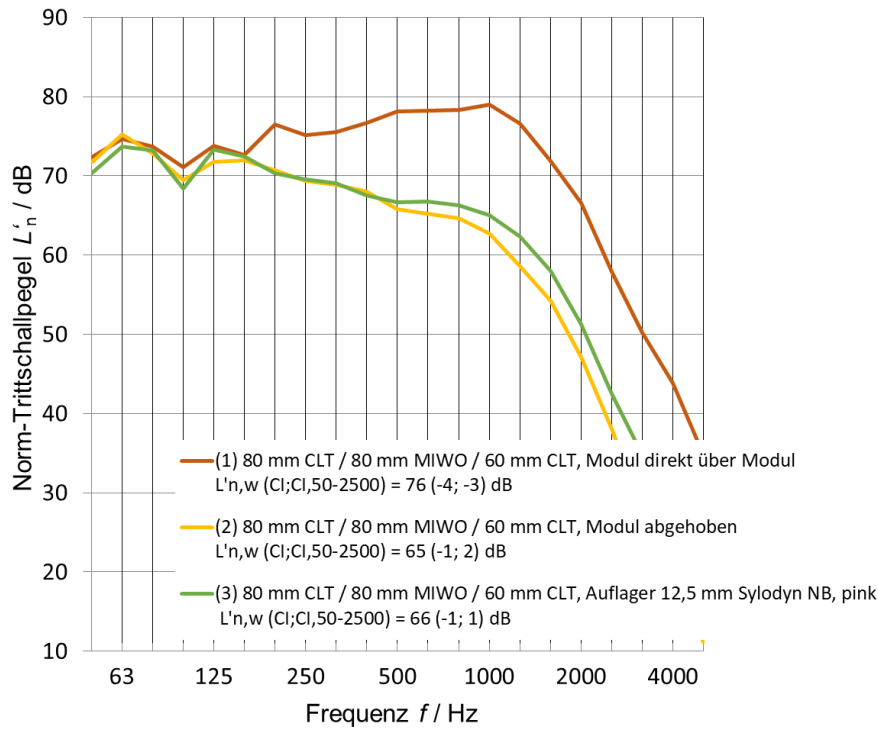
	CLT-Element, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	80 mm
	Mineralwolle-Klemmfilz	80 mm
	CLT-Element, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	60 mm
	$m' = 68 \text{ kg/m}^2$	----- 220 mm

Tabelle 8: Einzahlangaben „Roh-Deckenausbildung – Hohlraum Mineralwolle“ zwischen zwei übereinanderliegenden Raum-Modulen

„Roh-Deckenausbildung“ zwischen Raum-Modulen	bew. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ in dB
80 mm CLT / 80 mm MiWo / 60 mm CLT	
(1) Module an den Flankierenden direkt ohne Dämmeinlage verbunden	76
(2) Oberes Modul angehoben, Flankierende nicht wirksam	65
(3) Module an den Flankierenden über Dämmzwischenlage verbunden	66

Abbildung 56 zeigt den frequenzabhängigen Verlauf des Norm-Trittschallpegels L'_n der „Roh-Deckenausbildung – Hohlraum Mineralwolle“ mit und ohne Einfluss des Modulaufagers zur Minimierung des Übertragungseinflusses der flankierenden Wände.

Die Versuchsreihen zeigten, dass durch optimal auf die Auflast abgestimmte Dämmeinlagen zur Minimierung der Schallübertragung über die flankierenden Wände Trittschalldämmwerte erreicht werden können, die geringfügig schlechter sind als im idealen Fall, bei dem die beiden Module keine Verbindung über die flankierenden Bauteile haben (oberes Modul abgehoben, siehe Abbildung 56).



2 wie 1 aber Flankierende nicht wirksam (komplett getrennt)

3 wie 1 aber Flankierende über Dämm-Zwischenlage getrennt

Abbildung 56: Norm-Trittschallpegel L'_n in Abhängigkeit von der Frequenz der „Roh-Deckenausbildung – Hohlraum Mineralwolle“ bei unterschiedlicher Wirksamkeit der Flankierenden

5.1.2. Aufbauten von „Roh-Deckenausbildungen“ eines Holzbau-Modulsystems



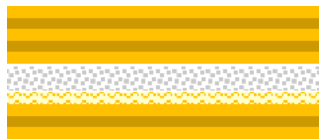
CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	80 mm
MINERALWOLLE-KLEMMFILZ	80 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	60 mm

$m' = 68 \text{ kg/m}^2$	220 mm



CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	80 mm
MINERALWOLLE-KLEMMFILZ	40 mm
SPLITT-SCHÜTTUNG, 3-5 mm, m' rd. 45 kg/m^2	40 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	60 mm

$m' = 113 \text{ kg/m}^2$	220 mm



CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	80 mm
LUFT	15 mm
SPLITT-SCHÜTTUNG, 3-5 mm, $m' \text{ rd. } 45 \text{ kg/m}^2$	40 mm
MINERALWOLLE-	25 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPS	60 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	----- 220 mm
$m' = 113 \text{ kg/m}^2$	



CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	80 mm
MINERALWOLLE-KLEMMFILZ	30 mm
4 x 12,5 mm GKB, $m' \text{ rd. } 36 \text{ kg/m}^2$	50 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	60 mm
$m' = 104 \text{ kg/m}^2$	----- 220 mm



CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	80 mm
LUFT	5 mm
4 x 12,5 mm GKB, $m' \text{ rd. } 36 \text{ kg/m}^2$	40 mm
MINERALWOLLE-	25 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPS	60 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	----- 220 mm
$m' = 104 \text{ kg/m}^2$	

Tabelle 9: Einzahlangaben „Roh-Deckenausbildung“ zwischen zwei übereinanderliegenden Raum-Modulen, Auflager mit Elastomer-Dämmzwischenlage

„Roh-Deckenausbildung“ zw. übereinanderliegender Module	bew. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ in dB
(1) 80 mm CLT / 80 mm MiWo / 60 mm CLT	66
(2) 80 mm CLT / 40 mm MiWo / 40 mm Splitt / 60 mm CLT	59
(3) 80 mm CLT / 15 mm Luft / 40 mm Splitt / 25 mm TDPS / 60 mm CLT	62
(4) 80 mm CLT / 30 mm MiWo / 4x12,5 mm GKB / 60 mm CLT	60
(5) 80 mm CLT / 5 mm Luft / 4x12,5 mm GKB / 25 mm TDPS / 60 mm CLT	67

Abbildung 57 zeigt den frequenzabhängigen Verlauf des Norm-Trittschallpegels L'_n der „Roh-Deckenausbildung“ mit unterschiedlichen Hohlraumausführungen bei gleicher

Wirksamkeit der Flankierenden aufgrund des Modulaufbauers mit (optimaler) Dämmeinlage. Ein wesentlicher Einfluss der unterschiedlichen Hohlraumausführungen zeigt sich dabei im Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 1250 Hz.

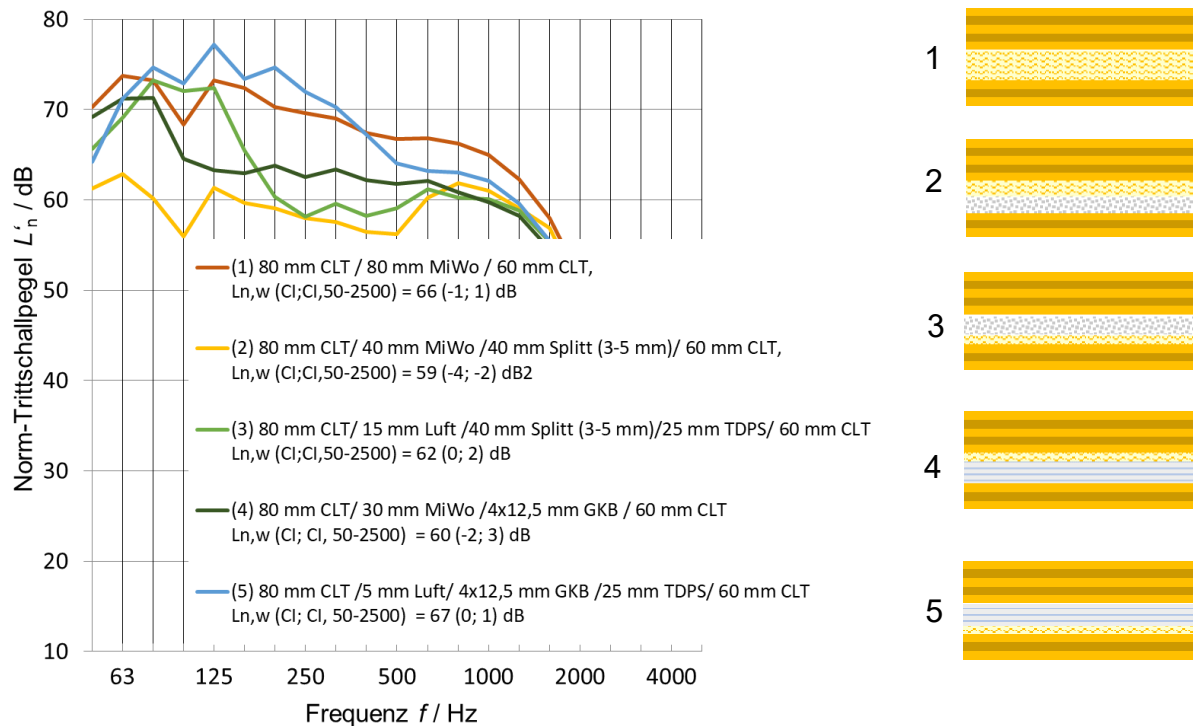
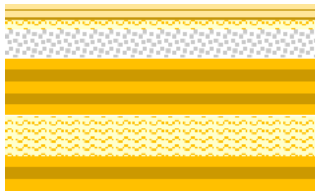


Abbildung 57: Norm-Trittschallpegel L'_n in Abhängigkeit von der Frequenz einer „Roh-Deckenausbildung“ mit unterschiedlichen Hohlraumausführungen bei gleicher für die jeweilige Situation optimierter Wirksamkeit der Flankierenden (Auflager mit geeigneter Dämmzwischenlage)

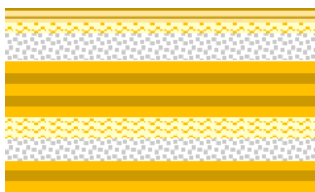
5.1.3. Aufbauten von Deckenausbildungen eines Holzbau-Modulsystems mit Trockenestrich

Nachfolgend sind Versuchsvarianten aufgelistet, die den systemtypischen Roh-Deckenaufbau mit unterschiedlichen Hohlraumausführungen und Trockenestrich von Raum-Modulaufbauten beschreiben.



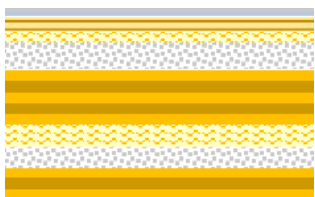
SPANPLATTE, $m' = 12 \text{ kg/m}^2$, vollfl.	19 mm
verklebt mit	19 mm
SPANPLATTE, $m' = 12 \text{ kg/m}^2$	30 mm
MINERALWOLLE-	50 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT	80 mm
SPLITT-SCHÜTTUNG, 3-5 mm, m' rd. 56	80 mm
kg/m^2	60 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	-----
MINERALWOLLE-KLEMMFILZ	338 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	

ESTRICHPLATTE $m' = 24 \text{ kg/m}^2$
 AUFBAU GESAMT $m' = 148 \text{ kg/m}^2$



SPANPLATTE, $m' = 12 \text{ kg/m}^2$, vollfl.	19 mm
verklebt mit	19 mm
SPANPLATTE, $m' = 12 \text{ kg/m}^2$	30 mm
MINERALWOLLE-	50 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT	80 mm
SPLITT-SCHÜTTUNG, 3-5 mm, m' rd. 56	40 mm
kg/m^2	40 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	60 mm
MINERALWOLLE-KLEMMFILZ	-----
SPLITT-SCHÜTTUNG, 3-5 mm, m' rd. 45	338 mm
kg/m^2	
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	

ESTRICHPLATTE $m' = 24 \text{ kg/m}^2$
 AUFBAU GESAMT $m' = 193 \text{ kg/m}^2$



GIPSFASERPLATTE NORIT, $m' = 26 \text{ kg/m}^2$	20 mm
SPANPLATTE, $m' = 12 \text{ kg/m}^2$, vollfl.	19 mm
verklebt mit	19 mm
SPANPLATTE, $m' = 12 \text{ kg/m}^2$	30 mm
MINERALWOLLE-	50 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT	80 mm
SPLITT-SCHÜTTUNG, 3-5 mm, m' rd. 56	40 mm
kg/m^2	40 mm
CLT-ELEMENT, $m' = 39 \text{ kg/m}^2$	60 mm
MINERALWOLLE-KLEMMFILZ	-----
SPLITT-SCHÜTTUNG, 3-5 mm, m' rd. 45	358 mm
kg/m^2	
CLT-ELEMENT, $m' = 29 \text{ kg/m}^2$	

ESTRICHPLATTE $m' = 50 \text{ kg/m}^2$
 AUFBAU GESAMT $m' = 193 \text{ kg/m}^2$

Tabelle 10: Einzahlangaben der Trittschalldämmeigenschaften der „Roh-Deckenausbildung“ zwischen zwei übereinanderliegenden Raum-Modulen mit Estrichausführungen (Situation (1), (2) und (3) mit 12,5 mm Sylodyn NB Dämmzwischenlage zwischen den Flankierenden)

„Roh-Deckenausbildung“ mit Estrichausführungen zwischen übereinanderliegender Raum-Module	bew. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}(C_I; C_{I,50-2500})$ in dB
(1) 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch. auf 80 mm CLT / 80 mm MiWo / 60 mm CLT	36 (2; 16)
(2) 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch. auf 80 mm CLT / 40 mm MiWo / 40 mm Splitt / 60 mm CLT	36 (2; 12)
(3) 20 mm GFP über 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch. auf 80 mm CLT / 40 mm MiWo / 40 mm Splitt / 60 mm CLT	33 (1; 10)
(4) 20 mm GFP über 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch. auf 80 mm CLT / 40 mm MiWo / 40 mm Splitt / 60 mm CLT (oberes Modul abgehoben, Auflager daher nicht wirksam)	31 (1; 10)
(5) 20 mm GFP über 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch. auf 80 mm CLT / 40 mm MiWo / 40 mm Splitt / 60 mm CLT (oberes Modul ohne Dämmzwischenlage zwischen den flankierenden Bauteilen)	46 (0; 4)

Die nachfolgende Abbildung 58 zeigt den frequenzabhängigen Verlauf des Norm-Trittschallpegels L'_n der „Roh-Deckenausbildung“ mit unterschiedlichen Hohlräumeausführungen und Trockenestrich sowie mit und ohne Einfluss des Modulauflegers.

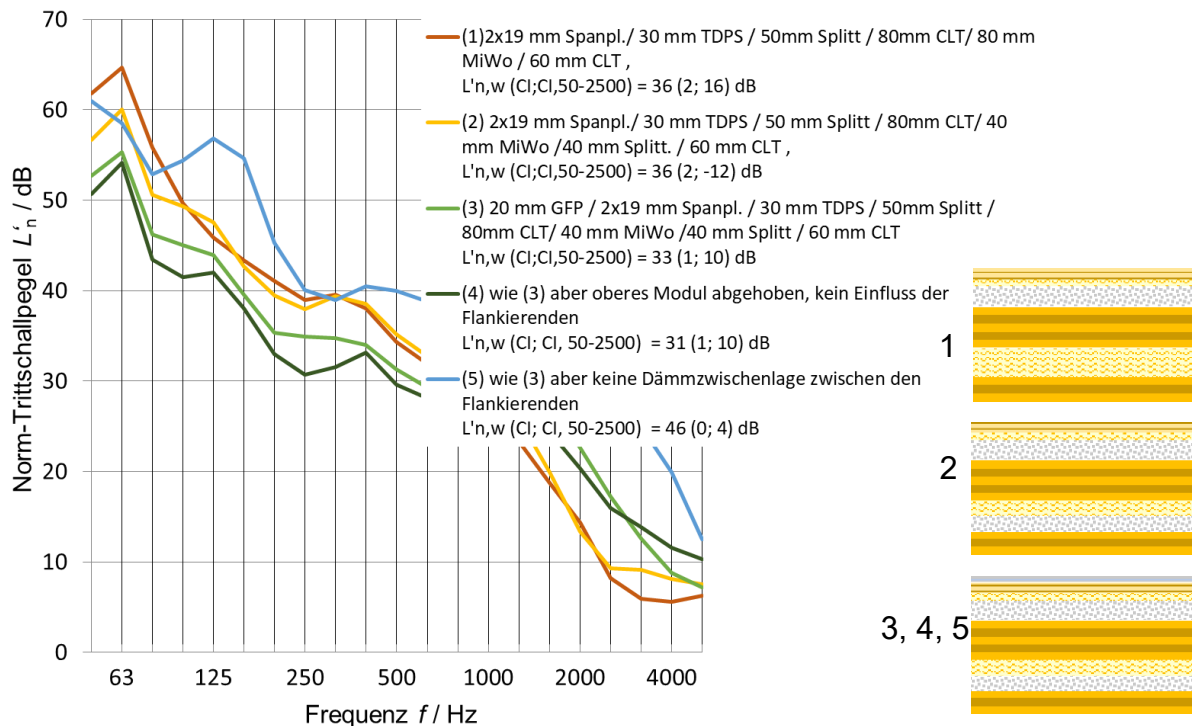


Abbildung 58: Norm-Trittschallpegel L'_{nT} in Abhängigkeit von der Frequenz einer „Roh-Deckenausbildung“ mit unterschiedlichen Hohraumausführungen und Trockenestrich



5.2. Einordnung der Messergebnisse von Decken in Modulbauweise in das Anforderungs-System nach ÖNORM B 8115-5

Die nachfolgende Tabelle 11 zeigt die Messergebnisse in Zusammenhang mit dem Schallschutzklassen-System gemäß ÖNORM B 8115-5, Ausgabe 2021. Als „klassisch“ wird die alternative Bedingung ohne Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswertes $C_{l,50-2500}$ verstanden, die Zusatzbedingung der Resonanzfrequenz wird jedoch nicht explizit beachtet.

Die mögliche Auswertung der Messdaten im Hinblick auf die Darstellung als bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ (in situ Situation) erlaubt den direkten Vergleich mit den Anforderungen nach der genannten ÖNORM.

Die Ergebnisse in der Tabelle zeigen, dass mit entsprechender Optimierung der Rohdeckenausbildung und wirksamer Modulaufleger-Entkopplung sowie mit bautechnisch realisierbaren Trockenestrichaufbauten die höchste Komfortklasse erzielt werden kann.

Tabelle 11: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft von Deckensystemen mit Trockenestrich in Modulbauweise

Modul- Rohdecke mit Estrich	bew. Standard- Trittschallpegel $L'_{nT,w}$, $L'_{nT,w} + C_l$, $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ in dB	Schallschutzklasse ÖNORM B 8115-5	
		$L'_{nT,w} + C_{l,50}$	klassisch
			
80 mm CLT / 80 mm MiWo / 60 mm CLT	64	-	-
(1) 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch.	34, 35, 50	A	B
			
80 mm CLT / 40 mm MiWo / 40 mm Splitt / 60 mm CLT	57	-	-
(2) 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch.	34, 36, 45	A	A
(3) 20 mm GFP über 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch.	31, 32, 41	A	A
(4) 20 mm GFP über 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch. (oberes Modul abgehoben, Auflager daher nicht wirksam)	29, 29, 39	A	A
(5) 20 mm GFP über 2 x 19 mm Spanpl. über 30 mm TDPT und 50 mm Splittsch. (oberes Modul ohne Dämmzwischenlage zwischen den flankierenden Bauteilen)	43, 43, 48	B	A

5.3. Empirische Bestimmung der Wechselwirkung von mit Prognosemodellansatz optimierten Trockenestrichsystemen auf unterschiedlichen Rohdeckenbauarten in Holzbauweise

5.3.1. Empirische Bestimmung der Wechselwirkungen zwischen Estrichsystemen und Rohdeckenbauarten

An 1:1 Modellen wurden im Deckenprüfstand nach normgemäßen Messmethoden (gemäß ÖNORM EN ISO 10140) die Leistungsfähigkeit, der nach dem erarbeiteten Prognosemodellansatz entwickelten Trockenestrichbauweisen auf den im Holzbau gängigen Rohdecken bestimmt.

Folgende Rohdecken wurden im Versuchsprogramm berücksichtigt (Abbildung 59).

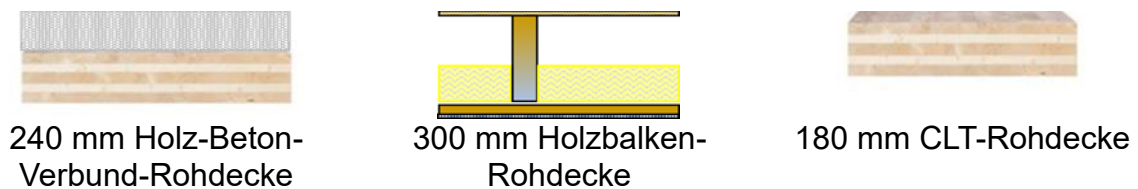
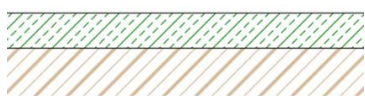


Abbildung 59: Rohdeckenausführungen in Holzbauweise, die für die Validierungs- und Wechselwirkungsmessungen eingesetzt wurden

5.3.2. Aufbaubeschreibung der Rohdecken

Die Aufbauten der eingesetzten Rohdecken waren im Detail wie folgt gegeben:

Holz-Beton-Verbunddecke



BETON	100 mm
CLT	140 mm
$m' = 318 \text{ kg/m}^2$	-----
	240 mm

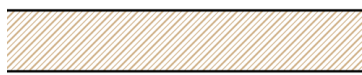
Holzbalkendecke



OSB-PLATTE	22 mm
HOLZBALKEN 240/120; e = 625 mm, 100 mm MINERALWOLLE KLEMMFILZ	240 mm
DAMPFBREMSE	
SPARSCHALUNG	24 mm
GIPSFASERPLATTE	12,5 mm

$m' = 56 \text{ kg/m}^2$	298,5 mm

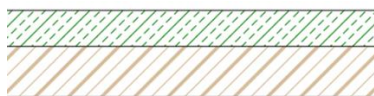
Brettsperrholzdecke



CLT
 $m' = 88 \text{ kg/m}^2$

180 mm

Im Vergleich zur Holz-Beton-Verbunddecke wurde auch eine 180 mm dicke Dippelbaumdecke mit Aufbeton (grundsätzlich gleicher Aufbau wie jener der HBV-Decke) im Hinblick auf ihre trittschalldämmtechnische Leistungsfähigkeit hin untersucht. Für die Untersuchung der Wechselwirkung mit den Estrichsystemen wurde diese Rohdeckenausführung aber nicht weiter berücksichtigt.



BETON
 DIPPELBAUMDECKE

100 mm

140 mm

$m' = 310 \text{ kg/m}^2$

240 mm

Die Einzulangaben der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Rohdecken sind in Tabelle 12 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 60 aufgezeichnet.

Tabelle 12: Einzulangaben der bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ - der Rohdecken

Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ in dB
240 mm Holbeton-Verbunddecke (HBV)	87
300 mm Holzbalken-Rohdecke (HBRD)	75
180 mm Brettsperrholzdecke (CLT)	88
240 mm Dippelbaumdecke mit Aufbeton (DBD)	88

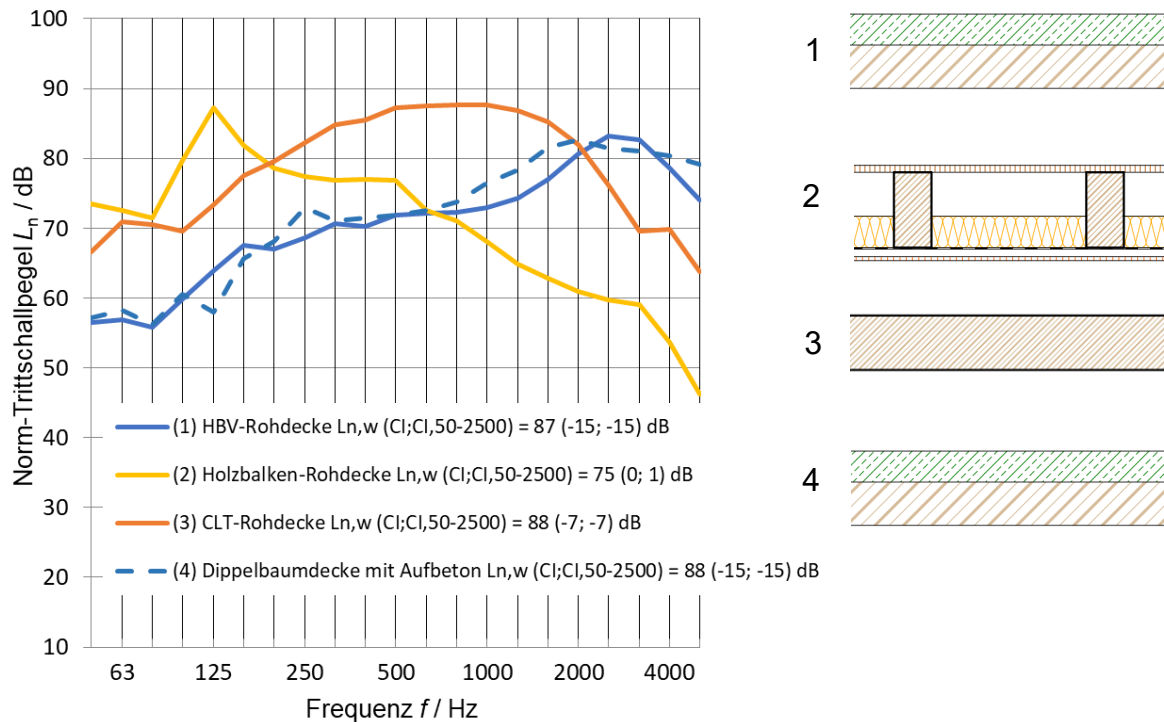
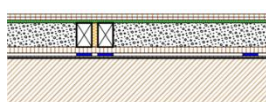


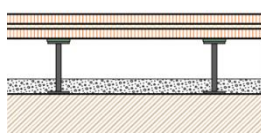
Abbildung 60: Norm-Trittschallpegel L_n der Rohdecken in Abhängigkeit von der Frequenz

In systemspezifischen Workshops wurden auf Basis der bis dahin im Projekt entwickelten Prognosemodellentwürfen konkrete Estrich-Versuchsaufbauten der Systemvarianten („Punktlagerung - Wanne“, „Flächig gelagert“, „Punktlagerung - Doppelboden“, „Linienlagerung“) für die 1:1 Versuche im Prüfstand ausgearbeitet sowie die Fertigungs- und Lieferzeitpunkte festgelegt. Die entwickelten Systeme sind darauf ausgelegt, sowohl eine hohe bauakustische Leistung als auch einen hohen Vorfertigungsgrad zu ermöglichen. Für einzelne Systemvarianten könnten dabei Maßnahmen oder Variationen existieren, die eine verbesserte bauakustische Performance ermöglichen, jedoch im Widerspruch zu einem hohen Vorfertigungsgrad stehen. Solche Varianten wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt.

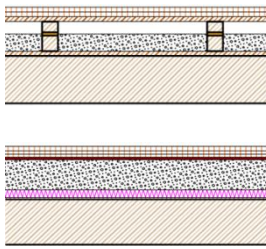
Abbildung 61 zeigt die vier grundsätzlichen Estrich-Systemvarianten (in der Darstellung jeweils auf einer CLT-Rohdecke). Anhand der in den Versuchen messtechnisch zu ermittelnden Trittschalldämmleistungen der Estrich-Versuchsaufbauten in Wechselwirkung mit den Rohdeckenvarianten sollten die Prognosemodellentwürfe validiert werden können.



„Punktlagerung - Wanne“



„Punktlagerung - Doppelboden“



„Linienlagerung“

„Flächig gelagert“

Abbildung 61: Grundsätzliche Versuchsaufbauten der Estrich-Systemvarianten (in den Beispielen jeweils auf einer CLT-Rohdecke)

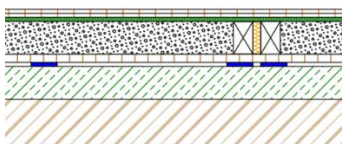
Die Varianten der vier Systeme wurden in Wechselwirkung mit den in Abbildung 59 dargestellten Rohdecken messtechnisch untersucht. In einem bestimmten Rahmen konnte die Wirksamkeit der Basisparameter (flächenbezogene Masse der Estrichplatte, Schüttungsdichte und Höhe, dynamische Steifigkeit der Dämmstofflagen) in Realausführung je Systemvariante in Untervarianten noch weiter untersucht werden, um auch die Modellvalidierungsprozedere auf eine höhere Anzahl von Datensätze stützen zu können.

Die Versuchskombinationen dafür wurden im Deckenprüfstand der Versuchsanstalt TGM im Akustik Center Austria von den jeweiligen Unternehmenspartnern aufgebaut und ihre trittschalldämmtechnische Leistungsfähigkeit gemessen. Die Versuchsfläche dieses Prüfstandes beträgt 20 m². Diese Fläche ist daher mit im üblichen Wohnbau real auftretenden Deckenflächen gut vergleichbar. Alle Versuchselemente waren für diese Versuchsfläche auszulegen. Im Rahmen der Realisierung der Versuchsestrichelemente sollte der Möglichkeit der Vorfertigung großflächiger Elemente besondere Beachtung geschenkt werden.

5.4. Estrich-Systemvarianten auf Holz-Beton-Verbunddecke

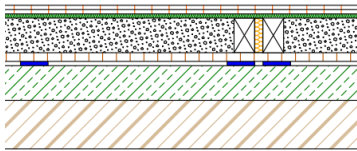
5.4.1. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Wanne“

Der Aufbau der zu untersuchenden Varianten war wie folgt gegeben:



GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE EP3	12 mm
SCHÜTTUNG THERMOFIT, 600	100 mm
kg/m³; STAFFEL 6/10	
OSB-PLATTE	25 mm
SYLODYN	12,5 mm
HBV-DECKE, m' = 318 kg/m ²	240 mm

ESTRICH m' = 109 kg/m ²	414,5 mm



GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE EP3	12 mm
SCHÜTTUNG THERMOFLOOR,	100 mm
85 kg/m³; STAFFEL 6/10	
OSB-PLATTE	25 mm
SYLODYN	12,5 mm
HBV-DECKE, m' = 318 kg/m ²	240 mm

ESTRICH m' = 67 kg/m ²	414,5 mm

Die Einzulangaben der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ in Wechselwirkung mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke ist in Tabelle 13 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 62 dargestellt.

Tabelle 13: Einzulangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ in Kombination mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke

Estrich auf HBV-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i; C_{i,50-2500})$ in dB
(2) Thermofit Schüttung	41 (0; 2)
(3) Thermofloor Schüttung	48 (0; 1)

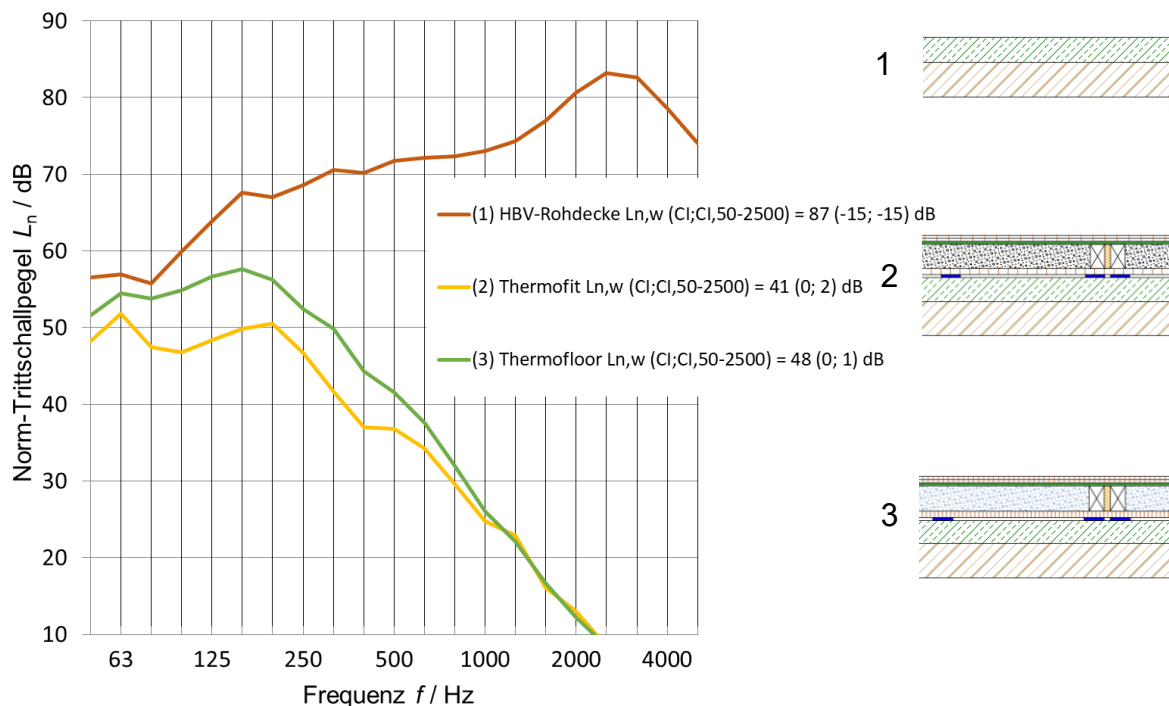
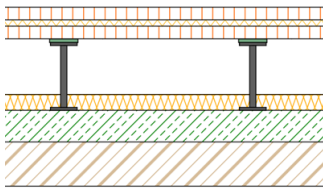
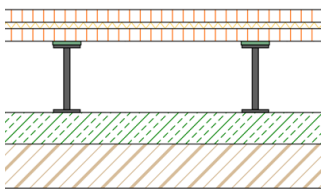


Abbildung 62: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert-Wanne“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke

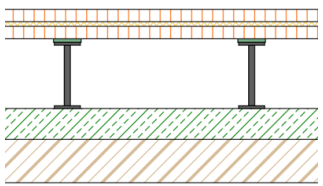
5.4.2. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Doppelboden“



HOHLBODENPLATTE,	54,4	40 mm
kg/m ²		20 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE		
TDPT,		40 mm
1,95kg/m ² , s' = 14 MN/m ³		
HOHLBODENPLATTE	54,4	6 mm
kg/m ²		220 mm
SYLODYN		
HOHLBODENSTÜTZE,	3,2	240 mm
kg/m ² ;		
50 mm MINERALWOLLE		-----
TW-KF 50, 0,64 kg/m ² , 12,8		566 mm
kg/m ³		
HBV-DECKE, m' = 318 kg/m ²		
 ESTRICH m' = 114,6 kg/m ²		



HOHLBODENPLATTE,	54,4	40 mm
kg/m ²		20 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE		
TDPT, 1,95kg/m ² , s' = 14		40 mm
MN/m ³		6 mm
HOHLBODENPLATTE,	54,4	220 mm
kg/m ²		240 mm
SYLODYN		-----
HOHLBODENSTÜTZE,	3,2	566 mm
kg/m ²		
HBV-DECKE, m' = 318 kg/m ²		
 ESTRICH m' = 113,9 kg/m ²		



HOHLBODENPLATTE,	54,4	40 mm
kg/m ²		15 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE		
TDPT, 1,5 kg/m ² , s' = 18 MN/m ³		40 mm
HOHLBODENPLATTE,	54,4	6 mm
kg/m ²		220 mm
SYLODYN		240 mm
HOHLBODENSTÜTZE,	3,2	-----
kg/m ²		561 mm
HBV-DECKE, m' = 318 kg/m ²		
 ESTRICH m' = 113,5 kg/m ²		

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in Wechselwirkung mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke sind in Tabelle 14 aufgelistet,

der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 63 dargestellt.

Tabelle 14: Einzulangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in Kombination mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke

Estrich auf HBV-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i; C_{i,50-2500})$ in dB
(2) 20 mm TDPT, 50 mm TW-KF	55 (0; 1)
(3) 20 mm TDPT	55 (1; 1)
(4) 15 mm TDPT	54 (0; 1)

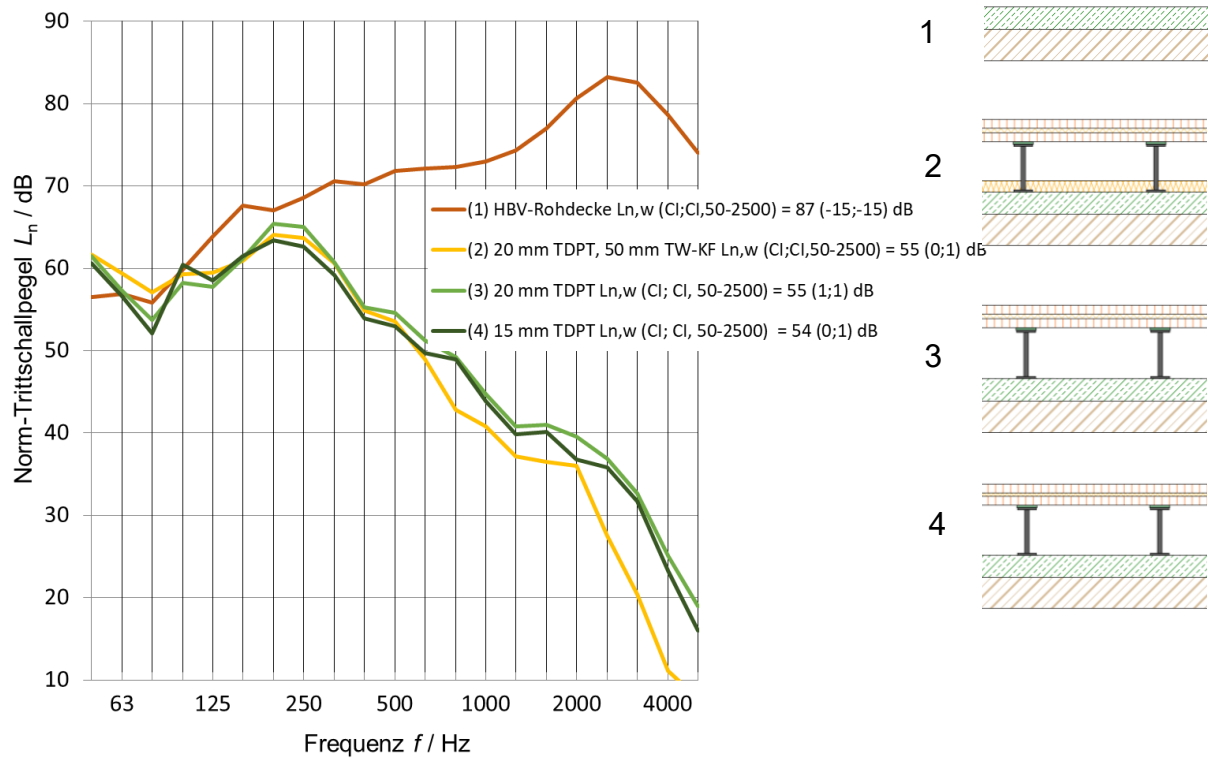
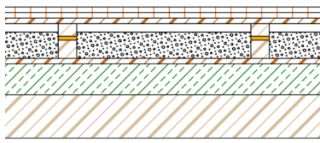
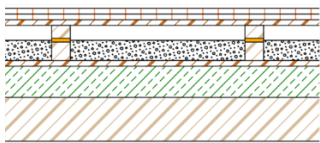


Abbildung 63: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke

5.4.3. Estrich-Systemvariante „Linienlagerung“



GIPSFASERPLATTE	18 mm
GIPSFASERPLATTE	18 mm
OSB-PLATTE	18 mm
STAFFEL 40/60	40,6 mm
SYLOMER	12,5 mm
STAFFEL 60/60, dzw.	59 mm
85 mm SCHÜTTUNG	
OSB-PLATTE	25 mm
HBV-DECKE, $m' = 318 \text{ kg/m}^2$	240 mm
ESTRICH $m' = 174 \text{ kg/m}^2$	-----
	431,1 mm



GIPSFASERPLATTE	18 mm
GIPSFASERPLATTE	18 mm
OSB-PLATTE	18 mm
STAFFEL 40/60	40,6 mm
SYLOMER	12,5 mm
STAFFEL 60/60, dzw.	59 mm
60-70 mm SCHÜTTUNG	59 mm
OSB-PLATTE	25 mm
HBV-DECKE, $m' = 318 \text{ kg/m}^2$	240 mm
ESTRICH $m' = 147 \text{ kg/m}^2$	-----
	431,1 mm

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Wechselwirkung mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke sind in Tabelle 15 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 64 dargestellt.

Tabelle 15: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Kombination mit der Holzbeton-Verbundrohdecke

Estrich auf HBV-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C; C_{I,50-2500})$ in dB
(2) 85 mm Schüttung	37 (1; 7)
(3) 60-70 mm Schüttung	39 (2; 7)

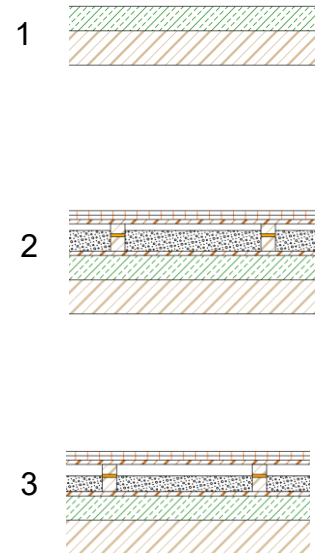
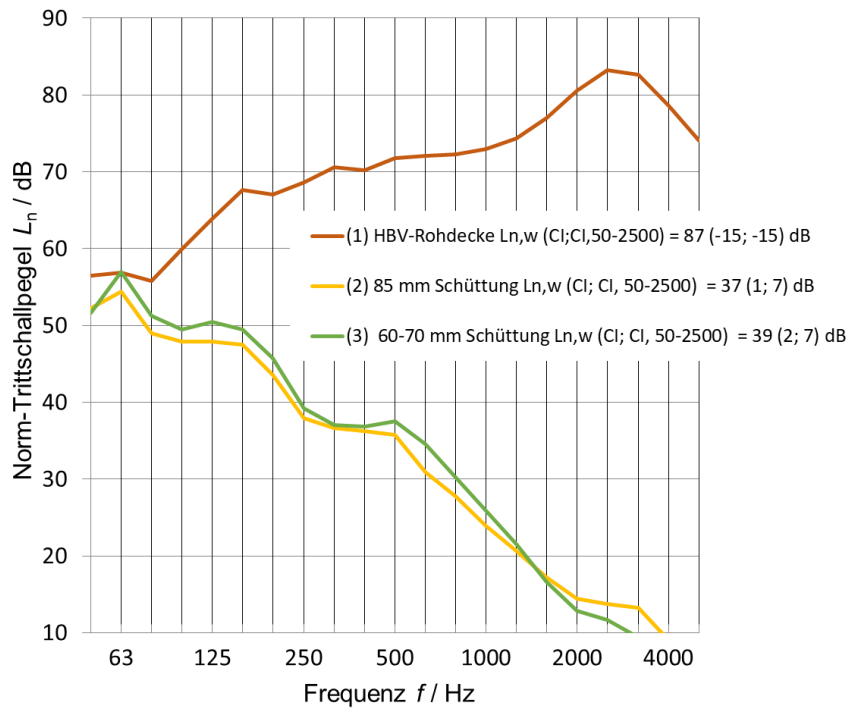
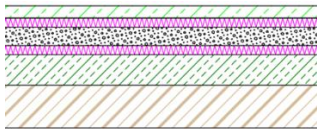
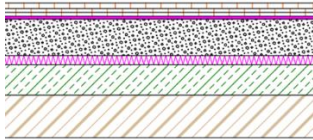


Abbildung 64: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Linienlagerung“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke

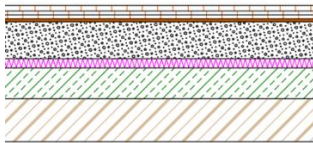
5.4.4. Estrich-Systemvariante „Flächig gelagert“



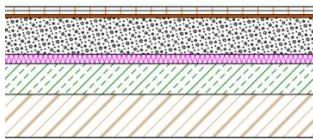
FLIESSESTRICH WEBER.FLOOR,	40 mm
84 kg/m ²	
FOLIE	30 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE	
TDPT,	60 mm
2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	
WABENSCHÜTTUNG,	30 mm
91 kg/m ²	
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE	240 mm
TDPT,	-----
2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	400 mm
HBV-DECKE, m' = 318 kg/m ²	
ESTRICH, m' = 181 kg/m ²	



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
TROCKENESTRICH EE25 10MW , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG , 183 kg/m ²	120 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE	30 mm
TDPT , 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	240 mm
HBV-DECKE , m' = 318 kg/m ²	-----
	443 mm
ESTRICH , m' = 239 kg/m ²	



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
TROCKENESTRICH EE25 10HF , 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG , 183 kg/m ²	120 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE	30 mm
TDPT , 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	240 mm
HBV-DECKE , m' = 318 kg/m ²	-----
	443 mm
ESTRICH , m' = 240 kg/m ²	



TROCKENESTRICH EE25 10HF , 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG , 183 kg/m ²	120 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE	30 mm
TDPT , 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	240 mm
HBV-DECKE , m' = 318 kg/m ²	-----
	425 mm
ESTRICH , m' = 219 kg/m ²	

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Wechselwirkung mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke sind in Tabelle 16 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 65 dargestellt.

Tabelle 16: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke

Estrich auf HBV-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i; C_{i,50-2500})$ in dB
(2) Weberfloor, 60 mm Schüttung	36 (2; 17)
(3) GFP, EE25 10MW, 120 mm Schüttung	32 (2; 16)
(4) GFP, EE25 10HF, 120 mm Schüttung	32 (2; 16)
(5) EE25 10HF, 120 mm Schüttung	34 (2; 14)

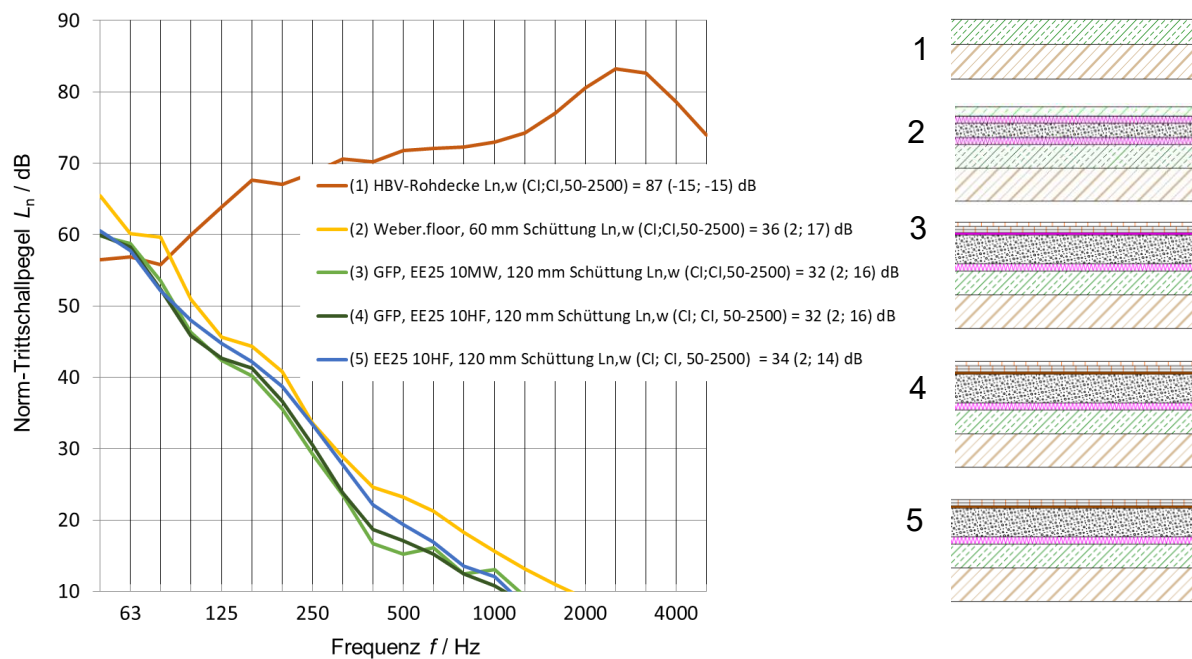
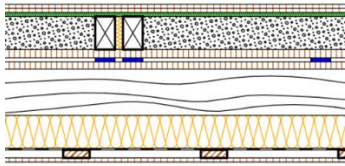


Abbildung 65: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke

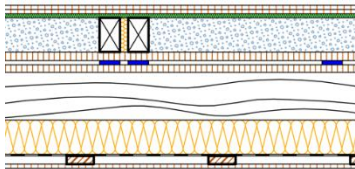
5.5. Estrich-Systemvarianten auf Holzbalken-Rohdecke

5.5.1. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Wanne“

Der Aufbau der zu untersuchenden Varianten war wie folgt gegeben:



GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE EP3	12 mm
SCHÜTTUNG THERMOFIT, 600	100 mm
kg/m³; STAFFEL 6/10	
OSB-PLATTE	25 mm
SYLODYN	12,5 mm
HOLZBALKEN-ROHDECKE, m' = 56	298,5 mm
kg/m ²	-----
	473 mm
ESTRICH, m' = 109 kg/m ²	



GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE EP3	12 mm
SCHÜTTUNG THERMOFLOOR, 85	100 mm
kg/m³; STAFFEL 6/10	
OSB-PLATTE	25 mm
SYLODYN	12,5 mm
HOLZBALKEN-ROHDECKE, m' = 56	298,5 mm
kg/m ²	-----
	473 mm
ESTRICH, m' = 67 kg/m ²	

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ in Wechselwirkung mit der Holzbalken-Rohdecke (HBRD) sind in Tabelle 17 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 66 dargestellt.

Tabelle 17: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke

Estrich auf Holzbalken-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i; C_{i,50-2500})$ in dB
(2) Thermofit Schüttung	49 (3; 5)
(3) Thermofloor Schüttung	57 (5; 6)

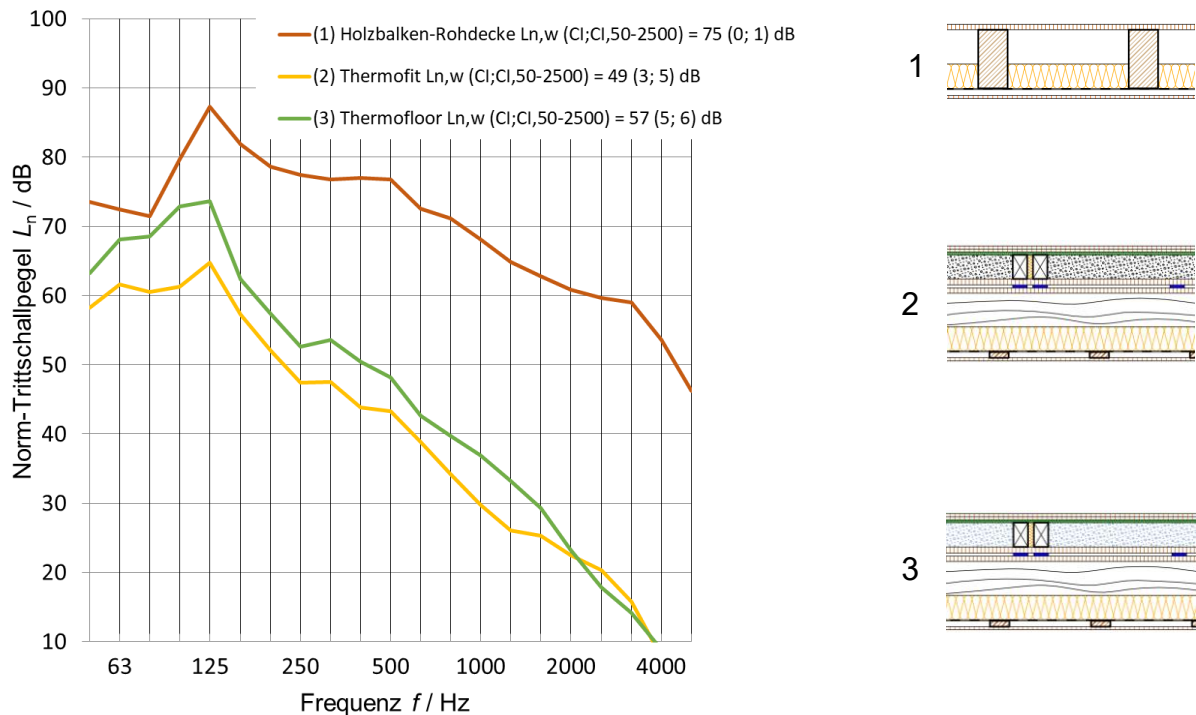
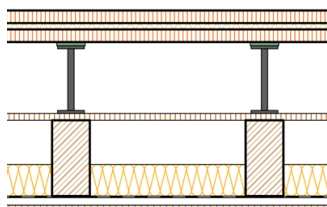


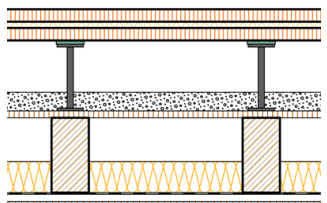
Abbildung 66: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ auf Holzbalken-Rohdecke

5.5.2. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Doppelboden“



HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 1,95 kg/m ² , $s' = 14 \text{ MN/m}^3$	20 mm
HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
SYLODYN	6 mm
HOHLBODENSTÜTZE, 3,2 kg/m ²	220 mm
HOLZBALKEN-ROHDECKE, $m' =$ kg/m ²	298,5 mm

	524,5 mm



ESTRICH, $m' = 114 \text{ kg/m}^2$	
HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 1,95 kg/m ² , $s' = 14 \text{ MN/m}^3$	20 mm
HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
SYLODYN	6 mm
HOHLBODENSTÜTZE, 3,2 kg/m ²	220 mm
60 mm Wabenschüttung, 85 kg/m²	
HOLZBALKEN-ROHDECKE, $m' = 56$ kg/m ²	298,5 mm

	524,5 mm
ESTRICH, $m' = 197 \text{ kg/m}^2$	

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in

Wechselwirkung mit der Holzbalken-Rohdecke (HBRD) sind in Tabelle 18 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 67 dargestellt.

Tabelle 18: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke

Estrich auf Holzbalken-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C; C_{l,50-2500})$ in dB
(2) 20 mm TDPT ohne Schüttung	59 (2; 6)
(3) 20 mm TDPT, mit Schüttung	53 (4; 5)

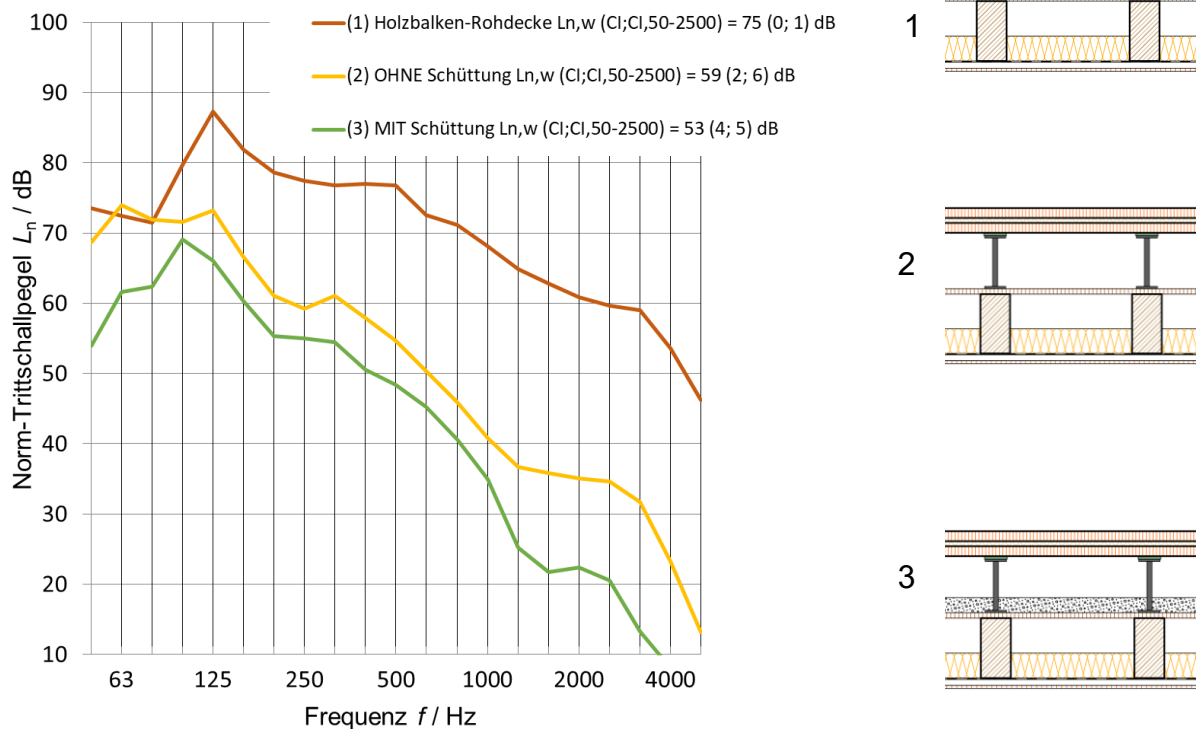
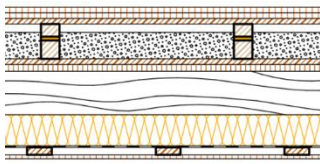


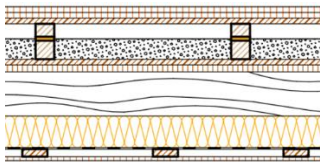
Abbildung 67: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ auf Holzbalken-Rohdecke

5.5.3. Estrich-Systemvariante „Linienlagerung“



GIPSFASERPLATTE	18 mm
GIPSFASERPLATTE	18 mm
OSB-PLATTE	18 mm
STAFFEL 4/6	40,6 mm
SYLOMER	12,5 mm
STAFFEL 6/6, dzw.	59 mm
85 mm SCHÜTTUNG	
OSB-PLATTE	25 mm
HOLZBALKEN-ROHDECKE, $m' = 56$ kg/m ²	298,5 mm

	489,6 mm
ESTRICH, $m' = 174$ kg/m ²	



GIPSFASERPLATTE	18 mm
GIPSFASERPLATTE	18 mm
OSB-PLATTE	18 mm
STAFFEL 4/6	40,6 mm
SYLOMER	12,5 mm
STAFFEL 6/6, dzw.	59 mm
60-70 mm SCHÜTTUNG	
OSB-PLATTE	25 mm
HOLZBALKEN-ROHDECKE, $m' = 56$ kg/m ²	298,5 mm

	489,6 mm
ESTRICH, $m' = 147$ kg/m ²	

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Wechselwirkung mit der Holzbalken-Rohdecke (HBRD) sind in Tabelle 19 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 68 dargestellt.

Tabelle 19: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke

Estrich auf Holzbalken-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i; C_{i,50-2500})$ in dB
(2) 85 mm Schüttung	44 (4; 11)
(3) 60-70 mm Schüttung	45 (4; 10)

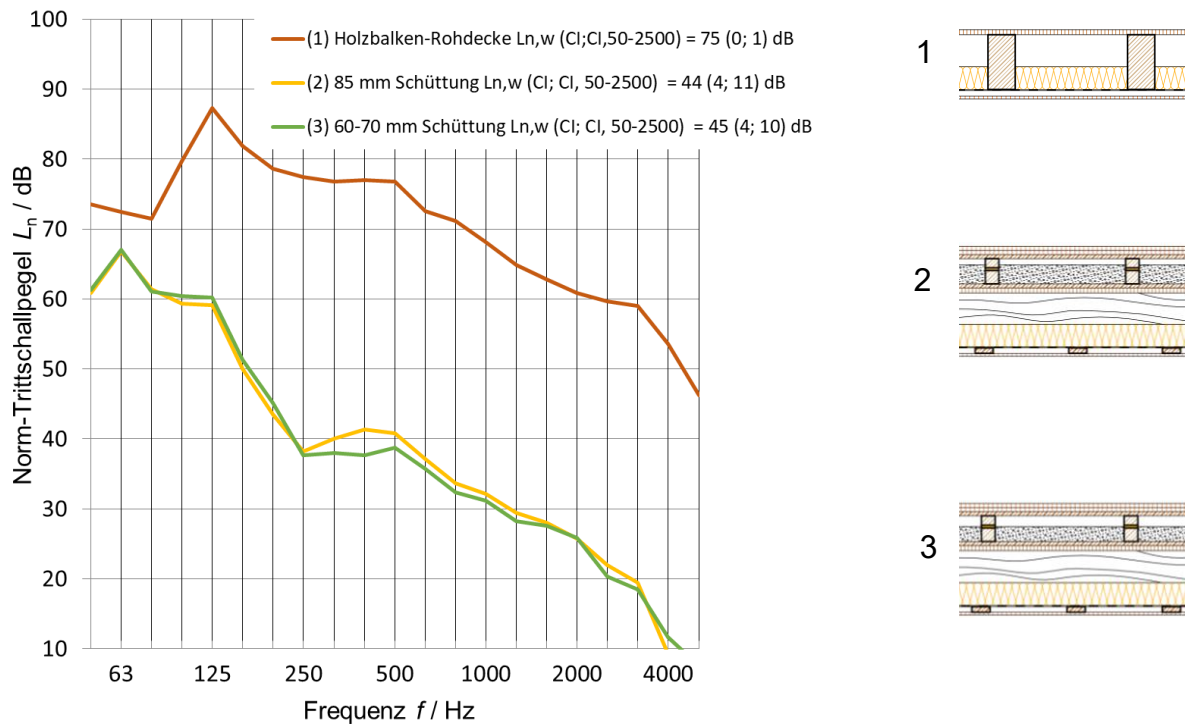
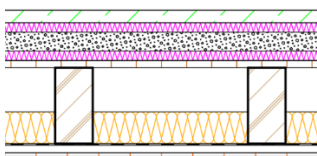


Abbildung 68: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Linienlagerung“ auf Holzbalken-Rohdecke

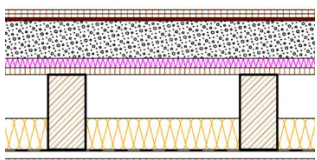
5.5.4. Estrich-Systemvariante „Flächig gelagert“



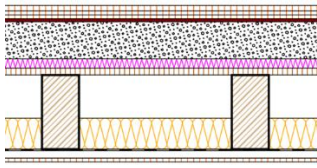
FLIESSESTRICH WEBER.FLOOR , 84 kg/m ²	40 mm
FOLIE	30 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 2,94 kg/m ² , $s' = 12 \text{ MN/m}^3$	60 mm
WABENSCHÜTTUNG , 91 kg/m ²	
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 2,94 kg/m ² , $s' = 12 \text{ MN/m}^3$	30 mm
HOLZBALKENDECKE, 56 kg/m ²	298,5 mm

	458,5 mm
ESTRICH, $m' = 181 \text{ kg/m}^2$	

Aufbauten Trockenestrichplatten mit Holzweichfaser-Trittschalldämmplatte



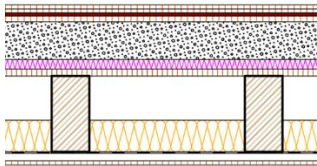
EE 2E33 (HF) , 33,0 kg/m ² , $s' > 100 \text{ MN/m}^3$	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , $s' = 12 \text{ MN/m}^3$	298,5 mm
HOLZBALKENDECKE, 56 kg/m ²	-----
	483,5 mm
ESTRICH, $m' = 217 \text{ kg/m}^2$	



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E33 (HF) , 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	298,5 mm

HOLZBALKENDECKE, m' = 56 kg/m ²	501,5 mm

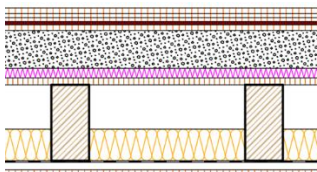
ESTRICH, m' = 238 kg/m²



EE 2E33 (HF) , 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	298,5 mm

HOLZBALKENDECKE, m' = 56 kg/m ²	501,5 mm

ESTRICH, m' = 217 kg/m²



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E33 (HF) , 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	298,5 mm

HOLZBALKENDECKE, m' = 56 kg/m ²	519,5 mm

ESTRICH, m' = 259 kg/m²

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Wechselwirkung mit der Holzbalken-Rohdecke (HBRD) sind in

Tabelle 20 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 69 dargestellt.

Tabelle 20: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaserdämmplatten)

Estrich auf Holzbalken-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i, C_{l,50-2500})$ in dB
(2) Weberfloor, 60 mm Schüttung	44 (4; 14)
(3) EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	48 (3; 13)
(4) GFP, EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	48 (3; 14)
(5) EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	47 (3; 13)
(6) GFP, EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	47 (3; 11)

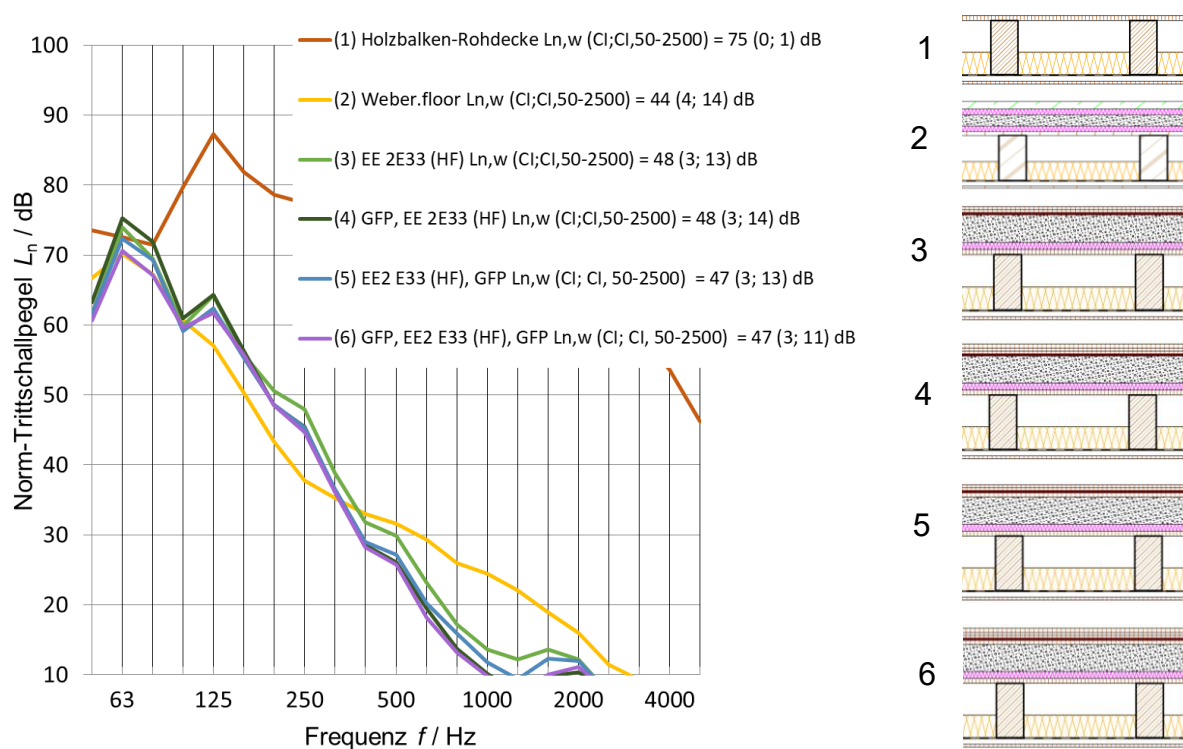
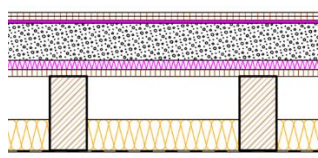


Abbildung 69: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaser-Trittschalldämmplatten)

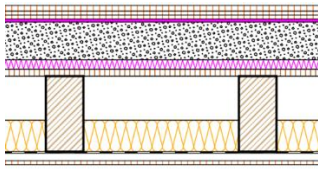
Aufbauten Trockenestrichplatten mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatte



EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
HOLZBALKENDECKE, m' = 56 kg/m ²	298,5 mm

	483,5 mm

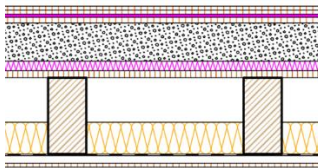
$$m' = 216 \text{ kg/m}^2$$



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	298,5 mm

HOLZBALKENDECKE, m' = 56 kg/m ²	501,5 mm

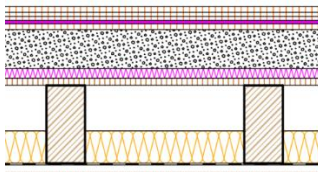
ESTRICH, m' = 237 kg/m²



EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	298,5 mm

HOLZBALKENDECKE, m' = 56 kg/m ²	501,5 mm

ESTRICH, m' = 237 kg/m²



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 181 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	298,5 mm

HOLZBALKENDECKE, m' = 56 kg/m ²	519,5 mm

ESTRICH, m' = 255 kg/m²

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Wechselwirkung mit der Holzbalken-Rohdecke (HBRD) sind in

Tabelle 21 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 70 dargestellt.

Tabelle 21: Einzulangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten)

Estrich auf Holzbalken-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_f, C_{f,50-2500})$ in dB
(2) EE 2E34 10 MW, 120 mm Schüttung	46 (3; 14)
(3) GFP, EE 2E34 10MW, 120 mm Schüttung	47 (3; 14)
(4) EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	48 (3; 13)
(5) GFP, EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	46 (3; 15)

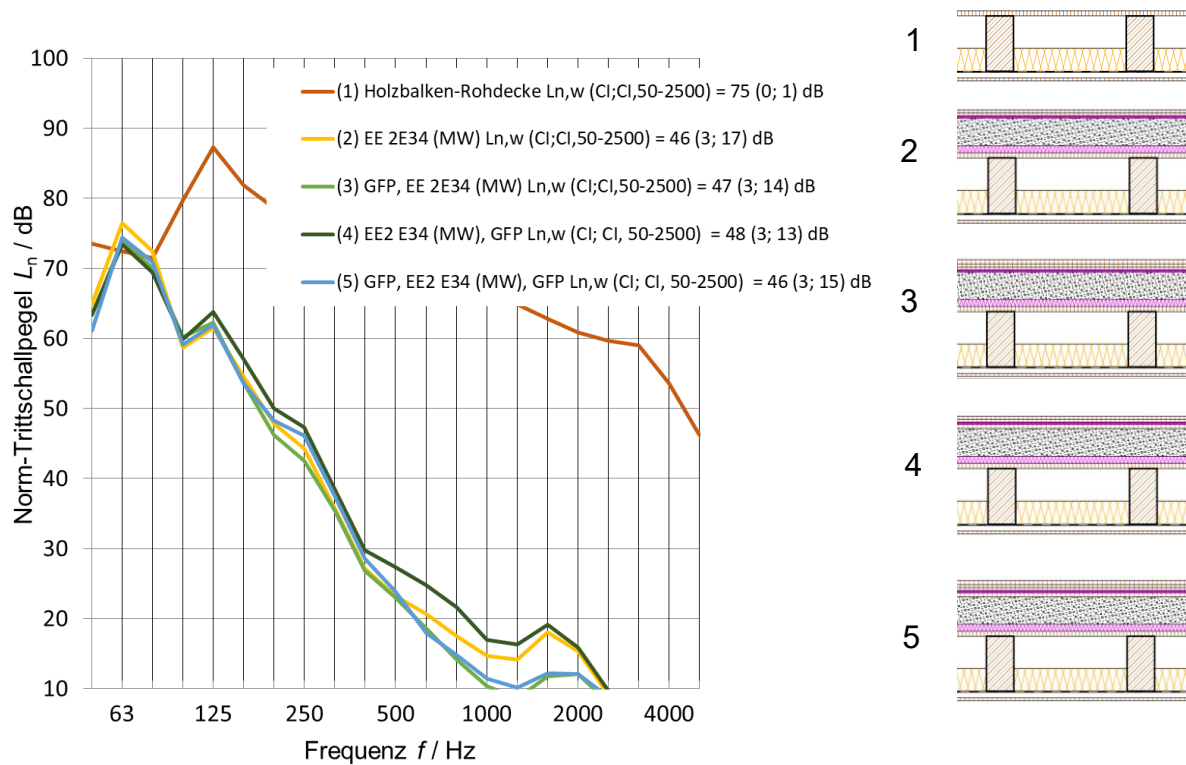
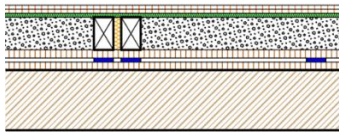


Abbildung 70: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten)

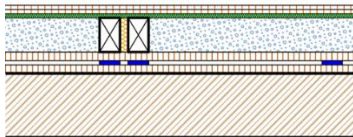
5.6. Estrich-Systemvarianten auf Brettsperrholz-Rohdecke (CLT)

5.6.1. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Wanne“



GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE EP3	12 mm
SCHÜTTUNG THERMOFIT, 600 kg/m³; STAFFEL 6/10	100 mm
OSB-PLATTE	25 mm
SYLODYN	12,5 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

ESTRICH, m' = 109 kg/m ²	354 mm



GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
GIPSFASERPLATTE	12,5 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE EP3	12 mm
SCHÜTTUNG THERMOFLOOR, 85 kg/m³; STAFFEL 6/10	100 mm
OSB-PLATTE	25 mm
SYLODYN	12,5 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

ESTRICH, m' = 67 kg/m ²	354 mm

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Punktgelagert – Wanne“ in Wechselwirkung mit der Brettsperrholz-Rohdecke (CLT-Rohdecke) sind in Tabelle 22 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 71 dargestellt.

Tabelle 22: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert – Wanne“ in Kombination mit der Brettsperrholz-Rohdecke

Estrich auf Brettsperrholz-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_f; C_{f,50-2500})$ in dB
(2) Thermofit Schüttung	50 (0; 3)
(3) Thermofloor Schüttung	57 (0; 1)

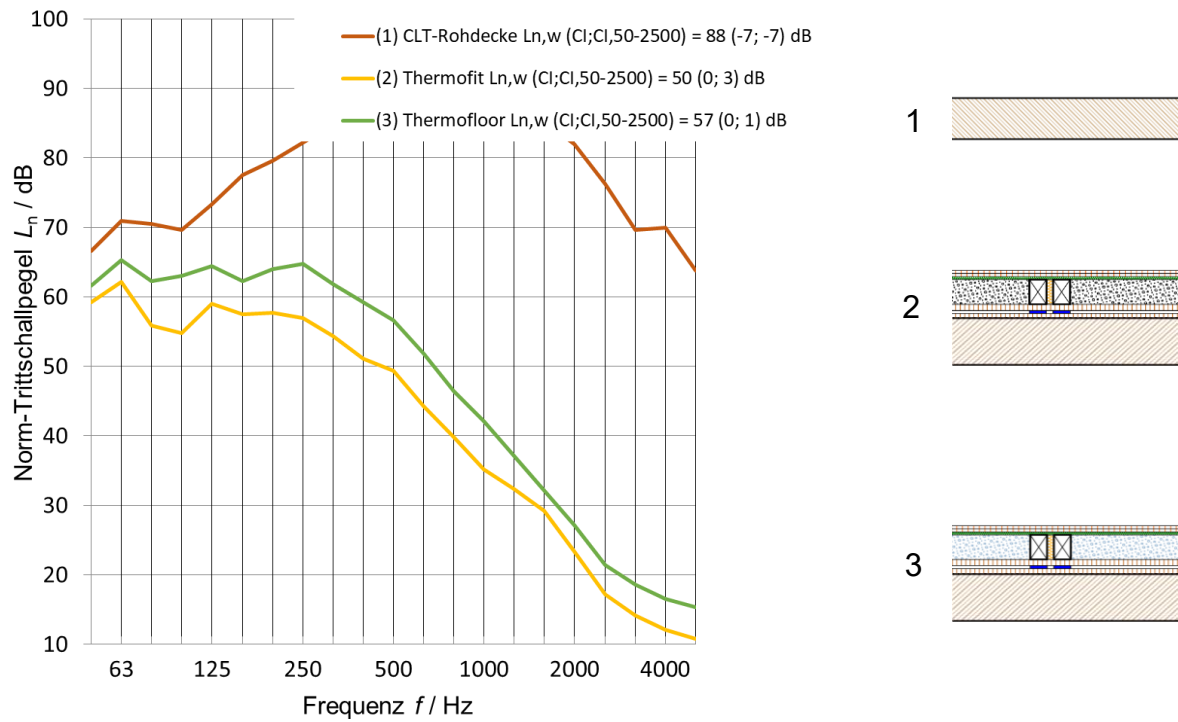
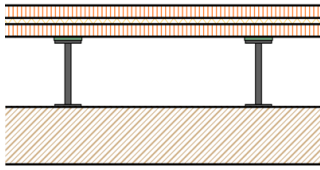


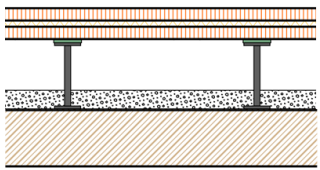
Abbildung 71: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert – Wanne“ auf Brettsperrholz-Rohdecke

5.6.2. Estrich-Systemvariante „Punktgelagert – Doppelboden“



HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 1,95 kg/m ² , s' = 14 MN/m ³	20 mm
HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
SYLODYN	6 mm
HOHLBODENSTÜTZE, 3,2 kg/m ²	220 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

ESTRICH, m' = 114 kg/m ²	486 mm



HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 1,95 kg/m ² , s' = 14 MN/m ³	20 mm
HOHLBODENPLATTE, 54,4 kg/m ²	40 mm
SYLODYN	6 mm
HOHLBODENSTÜTZE, 3,2 kg/m ²	220 mm
60 mm Wabenschüttung, 85 kg/m²	
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

ESTRICH, m' = 197 kg/m ²	486 mm

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Punktgelagert – Doppelboden“ in Wechselwirkung mit der Brettsperrholz-Rohdecke (CLT-Rohdecke) sind in Tabelle 23 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 72 dargestellt.

Tabelle 23: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in Kombination mit der Brettsperrholz-Rohdecke

Estrich auf Brettsperrholz-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C; C_{I,50-2500})$ in dB
(2) 20 mm TDPT ohne Schüttung	59 (0; 2)
(3) 20 mm TDPT, mit Schüttung	49 (0; 1)

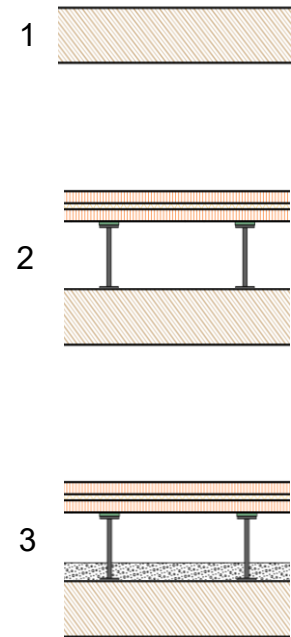
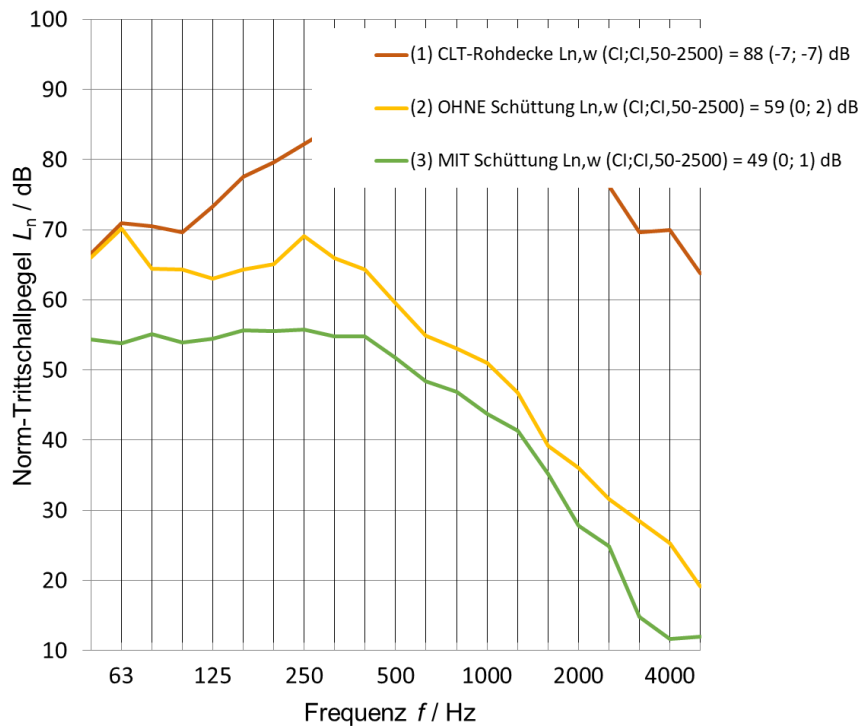
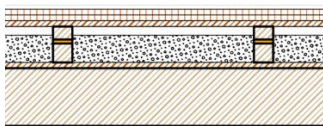


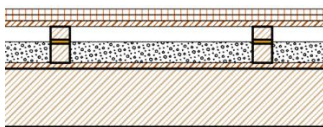
Abbildung 72: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ auf Brettsperrholz-Rohdecke

5.6.3. Estrich-Systemvariante „Linienlagerung“



GIPSFASERPLATTE	18 mm
GIPSFASERPLATTE	18 mm
OSB-PLATTE	18 mm
STAFFEL 4/6	40,6 mm
SYLOMER	12,5 mm
STAFFEL 6/6, dzw.	59 mm
85 mm SCHÜTTUNG	
OSB-PLATTE	25 mm
CLT-ROHDECKE, $m' = 88 \text{ kg/m}^2$	180 mm

ESTRICH, $m' = 174 \text{ kg/m}^2$	371 mm



GIPSFASERPLATTE	18 mm
GIPSFASERPLATTE	18 mm
OSB-PLATTE	18 mm
STAFFEL 4/6	40,6 mm
SYLOMER	12,5 mm
STAFFEL 6/6, dzw.	59 mm
60-70 mm SCHÜTTUNG	
OSB-PLATTE	25 mm
CLT-ROHDECKE, $m' = 88 \text{ kg/m}^2$	180 mm

ESTRICH, $m' = 147 \text{ kg/m}^2$	371 mm

Die Einzulangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Wechselwirkung mit der Brettsperrholz-Rohdecke (CLT-Rohdecke) sind in Tabelle 24 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 73 dargestellt.

Tabelle 24: Einzulangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Linienlagerung“ in Kombination mit der Brettsperrholz-Rohdecke

Estrich auf Brettsperrholz-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i; C_{i,50-2500})$ in dB
(2) Thermofit Schüttung	44 (0; 6)
(3) Thermofloor Schüttung	44 (0; 6)

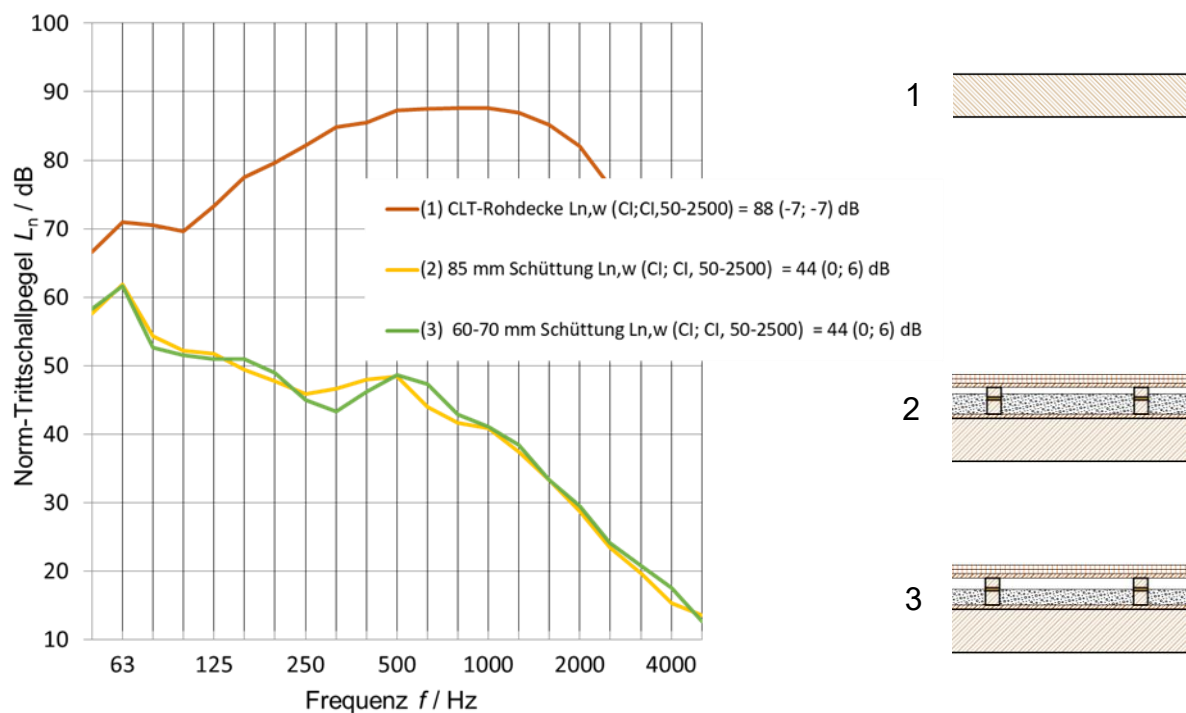
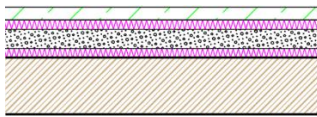


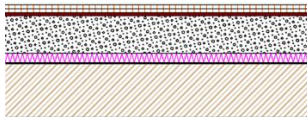
Abbildung 73: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Linienlagerung“ auf Brettsperrholz-Rohdecke

5.6.4. Estrich-Systemvariante „Flächig gelagert“

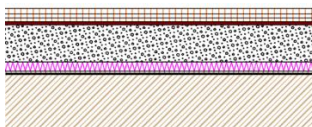


FLIESSESTRICH WEBER.FLOOR, 84 kg/m ²	40 mm
FOLIE	30 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	60 mm
WABENSCHÜTTUNG, 91,1 kg/m ²	30 mm
TRITTSCHALLDÄMMPLATTE TDPT, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	180 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	-----
	340 mm
ESTRICH, m' = 181 kg/m ²	

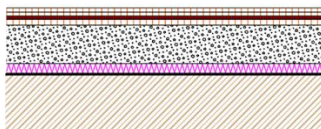
Aufbauten Trockenestrichplatten mit Holzfaser-Trittschalldämmplatten



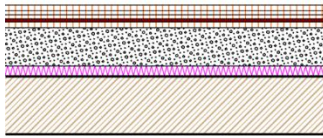
EE 2E33 (HF), 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
	180 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	-----
	365 mm
ESTRICH, m' = 225 kg/m ²	



GFP, 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E33 (HF), 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
	180 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	-----
	383 mm
ESTRICH, m' = 246 kg/m ²	



EE 2E33 (HF), 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
GFP, 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
	180 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	-----
	383 m
ESTRICH, m' = 246 kg/m ²	



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E33 (HF) , 33,0 kg/m ² , s' > 100 MN/m ³	35 mm
GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
	30 mm
MINERALWOLLE , 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	180 mm

CLT-ROHDECKE , m' = 88 kg/m ²	401 mm
ESTRICH , m' =267 kg/m ²	

Die Einzahlangaben zur Beschreibung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Wechselwirkung mit der Brettsperrholz-Rohdecke (CLT-Rohdecke) sind in Tabelle 25 und Tabelle 26 aufgelistet, der Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abbildung 74 und Abbildung 75 dargestellt.

Tabelle 25: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Brettsperrholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaser-Trittschalldämmplatten)

Estrich auf Brettsperrholz-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i, C_{l,50-2500})$ in dB
(2) Weberfloor, 60 mm Schüttung	43 (3; 12)
(3) EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	45 (2; 13)
(4) GFP, EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	42 (2; 13)
(5) EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	43 (2; 13)
(6) GFP, EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	41 (3; 13)

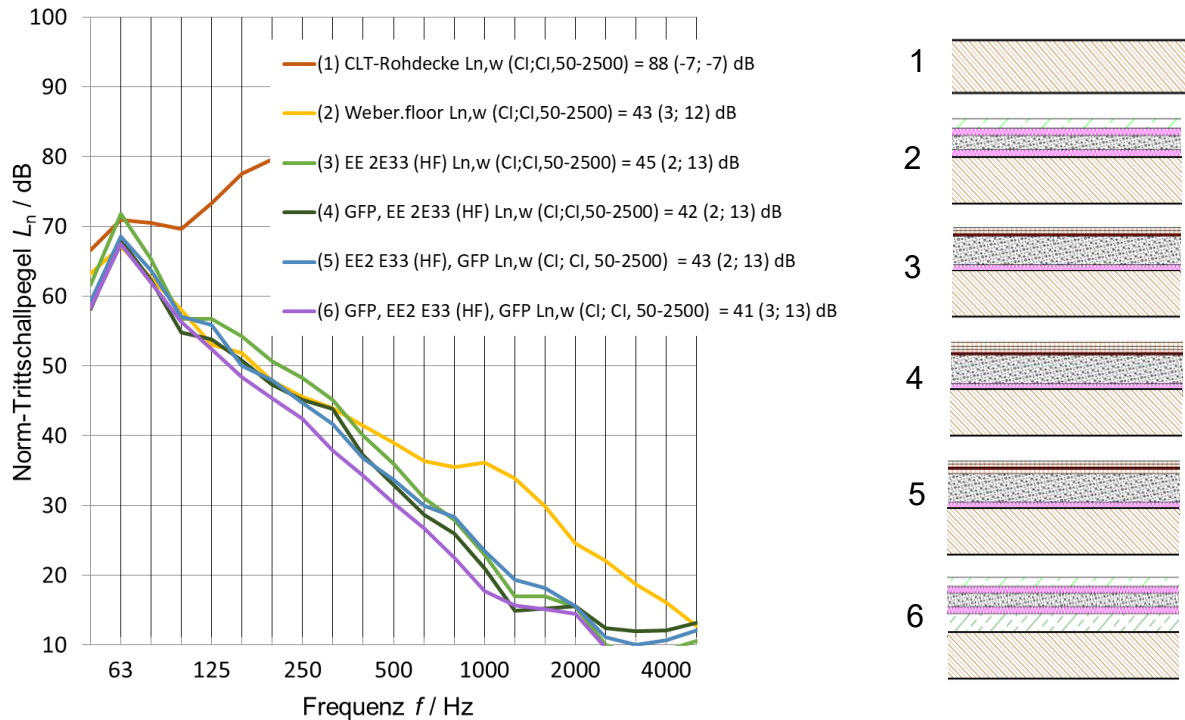
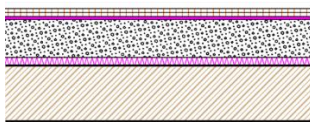


Abbildung 74: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Brettsperrholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaserdämmplatten)

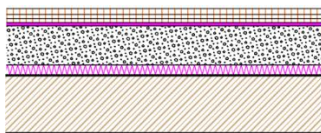
Aufbauten Trockenestrichplatte mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatte



EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

	365 mm

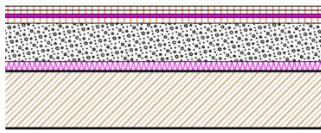
ESTRICH, m' = 224 kg/m²



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

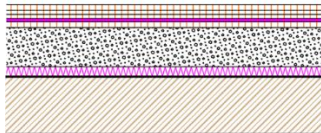
	383 mm

ESTRICH, m' = 246 kg/m²



EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

	383 mm
ESTRICH, m' = 246 kg/m ²	



GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
EE 2E34 (MW) , 32,4 kg/m ² , s' = 74 MN/m ³	35 mm
GFP , 21,2 kg/m ²	18 mm
WABENSCHÜTTUNG 2 x 60 mm, 189 kg/m ²	120 mm
MINERALWOLLE, 2,94 kg/m ² , s' = 12 MN/m ³	30 mm
CLT-ROHDECKE, m' = 88 kg/m ²	180 mm

	401 mm
ESTRICH, m' = 267 kg/m ²	

Tabelle 26: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Brettsperrholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten)

Estrich auf Brettsperrholz-Rohdecke	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}(C_i, C_{l,50-2500})$ in dB
(2) EE 2E34 10 MW, 120 mm Schüttung	43 (1; 15)
(3) GFP, EE 2E34 10MW, 120 mm Schüttung	41 (2; 15)
(4) EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	43 (1; 13)
(5) GFP, EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	42 (2; 12)

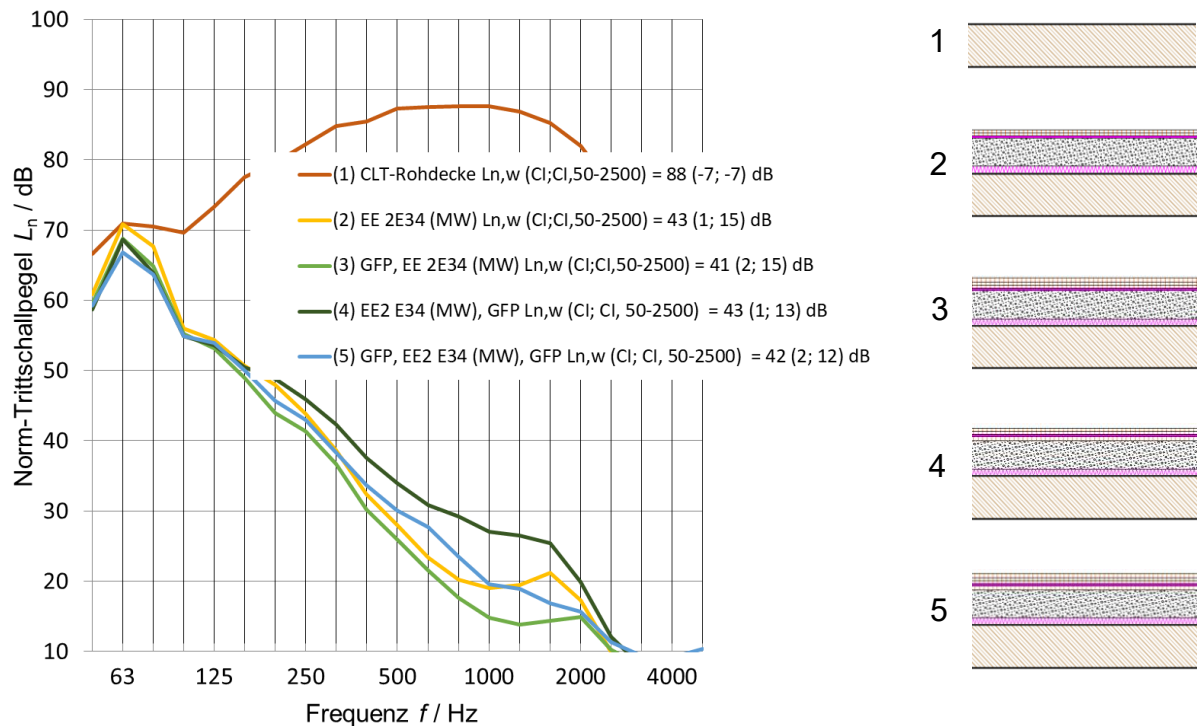


Abbildung 75: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Brettsperrholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten)

5.7. Vergleich der Wirkung der einzelnen Systemvarianten auf den unterschiedlichen Rohdecken

In Abbildung 76 bis Abbildung 83 ist die trittschalldämmtechnische Wirksamkeit (Norm-Trittschallpegel L_n) der auf der jeweiligen Rohdecke im 1:1-Format untersuchten Estrichvarianten in Abhängigkeit von der Frequenz im Vergleich dargestellt.

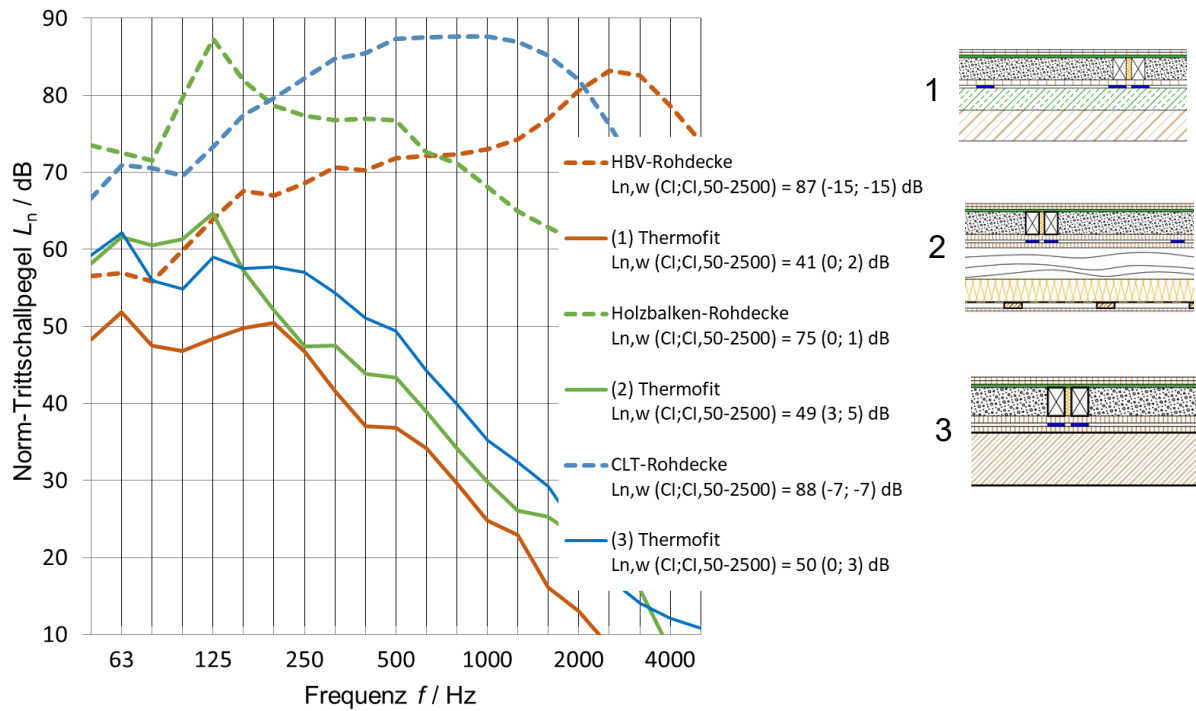


Abbildung 76: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Wanne“, „schwere“ Schüttung (600 kg/m^3)

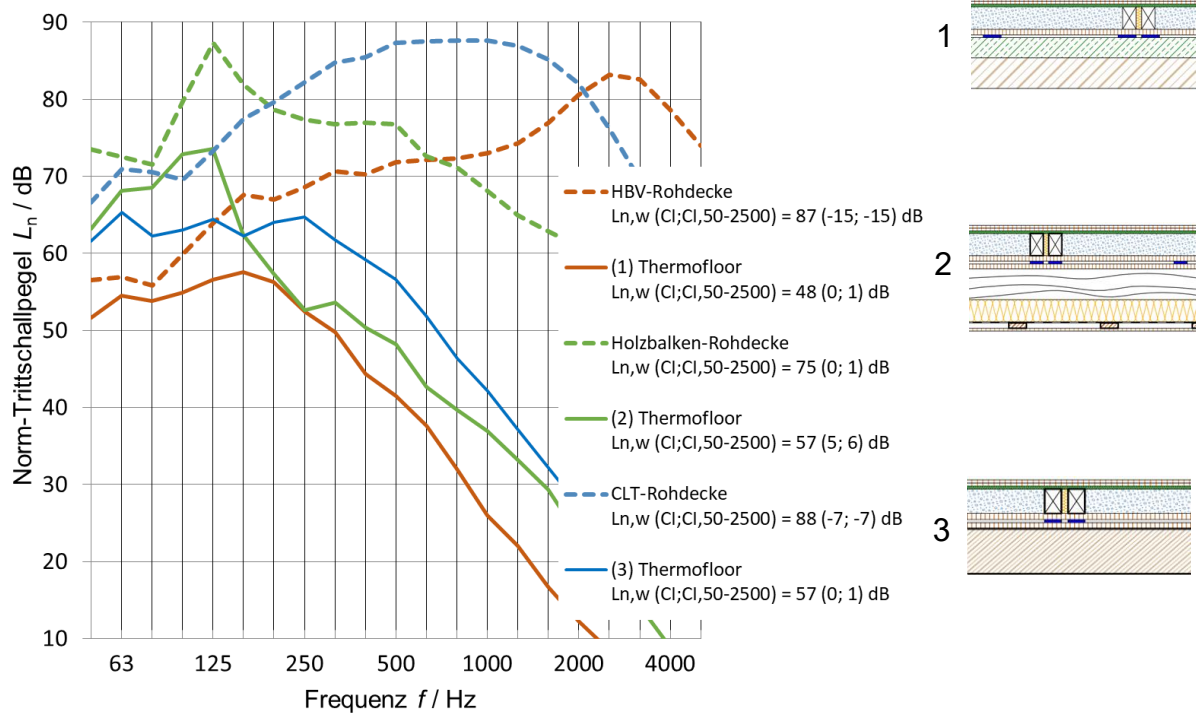


Abbildung 77: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Wanne“, „leichte“ Schüttung (85 kg/m^3)

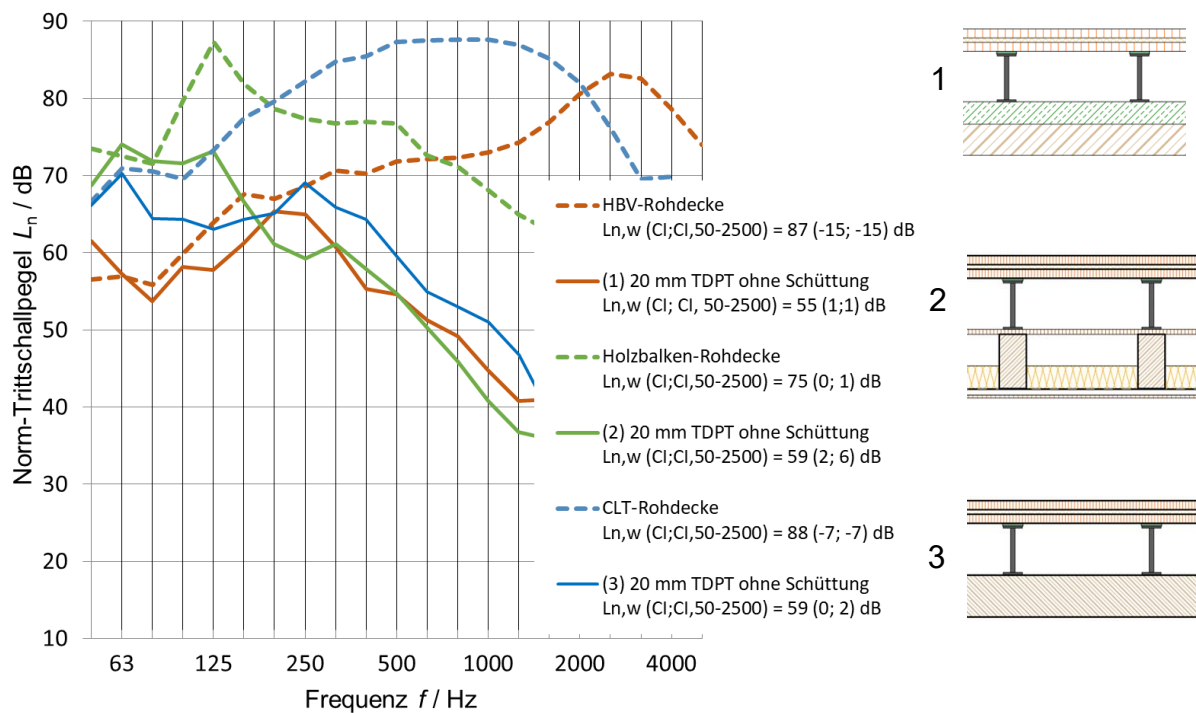


Abbildung 78: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Doppelboden“, „20 mm TDPT, ohne Schüttung“

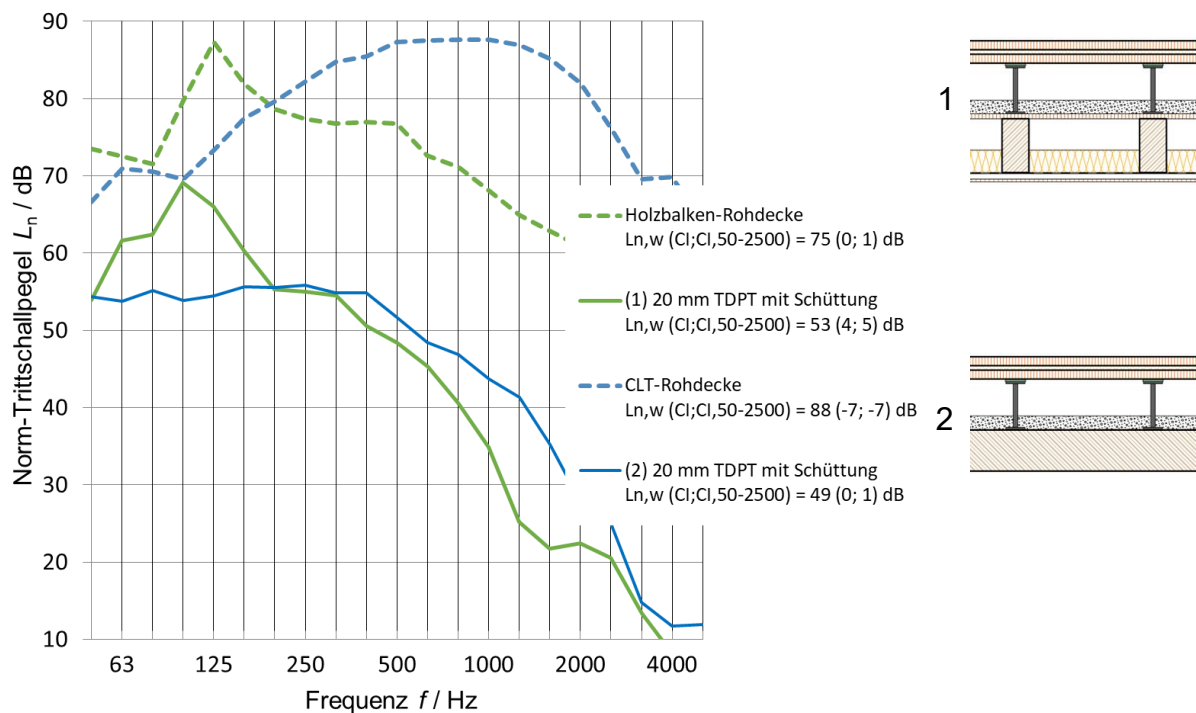


Abbildung 79: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Doppelboden“, „20 mm TDPT, mit Schüttung“

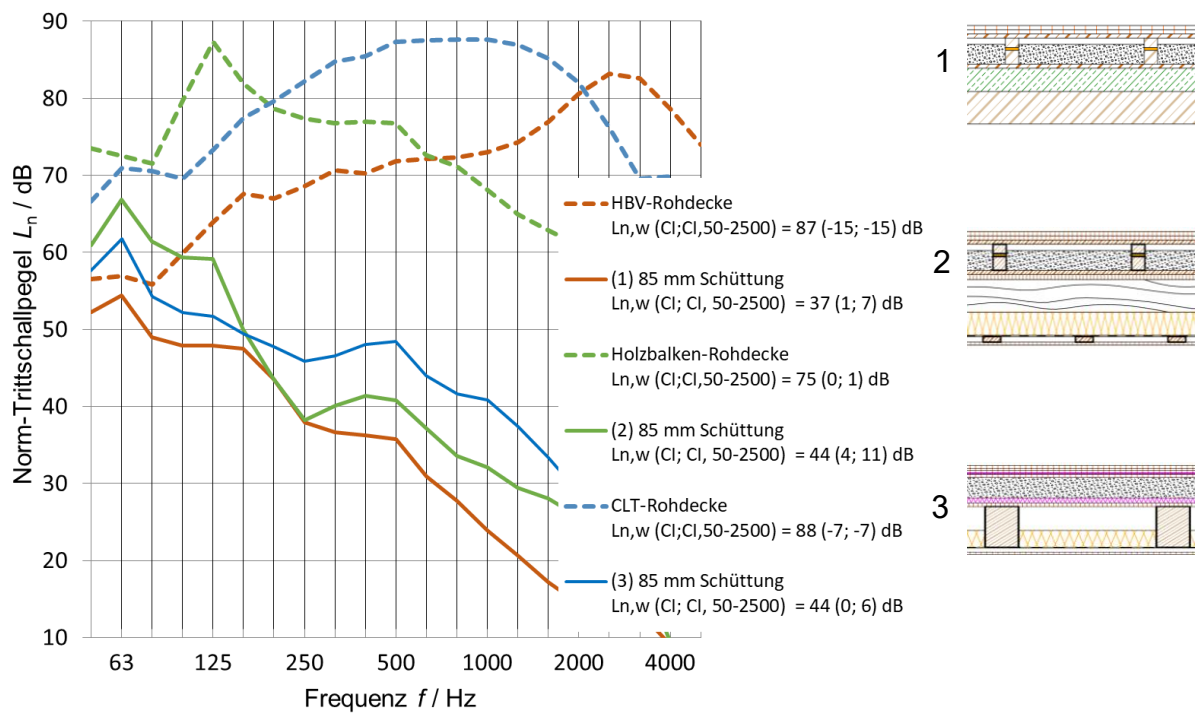


Abbildung 80: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Liniengelagert“, „85 mm Schüttung“

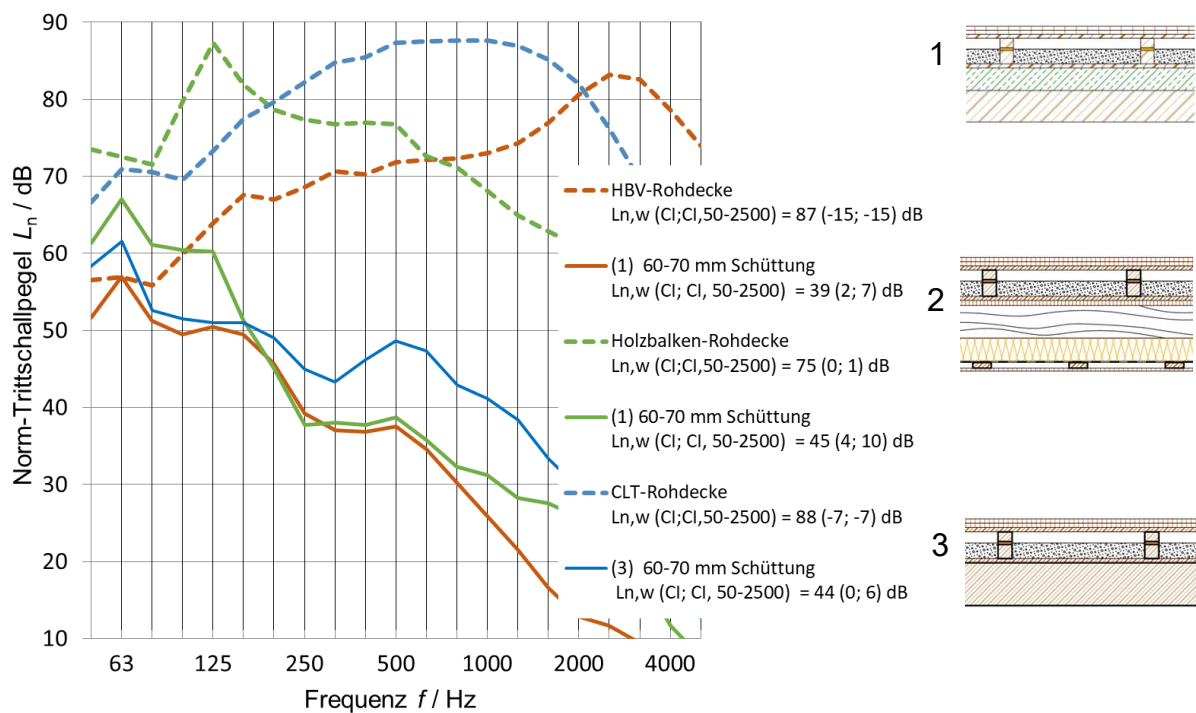


Abbildung 81: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Liniengelagert“, „60 - 70 mm Schüttung“

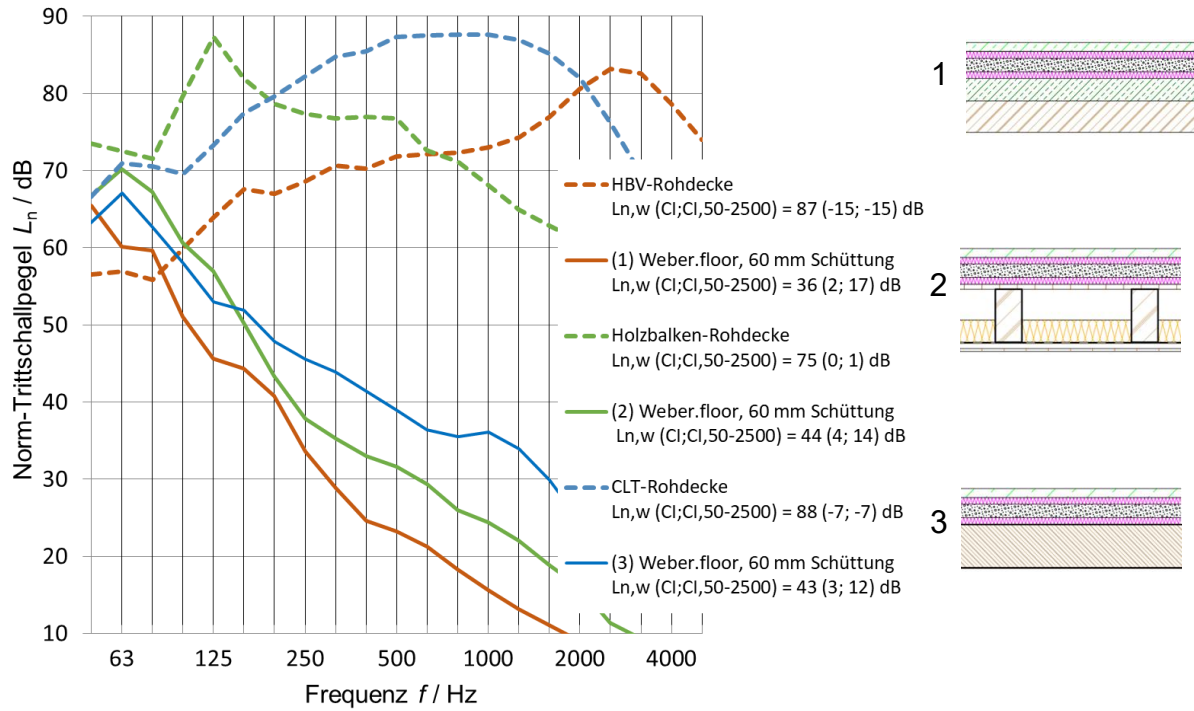


Abbildung 82: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Flächig gelagert“, „Weberfloor“

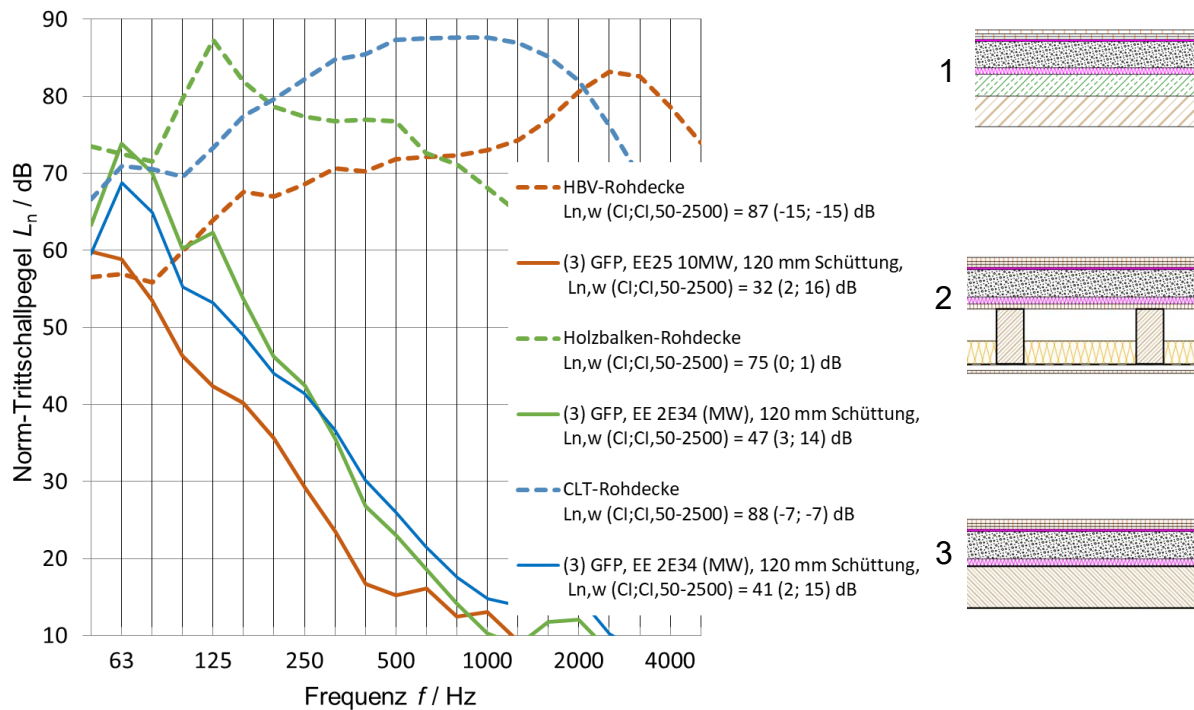


Abbildung 83: Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Flächig gelagert“, „Trockenestrichvariante“

5.8. Einordnung der Prototypen in das Anforderungs-System nach ÖNORM B 8115-5

In der nachfolgenden Tabelle 27 sind die Schallschutzklassen für den Trittschallschutz gemäß ÖNORM B 8115-5 angeführt.

Tabelle 27: Klassifizierung des Trittschallschutzes gemäß ÖNORM B 8115-5, Tabelle 3

Klassifizierung des Trittschallschutzes zu einer anderen Nutzungseinheit bei $L_{pB,Tag/Nacht} = 25 \text{ dB}/15 \text{ dB}$					
	Schallschutzklasse A	Schallschutzklasse B	Schallschutzklasse C	Schallschutzklasse D	Schallschutzklasse E
	hoher Schallschutz	erhöhter Schallschutz	Basisschallschutz	verringertes Schallschutz	geringer Schallschutz
Empfindlichkeitsniveau	$L_{nT,w} + C_{1,50} \leq 48 \text{ dB}$	$L_{nT,w} + C_{1,50} \leq 53 \text{ dB}$	$L_{nT,w} + C_{1,50} \leq 58 \text{ dB}$	$L_{nT,w} \leq 53 \text{ dB}$	$L_{nT,w} > 53 \text{ dB}$
$K_{sens} = 0 \text{ dB}^a$	--- ODER ---	--- ODER ---	--- ODER ---		
	$L_{nT,w} \leq 38 \text{ dB}$ $f_0 \leq 31 \text{ Hz}$	$L_{nT,w} \leq 43 \text{ dB}$ $f_0 \leq 50 \text{ Hz}$	$L_{nT,w} \leq 48 \text{ dB}$ $f_0 \leq 80 \text{ Hz}$		

In den nachfolgenden

Tabelle 28 bis Tabelle 30 sind die Kennwerte zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Trockenestrichausführungen in Kombination mit den Rohdeckenbauarten aufgelistet. Gleichzeitig erfolgt in den Tabellen die Einordnung in das Klassifizierungsschema nach ÖNORM B 8115-5, Ausgabe 2021. Als „klassisch“ wird die alternative Bedingung ohne Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswertes $C_{I,50-2500}$ verstanden, die Zusatzbedingung der Resonanzfrequenz wird jedoch nicht explizit beachtet. Ist die jeweils angegebene Schallschutzklasse kursiv geschrieben, so liegt der Wert des Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ bzw. des Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ in Kombination mit dem Spektrum-Anpassungswert $C_{I,50-2500}$ in gleicher Ausprägung des höchst zulässigen Standard-Trittschallpegels $L'_{nT,w}$ bzw. der Einzahlwertkombination aus $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$.

Tabelle 28: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft der Trockenestrichsysteme in Kombination mit der untersuchten Holz-Beton-Verbundrohdecke

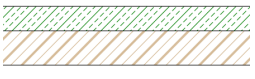
Estrich auf HBV-Rohdecke 	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}, L_{n,w}+C_I, L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ in dB	Schallschutzklasse ÖNORM B 8115-5	
		$L_{n,w} + C_{I,50}$	klassisch
Holzbeton-Verbundrohdecke			
„Punktgelagert-Wanne“			
(2) Thermofit Schüttung	41, 41, 43	A	A
(3) Thermofloor Schüttung	48, 48, 49	B	C / D
„Punktgelagert – Doppelboden“			
(2) 20 mm TDPT, 50 mm TW-KF	55, 55, 56	C	E
(3) 20 mm TDPT	55, 56, 56	C	E
(4) 15 mm TDPT	54, 54, 55	C	E
„Linienlagerung“			
(2) 85 mm Schüttung	37, 38, 44	A	A
(3) 60-70 mm Schüttung	39, 41, 46	A	B
„Flächig gelagert“			
(2) Weberfloor, 60 mm Schüttung	36, 38, 53	B / C	A
(3) GFP, EE25 10MW, 120 mm Schüttung	32, 34, 48	A / B	A
(4) GFP, EE25 10HF, 120 mm Schüttung	32, 34, 48	A / B	A
(5) EE25 10HF, 120 mm Schüttung	34, 36, 48	A / B	A

Tabelle 29: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft der Trockenestrichsysteme in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke

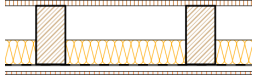

Estrich auf HBRD-Rohdecke 	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}, L_{n,w} + C_I, L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ in dB	Schallschutzklasse ÖNORM B 8115-5	
		$L_{n,w} + C_{I,50}$	klassisch
Holzbalken-Rohdecke			
„Punktgelagert-Wanne“			
(2) Thermofit Schüttung	49, 52, 54	C	D
(3) Thermofloor Schüttung	57, 62, 63	E	E
„Punktgelagert – Doppelboden“			
(2) 20 mm TDPT, ohne Schüttung	59, 61, 65	E	E
(3) 20 mm TDPT, mit Schüttung	53, 57, 58	C / D	D / E
“Linienlagerung”			
(2) 85 mm Schüttung	44, 48, 55	C	C
(3) 60-70 mm Schüttung	45, 49, 55	C	C
“Flächig gelagert” (Trockenestrich mit Holzfaserdämmplatte)			
(2) Weberfloor, 60 mm Schüttung	44, 48, 58	C / D	C
(3) EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	48, 51, 61	E	C / D
(4) GFP, EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	48, 51, 62	E	C / D
(5) EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	47, 50, 60	E	C
(6) GFP, EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	47, 50, 58	C / D	C
“Flächig gelagert” (Trockenestrich mit Mineralwollgedämmplatte)			
(2) EE 2E34 10 MW, 120 mm Schüttung	46, 49, 60	E	C
(3) GFP, EE 2E34 10MW, 120 mm Schüttung	47, 50, 61	E	C
(4) EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	48, 51, 61	E	C / D
(5) GFP, EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	46, 49, 61	E	C

Tabelle 30: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft der Trockenestrichsysteme in Kombination mit der 180 mm dicken Brettspertholz-Rohdecke (CLT)

Estrich auf CLT-Rohdecke 	bew. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}, L_{n,w}+C_I, L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ in dB	Schallschutzklasse ÖNORM B 8115-5	
		$L_{n,w} + C_{I,50}$	klassisch
180 mm Brettspertholz-Rohdecke (CLT)			
„Punktgelagert-Wanne“			
(2) Thermofit Schüttung	50, 50, 53	B / C	D
(3) Thermofloor Schüttung	57, 57, 58	C / D	E
„Punktgelagert – Doppelboden“			
(2) 20 mm TDPT, ohne Schüttung	59, 59, 61	E	E
(3) 20 mm TDPT, mit Schüttung	49, 49, 50	B	D
“Linienlagerung”			
(2) 85 mm Schüttung	44, 44, 50	B	C
(3) 60-70 mm Schüttung	44, 44, 50	B	C
“Flächig gelagert” (Trockenestrich mit Holzfaserdämmplatte)			
(2) Weberfloor, 60 mm Schüttung	43, 46, 55	C	B / C
(3) EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	45, 47, 58	C / D	C
(4) GFP, EE 2E33 10HF, 120 mm Schüttung	42, 44, 55	C	B
(5) EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	43, 45, 56	C	B / C
(6) GFP, EE 2E33 10HF, GFP, 120 mm Schüttung	41, 44, 54	C	B
“Flächig gelagert” (Trockenestrich mit Mineralwollgedämmplatte)			
(2) EE 2E34 10 MW, 120 mm Schüttung	43, 44, 58	C / D	B / C
(3) GFP, EE 2E34 10MW, 120 mm Schüttung	41, 43, 56	C	B
(4) EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	43, 44, 56	C	B / C
(5) GFP, EE 2E34 10MW, GFP, 120 mm Schüttung	42, 44, 54	C	B

6. Integrale Systembetrachtung – Bauprozessmanagement

Neben der technischen Entwicklung, unabhängig vom Material, der Methode oder dem System, erfordert die Produktentwicklung oder Weiterentwicklung bestehender Produkte auch eine ökonomische und prozesstechnische Analyse. Damit ein neues Produkt oder eine Dienstleistung erfolgreich eingeführt werden kann, müssen technische Maßnahmen ergriffen und Verfahren sowie Methoden überprüft und erweitert werden. Innovation bedeutet daher nicht nur die technische Weiterentwicklung, sondern auch die Anpassung der Prozesse und Methoden, um das Produkt in die Praxis umzusetzen.

Während des Projekts Schall.Holz.Bau.III konzentrierte sich das Arbeitspaket „Integrale Systembetrachtung“ auf die begleitende Analyse der entwickelten Fußbodenaufbausystemlösungen bezüglich ihrer Umsetzbarkeit. Dies umfasst technische und betriebliche Aspekte wie Arbeitsvorbereitung, Produktion, Transport und Montage sowie wirtschaftliche Themen wie Planung, Ausschreibung und Kalkulation. Der Schwerpunkt lag jedoch vor allem auf dem Bauprozessmanagement und der operativen Validierung der Systeme für eine skalierbare, vorgefertigte Umsetzung.

6.1. Ziel der integralen Systembetrachtung

Das Ziel dieses Arbeitspakets war es, neben der Entwicklung und Untersuchung verschiedener Systemvarianten, mit potenziellen Umsetzungspartnern eine umfassende Analyse durchzuführen. Gleichzeitig wurden Szenarien entwickelt, um zu bestimmen, welche Systeme aus praktischer Sicht realisierbar sind und welche zusätzlichen Elemente wie Anschlüsse und Vorfertigung erforderlich sind, um diese Systeme praktisch und wirtschaftlich skalieren zu können.

Der Schwerpunkt lag darauf, die Umsetzbarkeit zu prüfen und die erforderlichen Maßnahmen festzulegen, da technisch funktionierende Neuentwicklungen nicht unbedingt großflächig und praxisnah einsetzbar sind.

6.2. Workshops zum Bauprozessmanagement


Im begleitenden Bauprozessmanagement – das sämtliche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Aspekte zusammenführt – wurden alle Systeme gemeinsam mit den Unternehmenspartnern, also sowohl Lieferanten als auch Ausführenden, in mehreren Workshops und Diskussionsrunden überprüft. Ziel war es, deren Umsetzbarkeit in der Praxis zu beurteilen und damit eine detaillierte Evaluierung hinsichtlich Realisierbarkeit in Produktion, Logistik und Montage sowie Kosten und Effizienz vorzunehmen.

Chancen und Potenziale, aber auch die erwarteten Herausforderungen, die vorgefertigte Fußbodenaufbauten im Vergleich zu herkömmlichen vor Ort errichteten Systemen bieten, wurden in diesen Workshops identifiziert und verfeinert, um eine präzise Analyse jedes Aspekts zu gewährleisten.

6.3. Erarbeitung der Themen des Bauprozessmanagements im 1. Forschungsjahr

Im ersten Forschungsjahr wurden zusätzlich zu den technischen Workshops mit Fokus auf Bauakustik zu den vier identifizierten Systemlösungsansätzen deren Vor- und Nachteile schriftlich festgehalten und die größten Herausforderungen bei der Vorfertigung und Montage gemeinsam analysiert.

FFG-Projekt Schall.Holz.III
 Detailbetrachtung System 1 – Workshop 1 am 01.03.2021
 Bauprozesse im Systemkatalog



System Nr.: _____ Systemname: _____ Gruppe / Beteiligte: _____

Prinzip-/Systemskizze:

3 Vorteile: - - -	3 Nachteile: - - -
----------------------------	-----------------------------

Die 3 größten Herausforderungen der (Vor-)Fertigung:

-
-
-

Die 3 größten Herausforderungen der Montage:

-
-
-

Gedankenstützen Integration Bauprozessdenken

→ Variantenstudie angedachter Systeme / Verringerung der Möglichkeiten (auch Fehleranfälligkeit / Fehlerwahrscheinlichkeit) + Vor-/Nachteile + technische Konsequenzen

- Wahl des (Bau/Vor-)Fertigungssystems – stab(linien)förmige Produkte versus flächige Produkte
- Baukasten versus Bausatz
- Montier- und Demontierbarkeit
- unterschiedlicher Vorfertigungsgrad
- variierender Komplettierungsgrad je Element / Fertigstellungsgrad für Toleranzaufnahme vertikal / horizontal
- Rohbaupaket versus Ausbaupaket – Denken in Paketen (mehreilige Schichten)
- Fußbodenpaket – inkl. gesamter Aufbau, Estrich, Trittschalldämmung, Folien, Randstreifen, etc.
- Tragendes Paket – Berücksichtigung Verformung (Durchbiegung), Schwingung, Spannrichtung
- Trockenbaupaket – sämtliche Abhänge- und Unterkonstruktionen inkl. aller Anschlüsse, Aus- und Einbauteile, etc.

Denken nicht nur in der Fläche, sondern vor allem Lösung für Ränder (längs + quer) / Stöße / Passelemente (zur Toleranzaufnahme / Aufnahme von Toleranzen anderer Bauteile) / Durchführungen + Bauteildurchdringungen / Ebenenversprünge / Einbauteile TGA (gesamt oder n unterschiedlichen Schichten), etc.

Bauprozess: durchgängiges / technisch logisches Logistikkonzept bzw. Montagekonzept (Reihenfolge), – Transporte (Anzahl, Typ,...), Montage (Reihenfolge, Richtung,...), Hebezeuge / Montagegeräte / Hilfsmittel (Anzahl, Typ,...), Zugänglichkeiten (Gerüste, Hebebühnen,...), Zusammenbaubarkeit bzw. Zerlegbarkeit der Details / Module - Schemata inkl. einzelner Schritt, auch Bedenken der Demontage und Wiedereinsatz

01.03.2021 | JK © KOPPELHUBER² und Partner ZT OG 2021

Abbildung 84: Detailbetrachtung – Bauprozesse im Systemkatalog im März bis April 2021, hier: System 1 – Workshop 1 am 01.03.2021

Besonderes Augenmerk sollte bei der Ausarbeitung auf die folgenden baubetrieblichen Aspekte gelegt werden:

Variantenstudie angedachter Systeme / Verringerung der Möglichkeiten (auch Fehleranfälligkeit / Fehlerwahrscheinlichkeit) + Vor-/Nachteile + technische Konsequenzen

- Wahl des (Bau/Vor-)Fertigungssystems – stab(linien)förmige Produkte versus flächige Produkte
- Baukasten versus Bausatz
- Montier- und Demontierbarkeit
- unterschiedlicher Vorfertigungsgrad
- variierender Komplettierungsgrad je Element / Fertigstellungsgrad für Toleranzaufnahme vertikal / horizontal
- Rohbaupaket versus Ausbaupaket – Denken in Paketen (mehrteilige Schichten)
- Fußbodenpaket – inkl. gesamter Aufbau, Estrich, Trittschalldämmung, Folien, Randstreifen, etc.
- Tragendes Paket – Berücksichtigung Verformung (Durchbiegung), Schwingung, Spannrichtung
- Trockenbaupaket – sämtliche Abhänge- und Unterkonstruktionen inkl. aller Anschlüsse, Aus- und Einbauteile, etc.

→ Denken nicht nur in der Fläche, sondern vor allem in Lösungen für die Ränder (längs + quer) / Stöße / Passelemente (zur Toleranzaufnahme / Aufnahme von Toleranzen anderer Bauteile) / Durchführungen + Bauteildurchdringungen / Ebenenversprünge / Einbauteile TGA (gesamt oder in unterschiedlichen Schichten) etc.

→ Bauprozess: durchgängiges / technisch logisches Logistikkonzept bzw. Montagekonzept (Reihenfolge), Transporte (Anzahl, Typ,...), Montage (Reihenfolge, Richtung,...), Hebegeräte / Montagegeräte / Hilfsmittel (Anzahl, Typ,...), Zugänglichkeiten (Gerüste, Hebebühnen,...), Zusammenbaubarkeit bzw. Zerlegbarkeit der Details / Module – Schemata inkl. einzelner Schritt, auch Bedenken bzgl. Demontage und Wiedereinsatz

Im ersten Forschungsjahr wurden neben der Analyse der Herausforderungen und Besonderheiten der jeweiligen Systeme auch Online-Workshops durchgeführt, bei denen die Unternehmenspartner ihre Möglichkeiten und Interessen in Bezug auf die Mitwirkung an vier bauwirtschaftlichen Aspekten bekundeten:

- Planung
- Baubetrieb / Ausführung

- Ausschreibung / Kostenplanung / Kalkulation
- Geschäftsmodelle / Unternehmensentwicklung

Sämtliche nachfolgende Themen wurden detailliert von den Unternehmenspartnern analysiert. Dabei haben sie sowohl ihre Möglichkeiten als auch ihr Interesse an der Mitarbeit in diesen Bereichen dokumentiert und mitgeteilt.

ad 1) Planung

Planungsprozesse & Regelwerke gemäß LM.VM.2014 bzw. HOAI, an der Planung Beteiligte – Kooperation auf Augenhöhe, Kooperationsmodelle Planungsphasen (Partnering Modelle etc.), integrale Planung und BIM, ...

ad 2) Baubetrieb / Ausführung

Ausschreibung und Vergabe gemäß LB-HB 021 bzw. BVergG 2018, standardisierte Leistungsbeschreibung / Industriepositionen, Kostenplanung gemäß ÖNORM B 1801-1, Kostenvergleiche auf neutraler Basis, Baukalkulation gemäß ÖNORM B 2061, ...

ad 3) Ausschreibung / Kostenplanung / Kalkulation

Baubetrieb, Arbeitsvorbereitung / Fertigungsplanung, Ablaufplanung und Logistik, Bauverfahrenstechnik / Montagesysteme, Gerätetechnik, Lean Construction,

ad 4) Geschäftsmodelle / Unternehmensentwicklung

Organisationsstrukturen, Unternehmenseinsatzformen, Kooperationsmodelle und -prozesse auf Augenhöhe, Geschäftsmodelle / Vertriebskonzepte,


Interesse / Mitwirkung - Systeme - Schall.Holz.Bau III																
System 1 - linienförmig		Planung			Ausschreibung / Kostenplanung / Kalkulation			Baubetrieb / Ausführung			Geschäftsmodelle / Unternehmensentwicklung					
		Planungsprozesse & Regelwerke gemäß LM.VM.2014 bzw. HOAI, an der Planung Beteiligte – Kooperation auf Augenhöhe, Kooperationsmodelle Planungsphasen (Partnering Modelle etc.), integrale Planung und BIM, ...			Ausschreibung und Vergabe gemäß LB-HB 021 bzw. BVergG 2018, stand. Leistungsbeschreibung / Industriepositionen, Kostenplanung gemäß ÖNORM B 1801-1, Kostenvergleiche auf neutraler Basis, Baukalkulation gemäß ÖNORM B 2061, ...			Baubetrieb, Arbeitsvorbereitung / Fertigungsplanung, Ablaufplanung und Logistik Bauverfahrenstechnik / Montagesysteme, Gerätetechnik, Lean Construction,			Organisationsstrukturen, Unternehmenseinsatzformen, Kooperationsmodelle und -prozesse auf Augenhöhe, Geschäftsmodelle / Vertriebskonzepte,					
Teilnehmer		Interesse	Mitwirkung	Ebene BPM	Interesse	Mitwirkung	Ebene BPM	Interesse	Mitwirkung	Ebene BPM	Interesse	Mitwirkung	Ebene BPM			
1	Stauss Perlite															
2	Rubner															
3	Kaufmann Bausysteme															
4	Graf Holztechnik															
5	Wood Rocks															
6	Lindner															
7	Getzner															
8	Oberndorfer															
9	James Hardie															
10	Variotherm															
11	Saint Gobain															
12	Weitzer Parkett															
13	MABA															
14	Stora Enso															

Abbildung 85: Aufteilung in Systeme Interessen Mitwirkung einzelner Unternehmenspartner im November 2021, hier: System 1 – online-Workshop 1 am 08.11.2021

6.4. Erarbeitung der Themen des Bauprozessmanagements im 2. Forschungsjahr

Im zweiten Forschungsjahr wurden die festgelegten Systemvarianten in mehreren Workshops mit potenziellen Umsetzungspartnern besprochen. Zu diesen Partnern gehören Unternehmen, die tatsächlich Bauteile fertigen und montieren können und dies bereits bei anderen Produkten außerhalb von Fußbodensystemen tun. In Zukunft könnten sie daher als Hersteller von Fußbodensystemen oder sogar als Komplettanbieter für „vorgefertigte Fußbodenpakete“ auftreten und nicht nur als Lieferanten einzelner Produkte.

In mehreren Workshops wurden gemeinsam mit den Umsetzungspartnern erstmals Prinzipien und Konzepte entwickelt, um die bestehenden Möglichkeiten zu erkunden und gleichzeitig die verbleibenden offenen Fragen in Bezug auf ihr Optimierungspotential für Vorfertigungsgrade und Bauprozesse zu bewerten. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse – sowohl technische als auch baubetrieblich (wie Vorfertigung) – flossen in den Optimierungsprozess der Systemlösungsansätze des Projekts ein. Dabei wurden Systeme ausgeschlossen, die entweder nicht baubar oder nur mit sehr hohem wirtschaftlichen Aufwand realisierbar waren, um zu vermeiden, dass nur rein „wissenschaftliche“ Lösungen übrigbleiben, die zwar optimalen Trittschallschutz bieten, jedoch in der Praxis schwer umzusetzen sind.

Eine Liste neuralgischer Punkte im Fußbodenaufbau, wie Elementstöße, Fügetechnik in der Fläche, Randabschlüsse und Durchdringungen, wurde für die untersuchten Systemlösungsansätze erstellt. Diese dient dazu, in einer Variantenstudie die Systemlösungen auf Fehleranfälligkeit, Vor- und Nachteile sowie technische Konsequenzen zu prüfen und ihre Umsetzbarkeit zu bewerten.

FFG-Projekt Schall.Holz.Bau.III
Detailbetrachtung Systemvarianten – Nachbearbeitung 5. Konsortialmeeting TU Wien 01.03.2023

MATRIX DER SYSTEMLÖSUNGEN – offene Punkte Bauteilentwicklung
Liste neuralgischer Punkte – Themen für Bearbeitung (Workshopbearbeitung 13.03.2023)

		Priorität / Kategorie	System Sandwich – punktgelagert
Bodenaufbau	Schichten	A	
	(Element)formate Standard	A	
	Passelemente / nicht Standardformate	A	
—			
Elementstöße – Fügetechnik in der Fläche	Querstöße	A	
	Längsstöße	A	
—			
Randschluss	zur Wand (Massiv / mineralisch)	A	
	zur Wand (Holz)	A	
	zum offenen Rand / Abschluss (Aufkantung)	B	
	zur Treppe	B	
	zur Stütze rund	B	
	zur Stütze eckig	B	

06.03.2023 | JK © KOPPELHUBER² und Partner ZT OG 2023 1 / 2

FFG-Projekt Schall.Holz.Bau.III
Detailbetrachtung Systemvarianten – Nachbearbeitung 5. Konsortialmeeting TU Wien 01.03.2023

Durchdringung	Rohr rund	C	
	Rohr eckig	C	
	HKLS	C	
	Elektro	C	
	Bodeneinbauten (Unterflur-konnektor, Beleuchtung etc)	C	
—			
Statik	Nutzlasten	A	
	Gebrauchtauglichkeit	A	
	Durchstanzen	B	
	ungleiche Stärke tragendes Element	B	
—			
Sonstiges	Übergang Bodenbeläge + Höhenausgleich / Höhensersatz	C	
	Wartung & Revision	C	
—			

06.03.2023 | JK © KOPPELHUBER² und Partner ZT OG 2023 2 / 2

Abbildung 86: Matrix der Systemlösungen – Ergebnisse der Workshops mit Unternehmenspartnern des 2. Forschungsjahres – präsentiert im Rahmen des 5. Konsortialtreffens am 01.03.2023

6.5. Erarbeitung der Themen des Bauprozessmanagements im 3. Forschungsjahr

Auf Basis der zahlreichen Untersuchungen sowie baubetrieblichen Betrachtungen der Systeme wurde im 3. Forschungsjahr der Fokus auf die tatsächliche bauliche und prozesstechnische Umsetzbarkeit sowie die Tauglichkeit der einzelnen Systeme gelegt.

Abschließend wurde ein Tauglichkeitsranking erstellt, sowohl auf Systemebene als auch für alle Systeme zusammen. Die im Projekt betrachteten Varianten, die den Anforderungen an die Bauakustik entsprechen und somit für zukünftige Entwicklungen in der Branche geeignet sind, wurden gemeinsam mit dem Konsortium bewertet. Dieses Ranking stellt eine grobe Einschätzung dar, um der Branche eine Orientierungshilfe für die Entwicklung künftig trittschallschutzoptimierter Fußbodenaufbausysteme zu bieten. Detaillierte Bewertungen hängen stark von der tatsächlichen Umsetzung des letztlich am Markt eingeführten Fußbodenaufbausystems ab.

Folgende Themen wurden beim Tauglichkeitsranking betrachtet:

Bautechnik: Elementstöße: Fügetechnik in der Fläche (Querstöße / Längsstöße); Randabschluss: zur Wand (massiv / mineralisch), zur Wand (Holz), zum offenen Rand / Abschluss (Aufkantung), zur Treppe, zur Stütze rund/eckig etc.; Durchdringung: Rohr rund/eckig, HKLS, Elektro, Bodeneinbauten (Unterflurkonvektoren, Beleuchtung etc.), ...; Statik: Nutzlasten, Gebrauchstauglichkeit, Durchstanzen, ungleiche Stärken, tragendes Element, ...; Sonstiges: Übergang Bodenbeläge + Höhenausgleich, Höhenversatz, Wartung & Revision, ...

Baubetrieb: Vorfertigungsgrad / Komplettierungsgrad, Transport zur Baustelle / auf der Baustelle, Einfachheit in der Montage, Montagereihenfolge / Richtung, Rückbaubarkeit / Demontierbarkeit, Zerlegbarkeit der Schichten / Bauteile, Wiedereinbaubarkeit / Wiederverwendbarkeit nach Rückbau, Gewerkeschutz / Bauteilschutz während Montage, Montage-/ Einbautoleranz, Hebezeuge / Hebemittel, Montagewerkzeuge, ...

Bauwirtschaft: Vielschichtigkeit – Anzahl der Arbeitsgänge auf der Baustelle, Anzahl erforderlicher Arbeitskräfte / Monteure, Verschnitt in Produktion, Kosten / Nutzen Verhältnis im Vgl. zu bestehenden Lösungen, Fehleranfälligkeit / erwartbare Mängel, Planungsgrundlagen, Planungswerkzeuge etc., Ausschreibungstexte, Kalkulationsansätze, Markteinschätzung im Vgl. zu bestehenden vor-Ort Systemen / Aufbauten, Markteignung, Nachhaltigkeit, Geschäftsmodellentwicklung, ...

Die Evaluierung der vier Systeme wurden im Rahmen des Konsortialtreffens im Oktober 2023 durch alle anwesenden Unternehmenspartner vorgenommen und danach grafisch aufbereitet.

Nachfolgend finden sich die Teilergebnisse sowie das Gesamtergebnis, welche im Rahmen des finalen Konsortialtreffens im Februar 2024 präsentiert wurden.

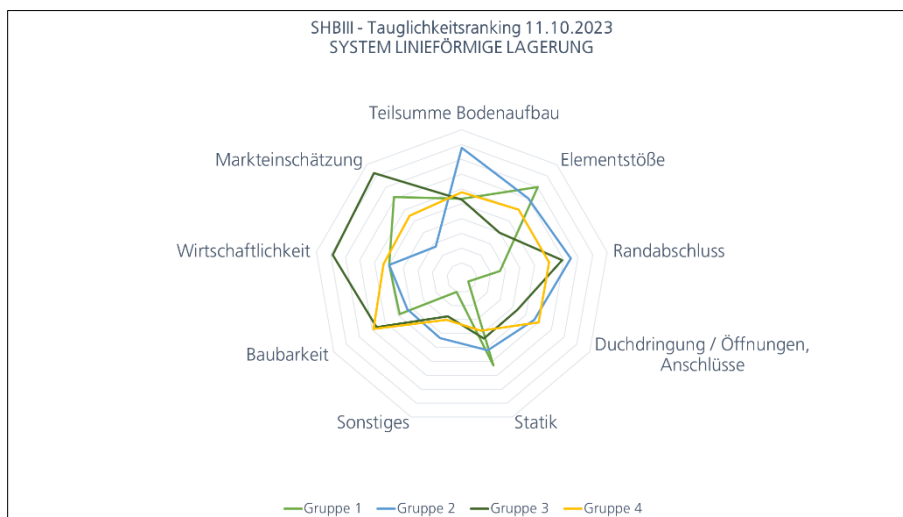


Abbildung 87: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit linienförmiger Lagerung

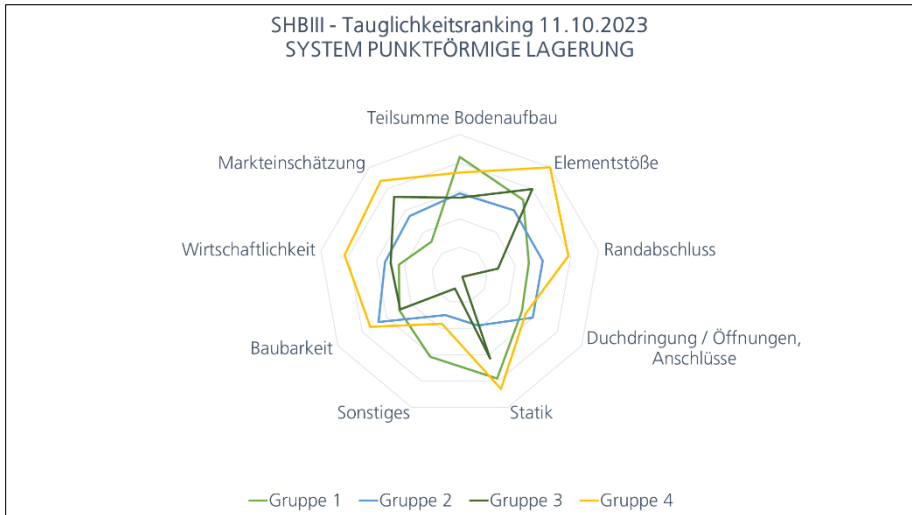


Abbildung 88: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit punktförmiger Lagerung

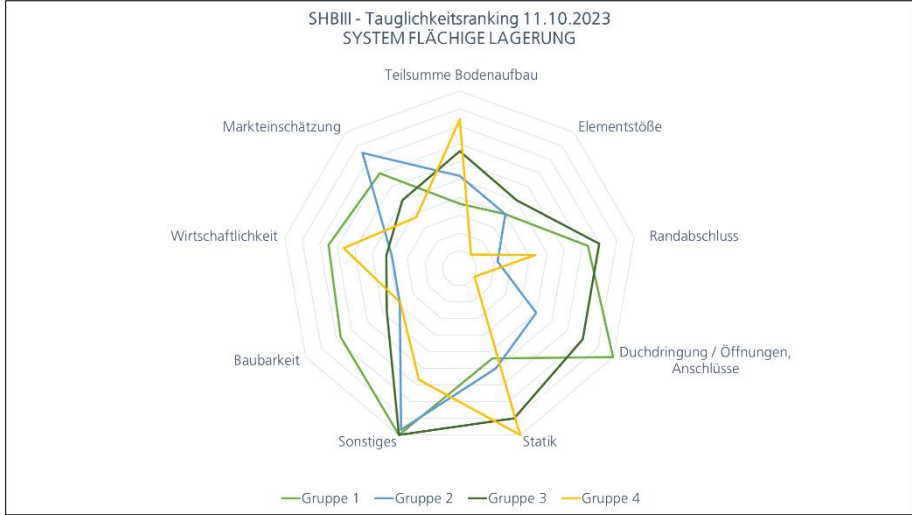


Abbildung 89: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit flächiger Lagerung

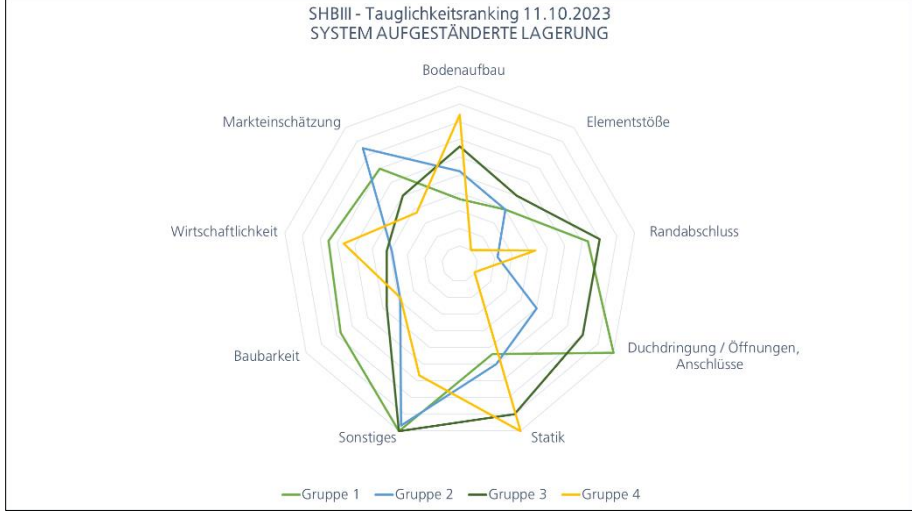


Abbildung 90: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit aufgeständerter Lagerung

Die Unternehmenspartner halten die Wirtschaftlichkeit für entscheidend, die jedoch erst bei größeren Stückzahlen und automatisierter Produktion erreicht wird. Die Markteinschätzung ist positiv, ebenso wie die noch nötigen Details und Anschlüsse zur Vervollständigung der Systeme.

Aus der Zusammenführung der vier Teilergebnisse lässt sich ebenfalls ein Gesamtbewertungsergebnis ableiten. Die folgende Grafik zeigt daher die aggregierte Bewertung aller Systeme.

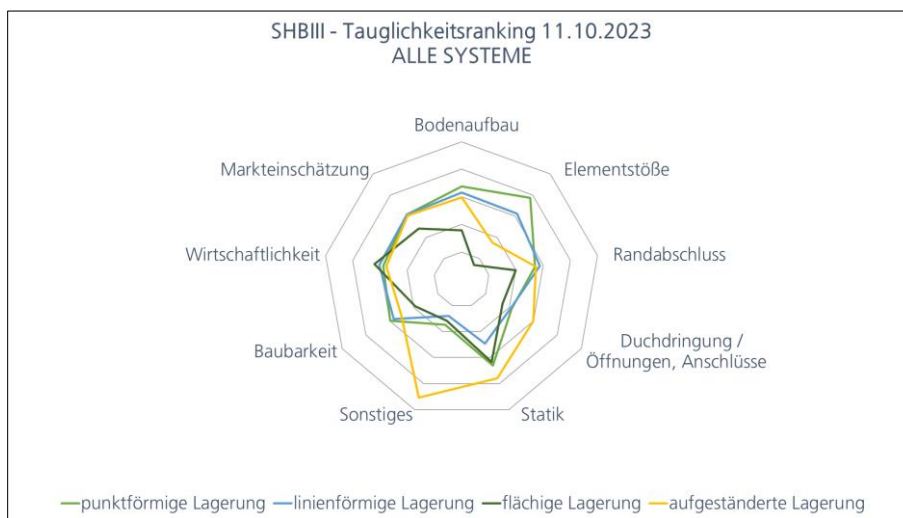


Abbildung 91: Gesamtergebnis des Tauglichkeitsrankings aller Systeme

6.6. Fazit integrale Systembetrachtung – Bauprozessmanagement

Vorgefertigte Fußbodensysteme, die als Gesamt- oder Teilpaket auf die Baustelle geliefert und montiert werden, bieten insbesondere im Holzbau gegenüber herkömmlichen Fußbodenaufbauten mit einzelnen Materialien, die direkt vor Ort kombiniert und eingebaut werden, ein zu hebendes Potenzial. Da der Holzbau als Fertigbausystem große Wand- und Deckenelemente meist in tragender Funktion vorfertigt und diese nur noch montieren muss, stellt sich seit Längerem die Frage, ob auch bei Holzböden eine Vorfertigung der Ausbauphasen, zusätzlich zu den tragenden Elementen, möglich ist. Während sich diese Methode bei Wandbaukomponenten bereits bewährt hat, wurde sie für Decken bisher kaum umgesetzt. Daher bleibt offen, ob bei mehrschichtigen Fußbodensystemen ebenfalls die Möglichkeit zur Weiterentwicklung hinsichtlich einer Vorfertigung besteht.

Das Projekt Schall.Holz.Bau III hat gezeigt, dass es technisch machbar ist, verschiedene Lagerungsmethoden und Aufbauvarianten vorzuproduzieren, und dass dies auch wirtschaftlich vorteilhaft dargestellt werden kann.

Für die Branche gilt nun die nächsten Schritte zu gehen: die identifizierten Systemlösungen in Richtung Markttauglichkeit weiterzuentwickeln, dabei die Lerneffekte aus dem Projekt hinsichtlich Vorfertigung und Montage zu nutzen und eine Skalierung vorgefertigter Deckensysteme mit trockenen Fußbodenaufbauten für den

Holzbau vorzunehmen. Ziel ist – ähnlich wie bei Wandbauteilen –, integrierte Bauteile als Gesamtes auf die Baustelle zu liefern und damit ein hohes Maß an Qualität bei deutlich verkürzter Bauzeit zu erreichen.

7. Literaturverzeichnis

- [1] R. Holt, K. Hagberg & D. Bard: „Survey of international tall wood buildings. Proceedings 40th IAHS World Congress on Housing, Sustainable Housing Construction”, Funchal, Portugal, 2014
- [2] N.G. Vardaxis, D. Bard & K. Persson Waye: “Review of acoustic comfort evaluation in dwellings – part I: Associations of acoustic field data to subjective responses from building surveys”, *Building Acoustics*, Vol. 25(2), S.151-170, 2018
- [3] N.G. Vardaxis & D. Bard: “Review of acoustic comfort evaluation in dwellings: part II – impact sound data associated with subjective responses in laboratory tests”, *Building Acoustics*, Vol. 25(2), S.171-192, 2018
- [4] B. Rasmussen & J.H. Rindel: „Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe”, *Applied Acoustics*, Volume 71 (3), S.171-180, 2010
- [5] B. Rasmussen: “Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe”, *Applied Acoustics*, Volume 71 (4), S.373-385, 2010
- [6] F. Bruckmayer & J. Lang: „Richtlinien für die Anwendung wirtschaftlicher Schallschutzmaßnahmen im Wohnungsbau als Vorbereitung für legislative Maßnahmen“, *Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen*, Heft 55, 1974
- [7] C. Guigou-Carter, N. Balanant & M. Villenave: “Acoustic comfort evaluation in light-weight wood-based buildings”, *Proceedings Forum Acusticum*, Krakow, Poland, 2014
- [8] M. v. Damme, M. Blasco, C. Crispin, P. Huart, B. Ingelaere & D. Wuyts: “Acoustic Comfort In Timber Frame Dwellings”, *Building Acoustics*, 14(1), S.15-24, 2007
- [9] J.H. Rindel: “On the influence of low frequencies on the annoyance of noise from neighbours”, *Proceedings inter-noise*, Seogwipo, Korea, 2003
- [10] K. Hagberg: “Ratings adapted to subjective evaluation for impact and airborne sound and its application in building regulations – a literature survey”, *Proceedings 17th International Congress on Acoustics*, Rome, Italy, 2001
- [11] B. Rasmussen & J.H. Rindel: “Sound insulation of dwellings – Legal requirements in Europe and subjective evaluation of acoustical comfort”, *Proceedings DAGA*, Aachen, Germany, 2003
- [12] A. Rabold, U. Schanda & J. Hessinger: “Korrelation zwischen Geher und Norm-Hammerwerk bei der Trittschallübertragung”, *Proceedings DAGA*, Düsseldorf, Deutschland, 2011
- [13] M. Späh, K. Hagberg & O. Bartlomé: “Subjective and objective evaluation of impact noise sources in wooden buildings”, *Building Acoustics*, Vol. 20(3), S.193–214, 2013

- [14] COST Action FP0702 (2008-2012), e-books <http://extranet.cstb.fr/sites/cost/ebook/Forms/AllItems.aspx>
- [15] COST Action TU0901 (2009-2013), e-books <http://www.costtu0901.eu/tu0901-e-books.html>
- [16] K. Hagberg & D. Bard: "Sound Insulation Descriptors in Europe—Special Rules Complicate Harmonization within Lightweight Industry", *Building Acoustics*, Vol. 17(4), S.277-290, 2010
- [17] B. Rasmussen: "Sound classification of dwellings – Quality class ranges and intervals in national schemes in Europe", *Proceedings Euronoise*, Prague, Czech Republic, 2012
- [18] ÖNORM B 8115-5:2012 04 01: "Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 5: Klassifizierung", Austrian Standards, Wien
- [19] A. Rabold, B.Schödl & U. Schanda: "Schalltechnische Optimierung von Unterdeckenabhängern", *Proceedings DAGA*, Rostock, Deutschland, 2019
- [20] A. Homb, C. Guigou-Carter, K. Hagberg & H. Schmid: "Impact sound insulation of wooden joist constructions: Collection of laboratory measurements and trend analysis", *Building Acoustics* Vol. 23(2), S.73-91, 2016
- [21] F. Ljunggren & A. Ågren: "Potential solutions to improved sound performance of volume based lightweight multi-storey timber buildings". *Applied Acoustics*, Vol. 72: S.231–240, 2011
- [22] D. Bard, et al.: "Modelling prerequisites – FEM/SEA Impact and Airborne Sound", Re-port no STB01 WG1, RISE Report 2017:56, Göteborg, Schweden, 2017
- [23] J. Brunskog, P. Hammer: "Prediction models of impact sound insulation on timber floor structures: A literature survey", *Building Acoustics*, Vol 7(2), S. 89-112, 2000
- [24] A. Homb, C. Guigou-Carter, K. Hagberg, H. Schmid: "Impact sound insulation of wooden joist constructions: Collection of laboratory measurements and trend analysis", *Building Acoustics*, Vol. 23(2), S.73-91, 2016
- [25] B. Ingelaere, D. Wuyts: "Impact sound measurements on wooden floors. Project AH+, part 6", *Internoise*, Innsbruck, Österreich, 2013
- [26] A. Homb, C. Guigou-Carter, A. Rabold: "Impact sound insulation of cross-laminated timber/massive wood floor constructions: Collection of laboratory measurements and result evaluation", *Building Acoustics*, Vol. 24(1), S.35-52, 2016
- [27] L. Nowotny, J. Nurzynski: "The influence of insulating layers on the acoustic performance of lightweight frame floors intended for use in residential buildings", *Energies*, Vol. 13(5), S. 1217, 2020
- [28] J. Kouyoumji, D. Bard, G. Borello, C. Guigou: "Challenges for acoustic calculation models in "Silent Timber Build", Part 2", *Internoise*, Melbourne, Australia, 2014

- [29] A. Homb, et al.: "Validation of prediction tools and constructions – grouping, verification measurements and trend analysis", Report no STB01 WG2, RISE Report 2017:56, Göteborg, Schweden, 2017
- [30] A. Rabold, A. Düster, J. Hessinger, E. Rank: „Optimization of lightweight floors in the low frequency range with a FEM based prediction model“, DAGA, Rotterdam, Niederlanden, 2009
- [31] H. Iwashige: "A theory on impact noise evaluation of a wood joist floor from equivalent circuit models and principle experiment, Archives of Acoustics 26, Vol. 3, S.245-254, 2001
- [32] J. Negreira, D. Bard: "Modelling of the tapping machine for finite element prediction tools – Preliminary parametric studies", Silent Timber Build, 2017
- [33] C. Churchill, C. Hopkins: „Prediction of airborne sound transmission across a timber-concrete composite floor using statistical energy analysis“, Applied Acoustics, Vol. 110, S.145-159,2016
- [34] A. Rabold, A. Düster, E. Rank: "FEM based prediction model for the impact sound level of floors", Acoustics, Paris, Frankreich, 2009
- [35] C. Qian, S. Menard, D. Bard-Hagberg, J. Kouyoumji, J. Negreira: "Calibration of the ISO Tapping machine for finite-element prediction tool on a wooden-base floor", Building Acoustics, Vol. 26(3), S.157-167, 2019
- [36] M. Perez, M. Fuente: "Acoustic design through predictive methods in cross laminated timber (CLT) panel structures", Internoise, Innsbruck, Österreich, 2013
- [37] M. Filippoupolitis, C. Hopkins, et al.: "Experimentally validated finite element models for the modal response of a solid timber floor formed from dowl-connected joists", Forum acousticum, Krakow, Polen, 2014
- [38] M. Filippoupolitis, C. Hopkins, et al.: "Structural dynamics of a dowelled-joist timber floor in the low-frequency range modelled using finite element simulation", Engineering Structures, Vol. 148, S.602-620, 2017
- [39] A. Bolmsvik, T. Ekevid: "FE Modeling of wooden building assemblies", Internoise, Lisbon, Portugal, 2010
- [40] C. Diaz-Cereceda: "Numerical Modelling of Impact Noise", Universität Politecnica de Catalunya, 2009
- [41] J. Mahn, C. Hopkins, M. Filippoupolitis: "The optimization of a wooden floor design based on validated finite element models", Internoise, Melbourne, Australia, 2014
- [42] C. Guigou-Carter, M. Villot: "Analytical and Experimental Study of Wood Floorings", Forum Acusticum, Budapest, Ungarn, 2005
- [43] T. Asakura: "Numerical simulation of floor impact sound by using finite-difference time-domain method", Internoise, Seoul, Korea, 2020

- [44] A. Santoni, et. al.: "Acoustic simulation of timber floors performance using numerical models", ICSV, Montreal, Kanada, 2019
- [45] P. Latvanne, et al.: "An engineering method for the calculation of impact sound insulation of wooden floor constructions", BNAM, Reykjavik, Island, 2018
- [46] A. Rabold, M. Schneider, H. Fischer, B. Zeitler: „Neue Berechnungsverfahren zur Trittschallübertragung“, Bauphysik, Vol. 42(4), S. 160-172, 2020
- [47] C. Guigou-Carter, R. Foret, M. Villot: "Prediction of the acoustic performance of floor coverings on lightweight floors", Internoise, Ottawa, Kanada, 2009
- [48] S. Hirakawa, C. Hopkins: "Re-considering the impedance method used to predict impact sound insulation from heavy impacts", Internoise, Seoul, Korea, 2020
- [49] M. Neusser: "Analyse des Einflusses von Verbindungsmitteln auf das Schalldämmmaß von leichten Trennwandkonstruktionen durch realitätsnahe Modellierung von Schraub- und Klebeverbindungen", Technische Universität Wien, 2017
- [50] ÖNORM B 8115-4:2003
- [51] ÖNORM EN ISO 12354-2:2017
- [52] A. Blödt, et. al.: „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung“, Holzbau Deutschland-Institut e.V, Berlin, Deutschland, 2019

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Konsortium Schall.Holz.Bau III	6
Abbildung 2: Versuchsstand an der TU Wien zur Messung des Trittschallpegels verschiedener Fußbodenkonstruktionen auf einer Brettsperrholzdecke. Der Aufbau dient der Untersuchung und Bewertung der Schallisolations- und Trittschalleigenschaften unterschiedlicher Fußbodensysteme unter kontrollierten Laborbedingungen.	17
Abbildung 3: Schnittdarstellung der untersuchten Grunddeckensysteme als Brettstapeldecke und Holzbetonverbunddecke	18
Abbildung 4: Frequenzabhängige Darstellung des gemessenen Norm-Trittschallpegels für Grunddecken in Holz-Beton-Verbundbauweise (HBV) und Brettstapelbauweise (BSP).	18
Abbildung 5: Darstellung der Lagerungssituationen der Estriche. Oben links ist die punktuelle Lagerung dargestellt, bei der der Estrich auf punktuellen Stützpunkten liegt. Oben rechts zeigt die linienförmige Lagerung, bei der der Estrich entlang von Linien gestützt wird. Unten links ist die flächige Lagerung zu sehen, bei der der Estrich über eine größere Fläche aufliegt.	20
Abbildung 6: Darstellung der unterschiedlichen Schüttungsmaterialien (links) und der verwendeten Betonplatten (25 cm x 25 cm x 7 cm) als Alternative zur Deckenbeschwerung (rechts).	22
Abbildung 7: Darstellung der punktförmigen Entkopplung unterhalb der Schüttung mittels geschäumter Polyurethanpads (10 cm x 10 cm)	23
Abbildung 8: Darstellung der flächigen Entkopplung unterhalb der Schüttung mittels Trittschalldämmplatten (30 mm) aus Glaswolle und der darauf gelagerten Schüttung mit Trittschalldämmplatte aus Steinwolle (60 mm)	24
Abbildung 9: Darstellung des Einflusses der Lagerungsarten (punktförmig, linienförmig, flächig) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Die Abbildungen zeigen die Messwerte für verschiedene Estricharten:	27
Abbildung 10: Darstellung des Einflusses der Lagerungsarten (linienförmig, flächig) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm) mit 80 mm Kiesschüttung als Rohdeckenbeschwerung.	29
Abbildung 11: Darstellung des Einflusses unterschiedlicher Estrichsysteme (20 mm Gipsfaserplatte und 19 mm Dreischichtplatte, 40 mm Zementestrich und 100 mm Zementestrich) bei variierender Lagerung (punkt- und linienförmig) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm).	30
Abbildung 12: Darstellung des Einflusses einer Schüttung (80 mm Kies) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Untersucht wird der Effekt der Schüttung bei variierender Lagerung des Estrichs, sowohl linienförmig als auch flächig	31
Abbildung 13: Darstellung des Einflusses Bindung der Schüttung (80mm Kies) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140mm)	32
Abbildung 14: Darstellung des Einflusses einer zusätzlichen Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung (80 mm Kies), realisiert durch eine 30 mm dicke Glaswolleplatte, auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Verglichen werden die Effekte bei variierender Lagerung des Estrichs, sowohl linienförmig als auch flächig.	33
Abbildung 15: Darstellung des Einflusses des Achsabstandes der Lagerung (linienförmig links, punktförmig rechts) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Untersucht wird der Effekt bei Verwendung eines 40 mm Zementestrichs, der auf geschäumtem Polyurethan gelagert ist.	34

Abbildung 16: Darstellung des Unterschieds zwischen 80 mm Kies und 25 cm x 25 cm x 7 cm Betonplatten als Deckenbeschwerung in den frequenzabhängigen Verläufen des Norm-Trittschallpegels einer flächig gelagerten Fußbodenkonstruktion auf einer Brettstapeldecke (140 mm). Die Schüttung wurde sowohl ohne als auch mit zusätzlicher Entkopplungsebene durch eine 30 mm dicke Glaswolleplatte unterhalb der Schüttung ausgeführt.	35
Abbildung 17: Einbauzustand des deckenebenen DELTABEAM® Verbundträgers als Deckenaufleger einer Holz-Beton-Verbunddecke (100 mm Beton, 140 mm CLT). Links ist der Zustand des nicht ausbetonierten Trägers dargestellt, rechts der Zustand nach dem Ausbetonieren.	36
Abbildung 18: Darstellung des Einflusses der Deckenteilung durch einen deckenebenen Verbundträger auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Holz-Beton-Verbunddecke (100 mm Beton, 140 mm CLT).	37
Abbildung 19: Darstellung des Einflusses der Deckenteilung durch einen deckenebenen Verbundträger auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Holz-Beton-Verbunddecke (100 mm Beton, 140 mm CLT) mit unterschiedlichen Fußbodenkonstruktionen des Systemtyps „Punkt“ und „Linie“	38
Abbildung 20: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht des Estrichs und des Achsabstandes der Lagerung (Linienlager) bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit dem Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$	39
Abbildung 21: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Flächengewicht des Estrichs und des Achsabstandes der Lagerung (Punktlager) bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$	40
Abbildung 22: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und des Flächengewichts des liniengelagerten Estrichs bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$	41
Abbildung 23: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und des Flächengewichts des flächig gelagerten Estrichs bei einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$	42
Abbildung 24: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und der dynamischen Steifigkeit einer zusätzlichen Entkopplungsebene bei einem liniengelagertem Estrich und einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$	42
Abbildung 25: Contourplots zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Flächengewicht der Schüttung und der dynamischen Steifigkeit einer zusätzlichen Entkopplungsebene bei einem flächig gelagertem Estrich und einem Grunddeckensystem in Brettstapelbauweise auf die Trittschallminderung $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$	43
Abbildung 26: Darstellung der normierten Gewichte der im linearen Prognosemodell berücksichtigten Einflussparameter zur Prognose des Trittschallpegels einer Brettsperrholzdecke mit Fußbodenkonstruktion (Estrich, Trittschalldämmung, Schüttung, elastische Lagerung der Schüttung).....	44
Abbildung 27: Zusammenhang der Trittschallkennwerte $L_{n,w}$ und $L_{n,w} + C_{1,50}$ von Fußbodenvarianten auf den Rohdecken (siehe Abschnitt 5.1.1.) Holz-Beton-Verbunddecke mit 100 mm Beton und 140 mm CLT (HBV)- und einer Holzbalkendecke (HBD).....	46
Abbildung 28: Zusammenhang der Trittschallkennwerte $L_{n,w}$ und $L_{n,w} + C_{1,50}$ von Fußbodenvarianten auf den Rohdecken (siehe Abschnitt 5.1.1.) Holz-Beton-Verbunddecke mit 100 mm Beton und 140 mm CLT (HBV) und einer 140 mm Brettstapeldecke (BPS).....	47

Abbildung 29: Frequenzabhängiger Mittelwert und Standardabweichung der Differenz $\Delta L_{n,HBV} - L_{n,BSP}$ zwischen den Norm-Trittschallpegeln unterschiedlicher Fußbodensysteme aus Abschnitt 4.6 auf einer Holz-Beton-Verbunddecke (HBV) und einer Brettstapeldecke (BSP)	48
Abbildung 30: Schnittdarstellung der untersuchten Fußbodenkonstruktion „Punkt“ und dessen Parameter auf der Brettstapeldecke	49
Abbildung 31: Beispielfoto einer Messsituation eines Deckenaufbaus mit dem Fußbodensystem „Punkt“ auf einer Brettstapeldecke	50
Abbildung 32: Darstellung des Einflusses der Dicken des Trockenestrichs aus Gipsfaserplatten (25 mm, 30 mm, 37,5 mm) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ auf einer Brettstapeldecke (140 mm).	51
Abbildung 33: Darstellung des Einflusses der Trittschalldämmung (12 mm Steinwolle, 20 mm Holzfaser) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ mit variierenden Dicken des Estrichs aus Gipsfaserplatten (25 mm, 37,5 mm) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).....	52
Abbildung 34: Darstellung des Einflusses der Schüttung (120 mm Perlit/Betongranulat, 120 mm Perlit, 60 mm Betongranulat) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ mit Estrich aus Gipsfaserplatten (25 mm) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).....	53
Abbildung 35: Darstellung des Einflusses der Wannengerüstung (keine, 6 mm Sylodyn, 12 mm Sylodyn, 25 mm Sylodyn, 12 mm Steinwolle) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Punkt“ mit Estrich aus Gipsfaserplatten (25 mm) und 12 mm Trittschalldämmung aus Steinwolle auf einer Brettstapeldecke (140 mm).....	55
Abbildung 36: Übersicht über die gemessenen einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegel $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$ des Fußbodensystems „Punkt“ und Einteilung in die Komfortklassen gemäß ÖNORM B 8115-5 bzw. Erfüllung der Anforderungen gemäß OIB RL 5 für Wohnbau.....	56
Abbildung 37: Schnittdarstellung der untersuchten Fußbodenkonstruktion „Linie“ und deren Parameter auf Brettstapeldecke	58
Abbildung 38: Beispielfoto einer Messsituation eines Deckenaufbaus mit dem Fußbodensystem „Linie“ auf einer Brettstapeldecke	59
Abbildung 39: Darstellung des Einflusses der Dicken des Trockenestrichs aus Gipsbauplatten (2x 12,5 mm, 2x 18 mm) und einer OSB Platte (25 mm) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ auf einer Brettstapeldecke (140 mm).....	60
Abbildung 40: Darstellung des Einflusses der Steifigkeit des Linienlagers (SR18, SR28) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12mm GBP, 25mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).....	62
Abbildung 41: Darstellung des Einflusses der Dicke des Linienlagers (6 mm, 12 mm) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 25 mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).....	63
Abbildung 42: Darstellung des Einflusses der Schüttung (70 mm Betongranulat oder 30 mm Mineralwolle) auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 25 mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).....	64
Abbildung 43: Darstellung des Einflusses der zusätzlichen Lagerung der Schüttung (70 mm Beton Granulat bzw. 50mm Betongranulat auf 20 mm Glaswolle) auf die frequenzabhängigen Verläufe	

des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 2x 18 mm GBP) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).	65
Abbildung 44: Darstellung des Einflusses der zusätzlichen Entkopplung unterhalb der Wanne durch eine 30 mm starke Glaswolleplatte auf die frequenzabhängigen Verläufe des Norm-Trittschallpegels einer Fußbodenkonstruktion des Systems „Linie“ mit variierendem Estrich (2x 12 mm GBP, 25 mm OSB) auf einer Brettstapeldecke (140 mm).	66
Abbildung 45: Übersicht über die gemessenen einzahlbewerteten Norm-Trittschallpegeln $\Delta L_{n,w}$ ohne und mit Spektrumanpassungswert $\Delta L_{n,w} + C_{1,50}$ des Fußbodensystems „Linie“ und Einteilung in die Komfortklassen gemäß ÖNORM B 8115-5 bzw. Erfüllung der Anforderungen gemäß OIB RL 5 für Wohnbau.....	67
Abbildung 46: Auszug aus der ÖNORM B 1995-1-1 zu der Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit von Deckensystemen	68
Abbildung 47: Abbildung des Mess-Setups zur Bestimmung der ersten Eigenfrequenz und der Durchbiegung bei 100 kg Punktlast in Deckenmitte	69
Abbildung 48: Einfluss der Haupttragrichtung der Fußbodenkonstruktion N Normal, L Längs zur Haupttragrichtung der Grunddecke auf die Durchbiegung der Gesamtdeckenkonstruktion an der Deckenunterseite	69
Abbildung 49: Prozessablauf der Entwicklung der Prognosemodelle der Norm-Trittschallpegel der untersuchten Fußbodensysteme in Kombination mit einer Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbunddecke	70
Abbildung 50: Layer-Struktur des angewendeten Neuralen Netzes zur Prognose der Norm-Trittschallpegel der untersuchten Fußbodensysteme in Kombination mit einer Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbunddecke	72
Abbildung 51: Abweichung zwischen dem mittels Neural Network prognostizierten einzahlbewertetem Trittschallpegel $L_{n,w,Rechnung}$ und $L_{n,w,Messung}$ über den Datensatz generiert aus Abschnitt 4.4 auf einer Brettsperrholzdecke	72
Abbildung 52: Abweichung zwischen dem mittels Neural Network prognostizierten einzahlbewerteten Trittschallpegel $L_{n,w,Rechnung}$ und dem gemessenen $L_{n,w,Messung}$ über den Datensatz generiert aus Abschnitt 4.6 auf Holz-Beton-Verbunddecken	73
Abbildung 53: Grafische Oberfläche zur Prognose des Trittschallpegels der im Rahmen des Projekts erarbeiteten und untersuchten Fußbodenkonstruktionen auf Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbunddecken	74
Abbildung 54: Modell-Module in 1:1 zur Untersuchung der Trittschalldämmung von Deckenbauarten in Modulbauweise in Vorbereitung zur Messung	75
Abbildung 55: Modell-Module in 1:1 zur Untersuchung der Trittschalldämmung von Deckenbauarten in Modulbauweise messbereit	76
Abbildung 56: Norm-Trittschallpegel L'_n in Abhängigkeit von der Frequenz der „Roh-Deckenausbildung – Hohlraum Mineralwolle“ bei unterschiedlicher Wirksamkeit der Flankierenden	78
Abbildung 57: Norm-Trittschallpegel L'_n in Abhängigkeit von der Frequenz einer „Roh-Deckenausbildung“ mit unterschiedlichen Hohlraumausführungen bei gleicher für die jeweilige Situation optimierter Wirksamkeit der Flankierenden (Auflager mit geeigneter Dämmzwischenlage).....	80
Abbildung 58: Norm-Trittschallpegel L'_n in Abhängigkeit von der Frequenz einer „Roh-Deckenausbildung“ mit unterschiedlichen Hohlraumausführungen und Trockenestrich.....	83
Abbildung 59: Rohdeckenausführungen in Holzbauweise, die für die Validierungs- und Wechselwirkungsmessungen eingesetzt wurden	85
Abbildung 60: Norm-Trittschallpegel L_n der Rohdecken in Abhängigkeit von der Frequenz.....	87

Abbildung 61: Grundsätzliche Versuchsaufbauten der Estrich-Systemvarianten (in den Beispielen jeweils auf einer CLT-Rohdecke)	88
Abbildung 62: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert-Wanne“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke	89
Abbildung 63: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke	91
Abbildung 64: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Linienlagerung“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke	93
Abbildung 65: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Holz-Beton-Verbundrohdecke	95
Abbildung 66: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ auf Holzbalken-Rohdecke	97
Abbildung 67: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ auf Holzbalken-Rohdecke	98
Abbildung 68: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Linienlagerung“ auf Holzbalken-Rohdecke	100
Abbildung 69: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaser-Trittschalldämmplatten).....	102
Abbildung 70: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten). 104	
Abbildung 71: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert – Wanne“ auf Brettspertholz-Rohdecke	106
Abbildung 72: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ auf Brettspertholz-Rohdecke	108
Abbildung 73: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Linienlagerung“ auf Brettspertholz-Rohdecke	109
Abbildung 74: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Brettspertholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaserdämmplatten).....	112
Abbildung 75: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ auf Brettspertholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten)	114
Abbildung 76: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Wanne“, „schwere“ Schüttung (600 kg/m ³)	115
Abbildung 77: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Wanne“, „leichte“ Schüttung (85 kg/m ³)	115
Abbildung 78: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Doppelboden“, „20 mm TDPT, ohne Schüttung“	116
Abbildung 79: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Punktgelagert - Doppelboden“, „20 mm TDPT, mit Schüttung“	116
Abbildung 80: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Liniengelagert“, „85 mm Schüttung“ ..	117

Abbildung 81: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Liniengelagert“, „60 - 70 mm Schüttung“	117
Abbildung 82: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Flächig gelagert“, „Weberfloor“	118
Abbildung 83: Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz der HBV-, HBRD- und CLT-Rohdecke sowie in Kombination mit der Estrichvariante „Flächig gelagert“, „Trockenestrichvariante“	118
Abbildung 84: Detailbetrachtung – Bauprozesse im Systemkatalog im März bis April 2021, hier: System 1 – Workshop 1 am 01.03.2021.....	124
Abbildung 85: Aufteilung in Systeme Interessen Mitwirkung einzelner Unternehmenspartner im November 2021, hier: System 1 – online-Workshop 1 am 08.11.2021	126
Abbildung 86: Matrix der Systemlösungen – Ergebnisse der Workshops mit Unternehmenspartnern des 2. Forschungsjahres – präsentiert im Rahmen des 5. Konsortialtreffens am 01.03.2023....	128
Abbildung 87: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit linienförmiger Lagerung	129
Abbildung 88: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit punktförmiger Lagerung.....	130
Abbildung 89: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit flächiger Lagerung	130
Abbildung 90: Ergebnis des Tauglichkeitsrankings für die Systeme mit aufgeständerter Lagerung ..	130
Abbildung 91: Gesamtergebnis des Tauglichkeitsrankings aller Systeme	131

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der unterschiedlichen Estrichvariationen und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden	19
Tabelle 2: Übersicht der unterschiedlichen Variationen der Lagerung (Trittschalldämmung) des Estrichs und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden	20
Tabelle 3: Übersicht der Schüttungsmaterialien und -dicken und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden.	21
Tabelle 4: Übersicht der Materialien und -dicken als zusätzliche Entkopplungsebene unterhalb der Schüttung und deren Abkürzungen, die in den Legenden der Diagramme verwendet werden. ...	23
Tabelle 5: Übersicht der Parameter, deren Variationen zur Messung des Norm-Trittschallpegels bei verschiedenen Fußbodenkonstruktionen auf der Brettstapeldecke untersucht wurden. Die Tabelle stellt in den Spalten die unterschiedlichen Ausprägungen der einzelnen Parameter dar, wobei jede Zeile keine spezifische Variante darstellt, sondern die Variationen der jeweiligen Parameter abbildet.	25
Tabelle 6: Übersicht über die Parameter und dessen Variation im Rahmen der Messungen der Norm-Trittschallpegel des Fußbodensystems „Punkt“.....	50
Tabelle 7: Übersicht über die Parameter und deren Variation im Rahmen der Messungen der Norm-Trittschallpegel des Fußbodensystems „Linie“	59
Tabelle 8: Einzahlangaben „Roh-Deckenausbildung – Hohlraum Mineralwolle“ zwischen zwei übereinanderliegenden Raum-Modulen	77
Tabelle 9: Einzahlangaben „Roh-Deckenausbildung“ zwischen zwei übereinanderliegenden Raum-Modulen, Auflager mit Elastomer-Dämmzwischenlage	79
Tabelle 10: Einzahlangaben der Trittschalldämmeigenschaften der „Roh-Deckenausbildung“ zwischen zwei übereinanderliegenden Raum-Modulen mit Estrichausführungen (Situation (1), (2) und (3) mit 12,5 mm Sylodyn NB Dämmzwischenlage zwischen den Flankierenden).....	82
Tabelle 11: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft von Deckensystemen mit Trockenestrich in Modulbauweise	84
Tabelle 12: Einzahlangaben der bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ - der Rohdecken	86
Tabelle 13: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ in Kombination mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke	89
Tabelle 14: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in Kombination mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke	91
Tabelle 15: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Kombination mit der Holzbeton-Verbundrohdecke	92
Tabelle 16: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Holz-Beton-Verbundrohdecke	95
Tabelle 17: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Wanne“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke	96
Tabelle 18: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke	98
Tabelle 19: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Liniengelagert“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke	99
Tabelle 20: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaserdämmplatten).....	102

Tabelle 21: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten).....	104
Tabelle 22: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert – Wanne“ in Kombination mit der Brettspertholz-Rohdecke	105
Tabelle 23: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Punktgelagert - Doppelboden“ in Kombination mit der Brettspertholz-Rohdecke	107
Tabelle 24: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Linienlagerung“ in Kombination mit der Brettspertholz-Rohdecke	109
Tabelle 25: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Brettspertholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Holzfaser-Trittschalldämmplatten).....	111
Tabelle 26: Einzahlangaben zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Estrichvarianten „Flächig gelagert“ in Kombination mit der Brettspertholz-Rohdecke (Trockenestrich mit Mineralwolle-Trittschalldämmplatten).....	113
Tabelle 27: Klassifizierung des Trittschallschutzes gemäß ÖNORM B 8115-5, Tabelle 3	119
Tabelle 28: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft der Trockenestrichsysteme in Kombination mit der untersuchten Holz-Beton-Verbundrohdecke.....	120
Tabelle 29: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft der Trockenestrichsysteme in Kombination mit der Holzbalken-Rohdecke	121
Tabelle 30: Einordnung in das Schallschutzklassensystem gem. ÖNORM B 8115-5 der Trittschalldämmeigenschaft der Trockenestrichsysteme in Kombination mit der 180 mm dicken Brettspertholz-Rohdecke (CLT)	122