

Lutz Weber, Bernd Kaltbeitzel

# **Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzdecken durch optimierte Deckenauflagen**

F 3026

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

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-7388-0005-0

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

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

**Institutsleitung**

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

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

IBP-Bericht B-BA 3/2016

## Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzdecken durch optimierte Deckenauflagen

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

(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-14.12 / IBP - 412376)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Der Bericht umfasst

95 Seiten Text

9 Tabellen

52 Abbildungen

20 Seiten Anhang

Dr. Lutz Weber

M.Sc. Bernd Kaltbeitzel

Stuttgart, 28. März 2017

Institutsleiter

Abteilungsleiter

Bearbeiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Philip LeistnerDr.  
Peter BrandstätDr.  
Lutz Weber

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Vorgehensweise</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Literatur- und Produktrecherche</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>11</b>
4.1	Trittschalldämmung und Trittschallminderung	11
4.2	Einzahlangaben	13
4.2.1	Bewerteter Norm-Trittschallpegel	13
4.2.2	Bewertete Trittschallminderung	14
4.2.3	Spektrum-Anpassungswerte	15
4.3	Trittschallquellen	17
4.3.1	Norm-Hammerwerk	17
4.3.2	Modifiziertes Hammerwerk	18
4.3.3	Japanischer Gummiball	19
4.4	Schwimmende Estriche	21
4.5	Resonanzfrequenz	23
4.6	Dynamische Steifigkeit	26
4.7	Verlustfaktor	28
<b>5</b>	<b>Versuchsaufbau und Messdurchführung</b>	<b>30</b>
5.1	Untersuchungen an schwimmenden Estrichen	31
5.1.1	Messaufbau	31
5.1.2	Untersuchte Konstruktionen	34
5.1.3	Voruntersuchungen	36
5.2	Untersuchungen an gebundenen Schüttungen	42
5.2.1	Messaufbau	42
5.2.2	Untersuchte Konstruktionen	47
5.2.3	Voruntersuchungen	50
<b>6</b>	<b>Messergebnisse an schwimmenden Estrichen</b>	<b>53</b>
6.1	Teilflächige elastische Lagerung	54
6.1.1	Variation der Lagerfläche: gleicher Dämmstoff	55
6.1.2	Variation der Lagerfläche: verschiedene Dämmstoffe	62
6.1.3	Einfluss des Verlegemusters	64
6.2	Bedämpfung der Estrichplatte	65

6.3	Wirkung auf unterschiedlichen Decken	69
<b>7</b>	<b>Messergebnisse an gebundenen Schüttungen</b>	<b>72</b>
7.1	Systematik und Vorgehensweise	73
7.2	Beschreibung der Versuchsaufbauten	74
7.3	Messergebnisse	79
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>Anwendung der Forschungsergebnisse</b>	<b>90</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b>	<b>91</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung</b>	<b>95</b>
<b>A.1</b>	<b>Anregung mit modifiziertem Hammerwerk</b>	<b>96</b>
<b>A.2</b>	<b>Anregung mit japanischem Gummiball</b>	<b>97</b>
<b>A.3</b>	<b>Weitere Holzbalkendecken</b>	<b>98</b>
A.3.1	Aufbau der Decke Nr. 2	98
A.3.2	Aufbau der Decke Nr. 3	99
A.3.3	Trittschalldämmung der Decken Nr. 2 und 3	100
<b>A.4</b>	<b>Weitere Ergebnisse für gebundene Schüttungen</b>	<b>101</b>
A.4.1	Zementestrich auf EP 3, ohne Schüttung	101
A.4.2	Zementestrich auf EP 1, ohne Schüttung	102
A.4.3	OSB-Platte auf EP 3, ohne Schüttung	103
A.4.4	Zementestrich auf EP 3 mit Laminat (Frequenzverlauf)	104
A.4.5	Zementestrich auf EP 3 mit Laminat (Einzahlangaben)	105
A.4.6	Zementestrich auf EP 3 mit Teppich (Frequenzverlauf)	106
A.4.7	Zementestrich auf EP 3 mit Teppich (Einzahlangaben)	107
A.4.8	Zementestrich auf EP 1 mit Laminat (Frequenzverlauf)	108
A.4.9	Zementestrich auf EP 1 mit Laminat (Einzahlangaben)	109
A.4.10	Zementestrich auf EP 1 mit Teppich (Frequenzverlauf)	110
A.4.11	Zementestrich auf EP 1 mit Teppich (Einzahlangaben)	111
A.4.12	OSB-Platte auf EP 3 mit Laminat (Frequenzverlauf)	112
A.4.13	OSB-Platte auf EP 3 mit Laminat (Einzahlangaben)	113
A.4.14	OSB-Platte auf EP 3 mit Teppich (Frequenzverlauf)	114
A.4.15	OSB-Platte auf EP 3 mit Teppich (Einzahlangaben)	115

# 1 Einleitung

Gebäude in Holzbauweise finden wegen ihrer zahlreichen Vorzüge (kurze Bauzeit, niedrige Kosten, nachhaltige Bauweise, etc.) in Deutschland zunehmend Verbreitung. Neben Einfamilienhäusern, für die keine gesetzlichen Schallschutzanforderungen bestehen, gilt dies auch für mehrgeschossige Bauten, die bauaufsichtlichen Mindestanforderungen an den baulichen Schallschutz unterliegen. Leider sind bei Bauten in Holz- und Leichtbauweise häufig Defizite bei der Trittschalldämmung der Decken zu verzeichnen.

Da die Trittschalldämmung bei der Bewertung der Wohnqualität eine wichtige Rolle spielt, bestehen in dieser Hinsicht gegenüber dem Massivbau erhebliche Nachteile. Unabhängig von der Bauweise gelten für Gebäude in Holz- und Massivbauweise die gleichen Mindestanforderungen an den Luft- und Trittschallschutz [1]. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass es beim Holzbau technisch häufig erheblich schwieriger und aufwändiger ist, die geltenden Schallschutzanforderungen einzuhalten. Doch selbst wenn die Anforderungen erfüllt sind, sind im Holzbau zumeist deutlich mehr Beschwerden über einen unzureichenden Trittschallschutz zu verzeichnen, als dies im Massivbau der Fall ist [2 - 4]. Dies gilt nicht nur für den mehrgeschossigen Wohnungsbau, sondern auch für Einfamilienhäuser, bei denen zwar keine normativen Anforderungen zu erfüllen sind, die Ansprüche der Bewohner an einen wirkungsvollen Schallschutz aber zunehmend ansteigen.

Als Reaktion auf die angesprochenen schalltechnischen Probleme bei Holzdecken wurden von den Herstellern in den vergangenen Jahren Deckenkonstruktionen mit erhöhter Trittschalldämmung entwickelt. Diese Konstruktionen sind inzwischen weit verbreitet und werden neben den skandinavischen Ländern, in denen der Holzbau traditionell hohe Beliebtheit genießt, auch in anderen europäischen Staaten, wie z. B. Deutschland, Österreich und der Schweiz eingesetzt. Da die Problematik des Brandschutzes inzwischen weitgehend gelöst ist, werden die Decken in verstärktem Maße auch in mehrgeschossigen Bauten eingesetzt, wobei analog zu klassischen Einfamilienhäusern sowohl der Fertighausbau als auch die objektbezogene handwerkliche Bauweise vertreten ist.

Eine Gemeinsamkeit fast aller Holzdecken mit erhöhter Trittschalldämmung - gleichgültig ob es sich um Holzbalkendecken, Brettstapeldecken oder andere Konstruktionen handelt - besteht darin, dass die akustische Verbesserung vor allem durch Beschweren der Decke (z. B. durch das Einbringen von Schüttungen oder den Einbau von schwimmenden Estrichen in mineralischer Bauweise) erreicht wird. Da dieses Konstruktionsprinzip seit langem bekannt ist, ist es vielfach auch im Altbau (z. B. in Form von Holzbalkendecken mit Schlackefüllung zwischen den Balken) anzutreffen. Ein schwerwiegender Nachteil dieser Bauweise besteht jedoch darin, dass die grundlegenden Vorzüge des Holzbaus, wie z. B. geringes Gewicht, hoher Grad der Vorfertigung und Einsatz sortenreiner, nachwachsender Baustoffe, in erheblichem Maße beeinträchtigt werden. Es besteht daher Bedarf an akustisch optimierten Konstruktionen, die es erlauben, die erforderliche Beschwerung mit weniger zusätzlicher Masse als bislang üblich auszuführen.

Die angestrebten technischen Lösungen für Holzdecken, die eine Verminderung der Masse ohne Einbußen beim Schallschutz ermöglichen, finden ihre Anwendung vor allem bei Neubauten. Im Bereich des Altbaus sind die Probleme hingegen zumeist anders gelagert. Für die Altbausanierung werden vor allem verbesserte Deckenauflagen mit geringer Bauhöhe benötigt, da hier einerseits häufig erhebliche Defizite beim Trittschallschutz zu verzeichnen sind und andererseits nur wenig zusätzliche Bauhöhe für trittschallmindernde Auflagen zur Verfügung steht. Derartige Auflagen ermöglichen es, mit vergleichsweise geringem Aufwand - ohne die Decke zu öffnen oder eine abgehängte Unterdecken zu montieren - den Trittschallschutz merklich zu verbessern. Für die praktische Anwendung sind sie deshalb von besonderer Bedeutung.

Da es erforderlich war, thematische Schwerpunkte für das durchgeführte Forschungsvorhaben zu setzen, konzentrierten sich die Untersuchungen im Hinblick auf die oben beschriebene Problematik vor allem auf folgende Bereiche:

- Zum einen sollte untersucht werden, wie sich Schüttungen akustisch so optimieren lassen, dass möglichst viel Schüttgut (zumeist wird Splitt verwendet) eingespart werden kann. Dies erfolgte zum Beispiel durch geeignete Wahl des zur mechanischen Fixierung der Schüttung erforderlichen Bindemittels. Außerdem wurden aber auch noch weitere Maßnahmen, wie z. B. vertikale Trennfugen zur Unterteilung des gebundenen Schüttgutes in einzelne Elemente sowie die elastische Bettung der Schüttung, erprobt.
- Zum anderen sollten verbesserte Deckenauflagen für den Bereich der Altbausanierung entwickelt werden, die bei gleicher Bauhöhe eine höhere Trittschallminderung als herkömmliche Trockenestriche erreichen. Hierfür wurden zunächst teilflächige elastische Auflagen (Estrich nur teilweise mit Trittschall-Dämmplatten unterlegt) betrachtet. Die bislang vorliegenden Erkenntnisse ließen für derartige Auflagen im Vergleich zu vollflächigen Aufbauten merkliche akustische Verbesserungen erwarten [5, 6]. Des Weiteren wurden Estrichplatten mit integrierter Dämpfungsschicht untersucht, bei denen infolge des erhöhten Verlustfaktors eine teilweise Dissipation der eingeleiteten Körperschall-Energie erfolgt, was gleichfalls eine Verbesserung der Trittschalldämmung bewirkt.

## 2 Vorgehensweise

Die akustischen Entwicklungs- und Optimierungsschritte erfolgten auf experimenteller Grundlage mit rechnerischer Unterstützung. Da die Verwendung numerischer FEM-Modelle im vorliegenden Fall zu aufwändig gewesen wäre und die Ergebnisse keine ausreichende Aussagekraft aufwiesen, wurde bei den Berechnungen auf vereinfachte analytische Methoden zurückgegriffen. Die Ausgangsbasis für die experimentellen Untersuchungen bildeten mehrere im Vorfeld ausgewählte Ausgangskonstruktionen, deren akustische Eigenschaften durch Messungen bestimmt und anschließend durch systematische Variation der Konstruktionsparameter schrittweise verbessert wurden. Um den erforderlichen experimentellen Aufwand zu begrenzen, wurden die hierzu erforderlichen Trittschallmessungen an teilflächigen Versuchsaufbauten vorgenommen, die

ausgehend von praxisüblichen, repräsentativen Holzbalkendecken für das Forschungsvorhaben hergestellt wurden.

Da in dem Forschungsvorgaben unterschiedliche Bestandteile von Holzbalkendecken betrachtet wurden, waren zwei verschiedene Versuchsaufbauten erforderlich:

- Die Untersuchungen zur akustischen Optimierung von Deckenauflagen erfolgten in einem genormten bauakustischen Deckenprüfstand nach DIN EN ISO 10140-5 [7]. In diesem Prüfstand mit einer Einbaufläche von  $L \times B = 5,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m}$  befand sich eine bauübliche Holzbalkendecke, deren Konstruktion der leichten Bezugsdecke C1 zur Messung der Trittschallminderung von Deckenauflagen nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C entsprach. Die untersuchten Auflagen wurden auf die Decke aufgelegt, wobei statt einer normgerechten vollflächigen Verlegung zur Verminderung des Herstellungsaufwandes jedoch teilflächige Aufbauten mit einer Fläche von  $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$  verwendet wurden. Hierzu durchgeführte Vorversuche belegen, dass zwischen einer vollflächigen und der hier verwendeten teilflächigen Verlegung hinsichtlich der Messergebnisse nur vergleichsweise geringe Unterschiede bestehen. Da alle Messungen mit der gleichen Versuchsfläche durchgeführt wurden und für die Untersuchungen hauptsächlich die Unterschiede zwischen den verschiedenen Aufbauten von Interesse sind, heben sich die durch die teilflächige Verlegung hervorgerufenen Abweichungen der Messwerte bei der Auswertung überdies weitgehend gegenseitig auf.
- Die akustischen Untersuchungen an Schüttungen konnten gleichfalls nicht an einem vollflächigen Deckenaufbau durchgeführt werden, da der Ein- und Ausbau der erforderlichen großen Mengen an Schüttgut im Hinblick auf die beträchtliche Anzahl der im Rahmen des Forschungsvorhabens vorgesehenen Versuchsvarianten nicht praktikabel gewesen wäre. Daher wurde mit Unterstützung der beteiligten Industriepartner eine Messkammer aufgebaut, deren Oberseite aus einem Ausschnitt aus einer praxisüblichen Holzbalkendecke bestand, wie sie z. B. im Fertighausbau zum Einsatz kommt. Die Maße des untersuchten Deckenausschnitts betrugen  $L \times B = 1,50 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$ . Der Ausschnitt lag auf vier Wänden auf, die aus mit Gipskartonplatten beplankten Holzständern bestanden und eine Kammer mit einem Volumen von ca.  $1,1 \text{ m}^3$  umschlossen. Indem der Deckenausschnitt von oben mit einer Trittschallquelle angeregt und der resultierende Schallpegel im Inneren der Kammer gemessen wurde, konnte analog zum genormten Messverfahren nach DIN EN ISO 10140-3 [8] die Trittschalldämmung der Decke bestimmt werden. Wegen der geringen Größe des Versuchsaufbaus waren zwar keine zuverlässigen Messungen bei tiefen Frequenzen möglich, ansonsten war jedoch im Vergleich zu einer gleichartigen Decke mit normalen Abmessungen eine recht gute Übereinstimmung der Messwerte festzustellen.

Die Trittschallanregung erfolgte bei beiden Aufbauten mit einem Norm-Hammerwerk nach DIN EN ISO 10140-5. Um eine verbesserte Übereinstimmung der Messwerte mit dem subjektiven menschlichen Höreindruck zu erhalten, wurden bei einigen Messungen zusätzlich ein modifiziertes Hammerwerk sowie eine schwere / weiche Trittschallquelle (auch als "japanischer Gummiball" bekannt) nach DIN EN ISO 10140-5, An-

hang F eingesetzt. Die genannten Trittschallquellen und die beiden oben erwähnten Versuchsaufbauten werden später noch genauer beschrieben.

Nach der Entwicklung akustisch optimierter Deckenauflagen wurden exemplarisch Messungen zur Bestimmung der Trittschallminderung der untersuchten Auflagen in Verbindung mit unterschiedlichen Holzbalken-Rohdecken durchgeführt. Dabei wurde auch das Zusammenwirken der Auflagen mit herkömmlichen Schallschutzmaßnahmen, wie schwimmenden Estrichen und abgehängten Unterdecken, erprobt. Dies erfolgte unter praxisnahen Bedingungen in einem bauakustischen Prüfstand, in dem jedoch - wie in allen normgerechten bauakustischen Deckenprüfständen der Fall - die Schallübertragung über die flankierenden Wände unterbrochen war. Da die Trittschallminderung am Bau wegen der dort vorhandenen Flankenwege vielfach geringer als im Prüfstand ausfällt, wurde abschließend außerdem eine Abschätzung der akustischen Wirkung der untersuchten Deckenkonstruktionen unter realen baulichen Verhältnissen durchgeführt.

### 3 Literatur- und Produktrecherche

Obgleich zu den in dem Forschungsvorhaben untersuchten Themenschwerpunkten bislang nur wenige Erkenntnisse vorliegen, ist eine Literaturrecherche zur Trittschalldämmung von Holzdecken dennoch sinnvoll, da die vorhandenen Veröffentlichungen teilweise Informationen enthalten, die auch für die durchgeführten Untersuchungen wertvoll sind. Daher wurden zahlreiche Veröffentlichungen mit Bezug zu dem bearbeiteten Forschungsthema zusammengetragen und gesichtet. Die Recherche erfolgte größtenteils im Internet, jedoch auch unter Verwendung der in der Institutsbibliothek des IBP vorhandenen Publikationen sowie - im Hinblick auf Fragestellungen aus der baulichen Praxis - durch Informationsaustausch mit Industriepartnern. Dabei wurden folgende Themen betrachtet:

- Bei der Entwicklung von Maßnahmen zur Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzdecken bieten vorhandene Veröffentlichungen zum Thema eine nützliche Orientierung. In der Literatur sind unterschiedliche Vorschläge für Verbesserungsmaßnahmen zu finden [9 - 15]. Die meisten Vorschläge sind jedoch nicht ausreichend erprobt, zu aufwändig oder nicht ausreichend praxistauglich, so dass nur wenige Konstruktionen Eingang in die Praxis gefunden haben.
- Trockenestriche - insbesondere solche mit geringer Bauhöhe - sind für das Forschungsvorhaben von besonderem Interesse. Die vorhandenen Veröffentlichungen beschäftigen sich sowohl mit Konstruktion und Montage als auch mit der resultierenden Trittschallminderung [16 - 20]. Obgleich die Trittschallminderung auf Holzbalkendecken konstruktionsbedingt erheblich niedriger als auf Massivdecken ausfällt, kann sie dennoch einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Trittschallschutzes im Holzbau leisten.
- Die schalltechnische Wirkung von Trockenestrichen auf Holzbalkendecken hängt unter anderem auch vom Aufbau der Rohdecke ab [21 - 24]. Allerdings ist der Einfluss des Deckenaufbaus im allgemeinen deutlich geringer als bei mineralischen

Estrichen, die gegenüber Trockenestrichen zumeist eine deutlich höhere Masse aufweisen.

- Zwischen der Anregung von Decken durch das Norm-Hammerwerk und durch gehende Personen bestehen große Unterschiede, die unter anderem mit der Wechselwirkung zwischen Quelle und angeregter Struktur zusammenhängen [25 - 29]. Dies ist sowohl für die Bewertung des Trittschallschutzes in der Praxis als auch für die rechnerische Modellierung von Trittschallanregung und -übertragung bedeutsam. Die beste Übereinstimmung zwischen Norm-Trittschallpegel und menschlicher Geräuschwahrnehmung unter Verwendung von Einzahlangaben ergibt sich den vorliegenden Untersuchungen zufolge durch Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswertes  $C_{1,50-2500}$ .
- Der erforderliche technische Aufwand für Schallschutzmaßnahmen hängt vom angestrebten Schutzziel ab, das sich in den meisten Fällen aus den gesetzlich geltenden Schallschutzanforderungen ergibt. Die in Deutschland geltenden Anforderungen bewegen sich hierbei im internationalen Vergleich im Mittelfeld, wobei jedoch im Gegensatz zu einigen anderen Staaten Spektrum-Anpassungswerte nicht berücksichtigt werden [30 - 31]. Dies hat sich auch mit dem Erscheinen der neuen DIN 4109 im Juni 2016 nicht geändert.

Im Vergleich zu den oben aufgeführten Punkten, die die untersuchte Problematik in eher allgemeiner Form betreffen, wurde in den Kernbereichen des Forschungsvorhabens genauer und mit größerer Tiefe recherchiert. Leider sind zu den betreffenden Themen in Literatur und Herstellerunterlagen nur wenige Informationen zu finden. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den hierzu durchgeführten Recherchen sind:

- Teilflächige elastische Lagerungen (meist in punkt- oder streifenförmiger Ausführung) sind im Bereich der Schwingungsisolation von Bauten und Anlagen schon lange gebräuchlich [32, 33]. Bei Holzbalkendecken werden sie bislang nur in Ausnahmefällen als trennendes Element zwischen Balken und Deckenaufgabe verwendet [6, 34 - 36]. Über ihren Einsatz in Verbindung mit Trockenestrichen und ihre Wirksamkeit im Vergleich zu vollflächigen elastischen Unterlagen ist hingegen kaum etwas bekannt. Die wenigen Untersuchungsergebnisse, die es zu diesem Thema gibt, stammen größtenteils aus dem IBP und wurden unter stark vereinfachten Bedingungen (verkleinerter Versuchsaufbau ohne Berücksichtigung der Luftschallübertragung) durchgeführt [5]. Die vorliegenden Messdaten lassen zwar akustische Verbesserungen vermuten, müssen aber noch genauer überprüft und verifiziert werden.
- Dämpfungsbeläge, die auf schwingende Platten aufklebt werden, um diesen durch Dissipation Schwingungsenergie zu entziehen, werden im Maschinen- und Fahrzeugbau in breitem Umfang - vor allem zur Bedämpfung schwingender Bleche - eingesetzt. Ihre akustische Wirkung ist gut bekannt und lässt sich hinreichend genau vorherberechnen [37, 38]. Zur Anwendung von Dämpfungsbelägen im Bereich von Holzbalkendecken und Trockenestrichen gibt es dagegen bislang nur Voruntersuchungen [5], die zwar deutliche Verbesserungen der Trittschalldämmung erwarten lassen, aber - analog zur Wirkung teilflächiger elastischer Lagerungen bei Trockenestrichen - noch genauerer messtechnischer Untersuchungen bedürfen.

- Dass Schüttungen aufgrund ihrer Masse einen maßgeblichen Beitrag zur Trittschalldämmung von Holzbalkendecken leisten und die Einhaltung der geltenden Schallschutzanforderungen in vielen Fällen überhaupt erst ermöglichen, ist seit langem bekannt und spiegelt sich in den vorhandenen Bauteilkatalogen und Konstruktionshinweisen wieder [11]. Dies gilt unabhängig davon, ob die Schüttungen zur Beschwerung der Decke oder als Ausgleichsschüttung eingesetzt werden. In der Fachwelt besteht hierzu die Ansicht, dass lose aufliegendes Schüttgut bei gleicher Masse gegenüber einer starr gebundenen Schüttung eine deutlich höhere akustische Wirkung aufweist [39 - 44]. Dies erscheint zwar folgerichtig, da sich in losem Material im Gegensatz zu einer starren Platte keine Eigenschwingungen ausbilden können, zuverlässige Ergebnisse hierzu gibt es aber bislang nicht. Dies liegt auch daran, dass lose Schüttungen am Bau aus technischen Gründen nicht zulässig sind, da ohne Bindemittel ein nachträgliches Wandern des Schüttgutes zu befürchten wäre [45]. Weil lose Schüttungen am Bau nicht erlaubt sind, bei starr gebundener Schüttung jedoch akustische Nachteile zu befürchten sind, werden in der Praxis aus Schallschutzgründen häufig elastische Bindemittel eingesetzt, die das Schüttgut zwar fixieren, aber keinen starren Verbund zwischen den einzelnen Körnern bewirken. Vorreiter und Marktführer auf diesem Gebiet ist das Ingenieurbüro Köhnke GmbH, das ein elastisches Bindemittel mit der Bezeichnung K101 / K102 auf Basis einer wässrigen Dispersion aus carboxyliertem Butadien-Styrol-Copolymer (synthetischer Kautschuk) vertreibt [46 - 48]. Mittlerweile sind ähnliche Produkte auch von anderen Herstellern erhältlich, wobei über die akustische Wirkung der verschiedenen Bindemittel im Vergleich untereinander und zu losen Schüttungen jedoch noch weitgehend Unklarheit herrscht.

Neben Informationen über die akustischen Eigenschaften der untersuchten Konstruktionen wurde selbstverständlich außerdem auch nach geeigneten Materialien und Produkten zur Herstellung der Versuchsaufbauten recherchiert. Da die eingesetzten Werkstoffe später noch genauer beschrieben werden, ist im folgenden nur eine kurze Produktübersicht ohne nähere Angaben zu Beschaffenheit und Eigenschaften der Materialien dargestellt:

- Trittschalldämmstoffe zur elastischen Verlegung schwimmender Estriche sind auf dem Markt in großer Vielfalt erhältlich. Den größten Marktanteil weisen Platten aus geschäumtem Polystyrol sowie Mineral- oder Steinwolle auf. Daneben gibt es auch alternative Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sowie Elastomere auf der Basis von Polyurethanschaum. Letztere werden wegen ihres höheren Preises vorzugsweise im Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt, können aber wegen ihrer speziellen Eigenschaften (z. B. große Belastbarkeit und hohe innere Dämpfung) auch für die akustische Optimierung von Holzdecken von Interesse sein. Die akustische Wirkung von Trittschall-Dämmplatten hängt in erster Linie von ihrer dynamischen Steifigkeit ab. Sie liegt üblicherweise etwa im Bereich von 5 - 50 MN/m<sup>3</sup> und wird von der Plattendicke und dem Elastizitätsmodul des Werkstoffs bestimmt.
- Dämpfungsbeläge sind von verschiedenen Herstellern verfügbar. Sie werden vor allem im Fahrzeug- und Maschinenbau eingesetzt und zumeist auf der Basis von Bitumen hergestellt, wobei teilweise jedoch auch andere Materialien, wie z. B. Acrylate und Ethylen-Vinylacetat-Copolymere zum Einsatz kommen. Die Beläge beste-

hen aus biegsamen Platten mit einer Dicke von etwa 1,5 - 5,0 mm und einer flächenbezogenen Masse von ca. 3 - 10 kg/m<sup>2</sup>. Sie werden auf die schwingende Struktur (zumeist Platten oder Bleche) aufgeklebt und folgen deren Bewegungen, wobei durch die resultierende Verformung infolge innerer Reibung Körperschall- in Wärmeenergie umgewandelt wird. Für die akustische Wirksamkeit ist daher insbesondere der Verlustfaktor des Dämpfungsmaterials von Bedeutung. Daneben spielen jedoch auch die Steifigkeit, Dicke und Masse des Belags im Verhältnis zu den entsprechenden Eigenschaften der schwingenden Platte eine wichtige Rolle. Eine wirksame Körperschalldämpfung wird nur dann erreicht, wenn diese Eigenschaften geeignet aufeinander abgestimmt sind. Des Weiteren ist eine feste Verbindung zwischen Belag und Platte erforderlich, weshalb die meisten Dämpfungsbeläge über eine einseitige Klebeschicht mit hoher Haftwirkung verfügen. Da im IBP bereits früher Untersuchungen zur Wirkung von Dämpfungsbelägen durchgeführt wurden [49], sind die erforderlichen Informationen zur Auswahl geeigneter Produkte vorhanden.

- Für den Einsatz von Schüttungen zur Beschwerung von Holzbalkendecken gibt es verschiedene Gründe. Da die Schüttungen in der Regel aus Splitt bestehen, ist neben den niedrigen Kosten vor allem die einfache Verarbeitung von Vorteil (der Splitt kann direkt vom Lkw mit einer Estrichpumpe auf die Decke befördert und dort auf einfache Weise nivelliert werden). Auch das Einbetten von Rohren gestaltet sich in Splitt erheblich einfacher, als dies z. B. bei der früher gebräuchlichen Beschwerung mit Betonplatten der Fall war. Splitt wird in Steinbrüchen oder Kieswerken durch das Zerkleinern und Mahlen von Gestein hergestellt und kann aus unterschiedlichen Materialien, wie z. B. Basalt, Granit, Kalkstein, Grauwacke oder Kies bestehen. Auch die Herstellung aus sortiertem Bauschutt ist möglich. Die Korngröße kann etwa 2 - 30 mm betragen, wobei für Schüttungen bei Holzbalkendecken üblicherweise eine Körnung von 5 - 8 mm verwendet wird. Die Dichte des Schüttgutes hängt von Material und Korngröße ab und liegt normalerweise etwa bei 1300 - 1700 kg/m<sup>3</sup>. Eine Schüttung mit einer flächenbezogenen Masse von 100 kg/m<sup>2</sup> erfordert demnach eine Schichtdicke des Schüttgutes von etwa 6 - 8 cm.
- Es wurde schon erwähnt, dass Schüttungen aus technischen Gründen mit einem geeigneten Bindemittel verfestigt werden müssen. Es sind sowohl Bindemittel erhältlich, die das Schüttgut zu einer starren Platte verhärten, als auch solche, die lediglich eine elastische Bindung zwischen den einzelnen Körnern bewirken. Bei ersteren erfolgt die Verbindung der Körner in der Regel durch Zement, bei letzteren mittels elastischer Kunststoffe, wie z. B. synthetischem Kautschuk. Da punktförmige Kontakte zwischen den einzelnen Körnern zur Verfestigung der Schüttung ausreichen, ist im Verhältnis zum Schüttgut in der Regel nur ein relativ geringer Anteil an Bindemittel erforderlich (Gewichtsanteil ca. 2 % bei elastischer bis maximal ca. 10 % bei starrer Verbindung der Körner). Das Einbringen des Bindemittels kann entweder extern in einem Mischer erfolgen (in diesem Fall wird die fertig gemischte Masse aus dem Mischgerät auf die Decke gepumpt), es besteht jedoch auch die Möglichkeit, das Schüttgut in trockenem Zustand auf die Decke aufzubringen und das flüssige Bindemittel erst nachträglich (z. B. mit einer Spritzpistole) zuzugeben. Die Trocknungszeit des Bindemittels hängt von verschiedenen Faktoren, wie z. B.

Ausgangsfeuchte des Splitts, Schichtdicke, Temperatur und Luftbewegung ab, dauert aber in der Regel nur verhältnismäßig kurze Zeit, so dass die Bauarbeiten ohne längere Unterbrechungen fortgeführt werden können.

## 4 Grundlagen

Im nachfolgenden Abschnitt sollen in kurzer Form die wichtigsten Grundlagen zum Verständnis der durchgeführten Untersuchungen und der ermittelten Ergebnisse dargestellt werden. Die Ausführungen umfassen ausschließlich den Bereich der Bauakustik und beschränken sich auf die Themen, die von zentraler Bedeutung für das Forschungsvorhaben sind.

### 4.1 Trittschalldämmung und Trittschallminderung

Grundlegende Messgröße für die Trittschalldämmung von Deckenkonstruktionen ist der Norm-Trittschallpegel  $L_n$ . Die Bestimmung des Norm-Trittschallpegels erfolgt gemäß DIN EN ISO 140-3 (bei Messungen im Prüfstand) bzw. DIN EN ISO 16283-2 (bei Messungen am Bau) [8, 50]. Bis auf kleinere Unterschiede ist die Vorgehensweise in beiden Fällen gleich: Die Oberseite der Decke wird mit einem Norm-Hammerwerk nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang E angeregt und der resultierende Schallpegel  $L_i$  im Empfangsraum (gemittelt über mehrere verschiedene Positionen des Hammerwerks) unter der Decke gemessen. Zur Bestimmung des Norm-Trittschallpegels wird zu  $L_i$  eine Korrektur zur Berücksichtigung der Nachhallzeit im Empfangsraum addiert:

$$L_n = L_i + 10 \lg \left( \frac{A}{A_0} \right) \text{ dB} = L_i + 10 \lg \left( \frac{0,016 V}{T} \right) \text{ dB}, \quad (1)$$

mit  $A = 0,16 V / T =$  äquivalente Schallabsorptionsfläche in  $\text{m}^2$ ,  
 $A_0 = 10 \text{ m}^2$  (Bezugs-Absorptionsfläche),  
 $V =$  Volumen des Empfangsraums in  $\text{m}^3$ ,  
 $T =$  Nachhallzeit im Empfangsraum in s.

Die Messung ist so vorzunehmen, dass ausschließlich der von der Decke in den Empfangsraum abgestrahlte Trittschall erfasst wird. Da bei der Anregung der Decke durch das Norm-Hammerwerk jedoch im Senderaum ein hoher Luftschallpegel entsteht, der teilweise auch in den Empfangsraum übertragen wird, ist gegebenenfalls (wenn sich Trittschall- und Luftschallpegel um weniger als 10 dB unterscheiden) eine rechnerische Korrektur vorzunehmen. Hierbei ist folgendermaßen vorzugehen:

- Zunächst wird die Decke wie üblich mit dem Hammerwerk angeregt. Dabei werden die im Sende- und Empfangsraum erzeugten Schallpegel  $L_{TS}$  und  $L_i$  gemessen.
- Anschließend wird im Senderaum ein Lautsprecher in Betrieb genommen, wobei die durch den Lautsprecher im Sende- und Empfangsraum hervorgerufenen Schallpegel,  $L_{LS}$  und  $L_{LR}$ , bestimmt werden. Aus den gemessenen Werten wird die Differenz  $D = L_{LS} - L_{LR}$  gebildet.

Unter Verwendung der bei den Messungen ermittelten Ergebnisse wird der Norm-Trittschallpegel  $L_n$  wie folgt berechnet:

$$L_n = 10 \lg \left( 10^{L_i/10\text{dB}} - 10^{(L_{TS}-D)/10\text{dB}} \right) \text{dB} + 10 \lg \left( \frac{A}{A_0} \right) \text{dB} . \quad (2)$$

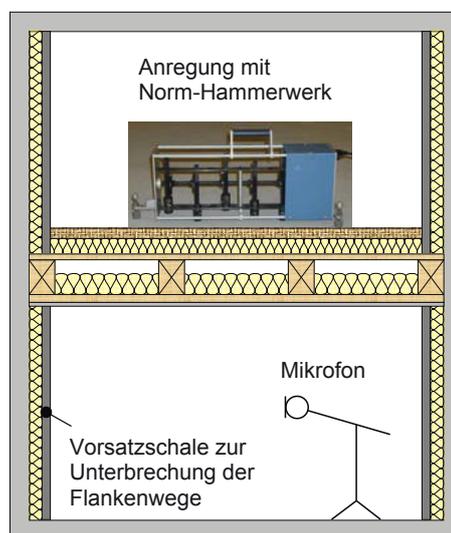
Beträgt die Differenz zwischen dem Trittschall- und dem Luftschallanteil des Mess-Signals,  $L_i - (L_{TS} - D)$ , weniger als 3 dB, so ist eine rechnerische Korrektur nicht möglich und die Trittschalldämmung kann nicht fehlerfrei gemessen werden. Wird die Messung durch Hintergrundgeräusche beeinträchtigt, so sind die Messwerte vor dem Einsetzen in die obigen Gleichungen einer Fremdgeräuschkorrektur nach DIN EN ISO 10140-4 [51] zu unterziehen:

$$L = 10 \lg \left( 10^{L_{sb}/10\text{dB}} - 10^{L_b/10\text{dB}} \right) \text{dB} , \quad (3)$$

mit  $L$  = korrigierter Signalpegel,  
 $L_{sb}$  = Gesamtpegel aus Signal und Hintergrundgeräusch,  
 $L_b$  = Hintergrundgeräuschpegel.

Gleichung (3) ist anzuwenden, wenn sich die Differenz zwischen Gesamtpegel und Hintergrundgeräuschpegel,  $L_{sb} - L_b$ , im Bereich von  $6 \text{ dB} < L_{sb} - L_b < 15 \text{ dB}$  bewegt. Für  $L_{sb} - L_b \leq 6 \text{ dB}$  ist vom Messwert eine Korrektur von 1,3 dB zu subtrahieren, d. h. es gilt  $L = L_{sb} - 1,3 \text{ dB}$ .

Der Messaufbau zur Bestimmung des Norm-Trittschallpegels ist in Abb. 1 vereinfacht dargestellt:



**Abb. 1:** Messung des Norm-Trittschallpegels einer Holzbalkendecke in einem bauakustischen Deckenprüfstand (schematisch). Um die Schall-Längsleitung über die flankierenden Bauteile zu unterbinden, sind die Wände in Sende- und Empfangsraum mit Vorsatzschalen versehen.

Wie aus der obigen Abbildung zu ersehen ist, erfolgt die Trittschallübertragung im Prüfstand wegen der an den Wänden angebrachten Vorsatzschalen im Wesentlichen nur über die untersuchte Decke. Am Bau sind hingegen normalerweise keine Vorsatzschalen vorhanden, so dass zusätzlich Schall über die flankierenden Wände übertragen wird. Der Trittschallpegel einer Decke am Bau ist deshalb stets höher als der im Prüfstand gemessene Wert. Da das Vorhandensein von Flankenwegen durch einen an das Formelzeichen angehängten Apostroph gekennzeichnet wird, gilt demnach für den im Prüfstand und am Bau gemessenen Norm-Trittschallpegel  $L_n \leq L'_n$ .

Ist der Aufbau der flankierenden Wände bekannt, so kann die Erhöhung des Norm-Trittschallpegels infolge von Flankenübertragung näherungsweise rechnerisch abgeschätzt werden. Die Rechnung nach der neuen DIN 4109-2, Abschnitt 4.3.3.1.1 [52] erfolgt für Flankenwände in Holzbauweise und ist auf die Einzahlangabe  $L_{n,w}$  (Erläuterungen zum bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  siehe unten) beschränkt:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2 . \quad (4)$$

Die beiden Korrektursummanden  $K_1$  und  $K_2$  zur Berücksichtigung der Flankenübertragung hängen vom Aufbau der Decke und der Wände ab und können Werte im Bereich von  $1 \text{ dB} \leq K_1 \leq 9 \text{ dB}$  sowie  $0 \text{ dB} \leq K_2 \leq 11 \text{ dB}$  annehmen.

Um die akustische Wirkung von Deckenauflagen, wie z. B. schwimmenden Estrichen, zu kennzeichnen, verwendet man die Trittschallminderung

$$\Delta L = L_{n0} - L_n , \quad (5)$$

wobei  $L_n$  und  $L_{n0}$  den gemessenen Norm-Trittschallpegel der Rohdecke mit und ohne Auflage bezeichnen. Die genaue Vorgehensweise, die bei der Messung der Trittschallminderung anzuwenden ist, ist in DIN EN ISO 10140-1, Anhang H [53] beschrieben.

## 4.2 Einzahlangaben

Der Norm-Trittschallpegel und die Trittschallminderung sind frequenzabhängig und werden zumeist in Terzen gemessen. Statt der ermittelten Frequenzspektren werden für die praktische Anwendung jedoch vielfach Einzahlangaben benötigt, beispielsweise um die Einhaltung der geltenden Schallschutzanforderungen zu überprüfen oder um die Trittschalldämmung unterschiedlicher Konstruktionen direkt miteinander zu vergleichen. Deshalb werden aus den gemessenen Terzspektren nach DIN EN ISO 717-2 [54] Einzahlangaben gebildet, die als zentrale Grundlage für den baulichen Schallschutznachweis nach DIN 4109 dienen. Im folgenden wird kurz erläutert, was bei der Berechnung und Anwendung der Einzahlangaben zu beachten ist.

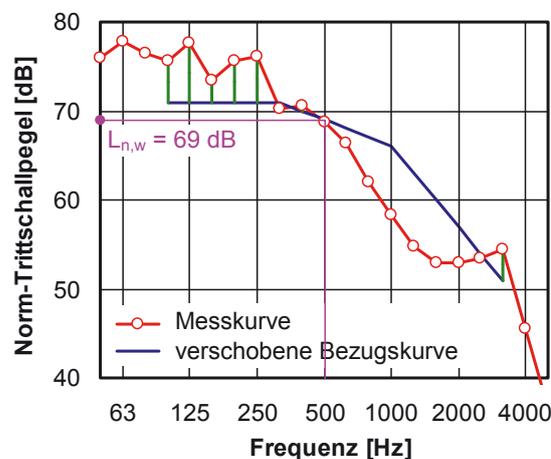
### 4.2.1 Bewerteter Norm-Trittschallpegel

Die wichtigste Einzahlangabe für den Trittschallschutz ist der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$ , der nach DIN EN ISO 717-2 mittels einer genormten Bezugskurve aus dem gemessenen Norm-Trittschallpegel  $L_n$  berechnet wird. Die Berechnung erfolgt in folgenden Schritten:

- Darstellung der Messwerte und der genormten Bezugskurve als Terzspektren. Die Bezugskurve umfasst den Frequenzbereich von 100 - 3150 Hz. Frequenzen außerhalb dieses Bereichs werden bei der Bildung des bewerteten Norm-Trittschallpegels nicht berücksichtigt.
- Verschiebung der Bezugskurve in 1 dB-Schritten in Richtung der Ordinaten-Achse bis die Summe der ungünstigen Abweichungen in den einzelnen Terzen so groß wie möglich ist, aber höchstens 32,0 dB beträgt. Eine ungünstigste Abweichung liegt dann vor, wenn der Messwert über der Bezugskurve liegt.
- Ablesung des Wertes der verschobenen Bezugskurve bei einer Frequenz von 500 Hz. Der abgelesene Wert entspricht dem bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$ .

Der bewertete Norm-Trittschallpegel ist per definitionem normalerweise ein ganzzahliger Wert. Dies reicht von der Genauigkeit her für die meisten praktischen Anwendungen völlig aus. In machen Fällen, wie z. B. beim Vergleich verschiedener Konstruktions- oder Produktvarianten, können jedoch genauere Werte erforderlich sein. In diesem Fall kann  $L_{n,w}$  auch mit einer Genauigkeit von 0,1 dB berechnet werden, indem die Verschiebung der Bezugskurve in Schritten von 0,1 dB anstatt 1 dB erfolgt. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für andere Einzahlangaben, wie z. B. die bewertete Trittschallminderung oder die verschiedenen Spektrum-Anpassungswerte, die im vorliegenden Bericht durchgängig mit 0,1 dB Genauigkeit angegeben werden.

Die Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist in Abb. 2 am Beispiel einer typischen Holzbalken-Rohdecke veranschaulicht:



**Abb. 2:** Bestimmung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Beispiel der für die Untersuchungen verwendeten Holzbalken-Rohdecke. Die vertikalen grünen Balken bezeichnen die ungünstigen Abweichungen zwischen Mess- und Bezugskurve. Der bewertete Norm-Trittschallpegel beträgt  $L_{n,w} = 69$  dB.

#### 4.2.2 Bewertete Trittschallminderung

Die Trittschallminderung von Deckenauflagen ist zwar im Prinzip unabhängig von der Rohdecke, dies gilt jedoch nur für die Terzpegel und nicht für die resultierende Verbesserung des Norm-Trittschallpegels der Rohdecke [55]. Um dennoch eine aussagefähige

Einzahlangabe für die Trittschallminderung zu erhalten, wird die bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$  unter Verwendung einer fiktiven Bezugsdecke berechnet, die in DIN EN ISO 717-2 definiert ist. Zur Berechnung von  $\Delta L_w$  wird die gemessene Trittschallminderung der betrachteten Deckenauflage terzweise zum Norm-Trittschallpegel der Bezugsdecke addiert. Anschließend wird der bewertete Norm-Trittschallpegel der Bezugsdecke mit und ohne Auflage berechnet und die Differenz der beiden Werte gebildet:

$$L_{n,r} = L_{n,r,0} - \Delta L, \quad (6a)$$

$$\Delta L_w = L_{n,r,0,w} - L_{n,r,w}, \quad (6b)$$

mit  $L_{n,r}$  = Norm-Trittschallpegel der Bezugsdecke mit Deckenauflage,  
 $L_{n,r,0}$  = Norm-Trittschallpegel der Bezugsdecke,  
 $\Delta L$  = gemessene Trittschallminderung der Deckenauflage,  
 $L_{n,r,0,w}$  = bewerteter Norm-Trittschallpegel für  $L_{n,r,0}$ ,  
 $L_{n,r,w}$  = bewerteter Norm-Trittschallpegel für  $L_{n,r}$ .

Die Bezugsdecke (mit dem Index r für reference) ist ein fiktives Bauteil mit idealisierter Trittschalldämmung. Neben einer schweren Bezugdecke für den Massivbau (entspricht in etwa einer 120 mm dicken massiven Betondecke) gibt es drei leichte Bezugsdecken für den Holzbau. Sie repräsentieren unterschiedliche Typen von Holzbalkendecken und entsprechen den in DIN EN ISO 10140-5, Anhang C beschriebenen Konstruktionen. Zur Unterscheidung von der schweren Bezugsdecke werden die drei leichten Decken mit dem Index t (für timber) und der Nummer der jeweiligen Decke gekennzeichnet.

Die in dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben an Trockenestrichen durchgeführten Messungen erfolgten auf einer Holzbalkendecke, deren Aufbau der leichten Bezugsdecke Typ 1 nach DIN EN ISO 10140-5 entsprach. Für die bewertete Trittschallminderung der Trockenestriche müsste somit nach DIN EN ISO 717-2 bei korrekter Schreibweise eigentlich die Bezeichnung  $\Delta L_{t,1,w}$  verwendet werden. Im Sinne einer einfachen Nomenklatur und da keine Verwechslungsgefahr besteht, wird die Trittschallminderung im folgenden jedoch in verkürzter Form vereinfachend mit  $\Delta L_w$  bezeichnet.

### 4.2.3 Spektrum-Anpassungswerte

Die derzeitige Vorgehensweise zur Messung der Trittschalldämmung und der Ermittlung von Einzahlangaben liefert zwar reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse, wirft jedoch hinsichtlich der gehörgerechten Beurteilung der Schallschutzwirkung Probleme auf:

- Sowohl das Anregungsspektrum des Norm-Hammerwerks, als auch die zur Berechnung von  $L_{n,w}$  verwendete Bezugskurve, unterscheiden sich stark von dem Frequenzspektrum üblicher Gehgeräusche. Dies hat zur Folge, dass der nach DIN EN ISO 717-2 berechnete  $L_{n,w}$ -Wert und der subjektive Höreindruck beim Begehen der Decke oft schlecht miteinander korrelieren. Die Diskrepanzen sind sowohl bei Holz- als auch bei Massivdecken vorhanden, zeigen sich bei Holzdecken aber in besonders ausgeprägter Form [29, 55].

- Die Berechnung von  $L_{n,w}$  erfolgt im Frequenzbereich von 100 - 3150 Hz. Die Frequenzen unter 100 Hz, die besonders bei Holzdecken häufig für Lärmbelastigungen verantwortlich sind, werden in dem Verfahren nicht berücksichtigt.

Um die beschriebenen Probleme zu entschärfen, wurde in DIN EN ISO 717-2 der Spektrum-Anpassungswert  $C_I$  eingeführt, der aus dem Frequenzspektrum des gemessenen Norm-Trittschallpegels  $L_n$  berechnet wird (da auf vorhandene Messdaten zurückgegriffen wird, sind zur Bestimmung des Spektrum-Anpassungswertes keine zusätzlichen Messungen erforderlich):

$$C_I = L_{n,sum} - 15 \text{ dB} - L_{n,w} , \quad (7)$$

$$\text{mit } L_{n,sum} = 10 \lg \left( \sum_{j=1}^k 10^{L_{n,j} / 10 \text{ dB}} \right) \text{ dB} .$$

Bei der Berechnung wird der lineare Trittschallpegel  $L_{n,sum}$  standardmäßig durch terzweise energetische Addition des Norm-Trittschallpegels im Frequenzbereich von 100 - 2500 Hz gebildet. Optional kann die Berechnung jedoch auch für den erweiterten Bereich von 50 - 2500 Hz erfolgen. In diesem Fall ist für den Spektrum-Anpassungswert die Bezeichnung  $C_{I,50-2500}$  zu verwenden.

Zur Anwendung des Spektrum-Anpassungswertes ist dieser zum bewerteten Norm-Trittschallpegel zu addieren, d. h. es ist die Summe  $L_{n,w} + C_I$  zu bilden. Diese Summe ist so definiert, dass sie in etwa dem A-Schallpegel beim Begehen von Decken und damit der menschlichen Gehörwahrnehmung von Gehgeräuschen entspricht. Den vorliegenden Erkenntnissen zufolge trifft dies allerdings nur dann in vollem Umfang zu, wenn die Terzen von 50 - 80 Hz mit in die Betrachtung einbezogen werden [29]. Zur praxisgerechten Kennzeichnung der Trittschalldämmung von Decken sollte daher wenn möglich stets die Einzahlangabe  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  herangezogen werden.

Analog zur Vorgehensweise beim bewerteten Norm-Trittschallpegel wird in DIN EN ISO 717-2 auch ein Spektrum-Anpassungswert  $C_{I,\Delta}$  für die Trittschallminderung von Deckenauflagen definiert:

$$C_{I,\Delta} = C_{I,r,0} - C_{I,r} , \quad (8)$$

mit  $C_{I,r,0}$  = Spektrum-Anpassungswert für die Bezugsdecke ( $L_{n,r,0}$  in Gl. (5a)),  
 $C_{I,r}$  = Spektrum-Anpassungswert für die Bezugsdecke mit Deckenauflage ( $L_{n,r}$  in Gl. (5a)).

Für die Anwendung in der Bauakustik ist die Summe  $\Delta L_w + C_{I,\Delta}$  heranzuziehen, die durch Addition des Spektrum-Anpassungswertes  $C_{I,\Delta}$  zur bewerteten Trittschallminderung  $\Delta L_w$  gebildet wird. Falls die Trittschallminderung in Verbindung mit einer Holzbalkendecke gemessen wurde, ist noch die Bezeichnung der zugehörigen Bezugsdecke zu ergänzen, so dass sich für den Spektrum-Anpassungswert z. B. der Ausdruck  $C_{I,\Delta,t1}$  ergeben würde. Da eine Verwechslung im vorliegenden Fall ausgeschlossen ist, wird jedoch auch hier - analog zur bewerteten Trittschallminderung - die verkürzte Bezeichnung  $C_{I,\Delta}$  verwendet.

Eine Berechnung des Spektrum-Anpassungswertes  $C_{i,\Delta}$  für den erweiterten Frequenzbereich von 50 - 2500 Hz ist strenggenommen nicht möglich, weil der Norm-Trittschallpegel der hierfür benötigten Bezugsdecken in DIN EN ISO 717-2 nur von 100 - 3150 Hz angegeben ist. Da die Frequenzen von 50 - 80 Hz für die gehörrichtige Beurteilung der Schallschutzwirkung bei Holzdecken jedoch von großer Bedeutung sind, wurden im vorliegenden Bericht soweit möglich auch diese Frequenzen mit einbezogen, indem der Norm-Trittschallpegel der genormten Bezugsdecke zu tiefen Frequenzen hin extrapoliert wurde. Im Fall der für die Untersuchungen verwendeten leichten Bezugsdecke Nr. 1 erfolgte dies auf einfache Weise, indem den Terzen bei 50, 63 und 80 Hz jeweils ein Trittschallpegel von  $L_n = 78$  dB zugewiesen wurde.

### 4.3 Trittschallquellen

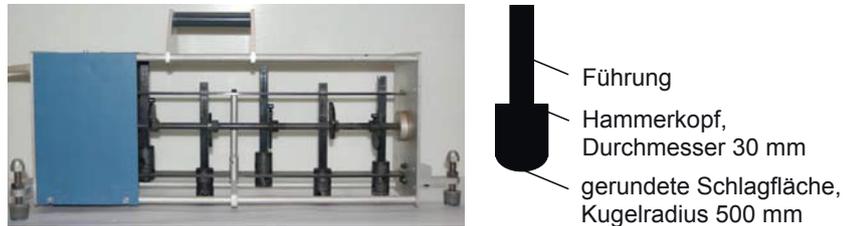
Bei Trittschallmessungen erfolgt die Anregung der Decke standardmäßig mit dem Norm-Hammerwerk nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang E. Das Hammerwerk erzeugt ein gleichmäßiges, starkes, gut nachweisbares Mess-Signal, hat aber wie oben bereits erwähnt das Problem, dass die Messwerte und die menschliche Geräuschwahrnehmung bei realen Gehgeräuschen schlecht miteinander korrelieren. Eine Möglichkeit diese Korrelation zu verbessern, stellt die Verwendung der ebenfalls bereits erwähnten Spektrum-Anpassungswerte dar. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, statt des Norm-Hammerwerks eine andere Trittschallquelle zu verwenden, die hinsichtlich ihrer schalltechnischen Eigenschaften besser einem menschlichen Geher entspricht.

Als alternative Trittschallquellen kommen vor allem zwei Konstruktionen zum Einsatz, die beide in DIN EN ISO 10140-5 beschrieben sind: das modifizierte Hammerwerk sowie die schwere / weiche Trittschallquelle (japanischer Gummiball). Mit diesen Quellen können gleichfalls Trittschallmessungen durchgeführt werden, allerdings gibt es bislang keine Schallschutzanforderungen die zum Vergleich mit den Messwerten herangezogen werden können. Der Einsatz des modifizierten Hammerwerks und des japanischen Gummiballs beschränkt sich deshalb bislang vor allem auf den Bereich der bauakustischen Forschung. Da in dem durchgeführten Forschungsvorhaben neben dem Norm-Hammerwerk teilweise auch die beiden anderen Trittschallquellen eingesetzt wurden, sollen die drei Quellen im folgenden kurz beschrieben werden.

#### 4.3.1 Norm-Hammerwerk

Das Norm-Hammerwerk nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang E ist die weitaus wichtigste Trittschallquelle, auf das sich alle gesetzlichen Schallschutzanforderungen beziehen. Es besteht aus fünf nebeneinander angeordneten Hämmern mit einer Masse von je 500 g, die abwechselnd aus einer Höhe von 40 mm senkrecht auf die Decke herabfallen. Zur Betätigung der Hämmer dient eine motorisch betriebene Drehachse mit Exzentrerscheiben, welche die Hämmer zunächst anheben und dann in freiem Fall auf die Decke herabfallen lassen. Der Zeitabstand zwischen zwei aufeinander folgenden Schlägen liegt bei 100 ms. Die zylindrischen Hammerköpfe bestehen aus gehärtetem Stahl und weisen an der Schlagfläche eine sphärische Rundung mit einem Durchmesser von 500 mm auf.

Das Norm-Hammerwerk erzeugt ein gleichförmiges, gut messbares und reproduzierbares Signal. Der Schallpegel ist so hoch, dass im Allgemeinen auch unter schwierigen Bedingungen (d. h. bei Decken mit hoher Trittschalldämmung und bei Einwirkung von Fremdgeräuschen) mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden kann. Ein Beispiel für ein Norm-Hammerwerk ist in Abb. 3 dargestellt:



**Abb. 3:** Beispiel für ein praxisübliches Norm-Trittschallhammerwerk. Die Skizze rechts im Bild enthält Angaben zur Ausführung der Hämmer.

### 4.3.2 Modifiziertes Hammerwerk

Das modifizierte Norm-Hammerwerk unterscheidet sich in technischer Hinsicht nicht vom Original. Die Modifikation besteht lediglich darin, dass zwischen die Hämmer und die Decke - bei gleichbleibender Fallhöhe - eine Elastomerschicht mit genau definierten mechanischen Eigenschaften eingebracht wird. Die Schicht kann entweder als Einzel-elemente an der Unterseite der Hämmer befestigt werden (DIN EN ISO 10140-5, Anhang F.1, Verfahren A) oder als Unterlage unter der Schlagfläche des Hammerwerks auf die Decke gelegt werden (Verfahren B). Im letztgenannten Fall muss die Unterlage eine dynamische Steifigkeit von  $s' = 34 \text{ MN/m}^3 \pm 10 \%$  und einen Verlustfaktor von  $\eta = 0,2 - 0,5$  aufweisen. Diese Eigenschaften sind so gewählt, dass für die Anregung der Decke eine gute Anpassung an das Frequenzspektrum menschlicher Gehgeräusche erreicht wird.

Ein schwerwiegender Nachteil des modifizierten Norm-Hammerwerks besteht jedoch in dem vergleichsweise niedrigen Geräuschpegel, der die Trittschallmessung in der Praxis erheblich erschwert. Beim Vorhandensein von Störgeräuschen, wie bei Messungen am Bau vielfach der Fall, sind mit dem modifizierten Hammerwerk daher vielfach keine zuverlässigen Messungen möglich. Dies gilt teilweise sogar für Messungen in bauakustischen Prüfständen, sofern Decken mit hoher Trittschalldämmung untersucht werden sollen. Außerdem steht für die erforderliche elastische Unterlage bislang kein geeignetes Material zur Verfügung, das die erforderliche Reproduzierbarkeit und Dauerhaftigkeit aufweist (das Material muss langfristig in gleichbleibender Qualität auf dem Markt erhältlich sein und darf seine mechanischen Eigenschaften auch bei dauerhaftem Gebrauch nicht verändern).

Obgleich es sich um eine genormte Trittschallquelle handelt, wird das modifizierte Hammerwerk wegen der oben beschriebenen Probleme in der Praxis bislang kaum eingesetzt. In Forschungsvorhaben zur Trittschalldämmung von Decken hat es hingegen seinen festen Platz. Die Auswertung der Messdaten erfolgt im Prinzip in gleicher Weise wie beim Original-Hammerwerk, wobei die Angabe von Spektrum-Anpassungswerten wegen der verbesserten Übereinstimmung des Anregungsspektrums mit realen Gehge-

räuschen hier jedoch nicht möglich und auch nicht erforderlich ist. Ein Beispiel für ein modifiziertes Norm-Hammerwerk ist in Bild dargestellt:



**Abb. 4:** Modifiziertes Norm-Hammerwerk nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang F.1, Verfahren B. Bei der elastischen Unterlage (als gelber Streifen unter der Schlagfläche des Hammerwerks erkennbar) handelt es sich um eine 12,5 mm dicke Schicht aus Sylomer SR 11 (gemischtzelliger Polyurethan-Schaum der Getzner Werkstoffe GmbH). Am eine gleichbleibende Fallhöhe der Hämmer zu gewährleisten, wurden die Füße des Hammerwerks mit 12,5 mm dicken Abstandshaltern unterlegt.

### 4.3.3 Japanischer Gummiball

Der japanische Gummiball (in DIN EN ISO 10140-5, Anhang F.2 auch als schwere / weiche Trittschallquelle bezeichnet) besteht aus einer Hohlkugel mit einem Durchmesser von 180 mm, einer Wandstärke von 30 mm und einem Gewicht von  $2,5 \pm 0,1$  kg. Seine akustisch maßgebenden Eigenschaften, wie z. B. Materialbeschaffenheit (Silikonkautschuk mit chemischen Zusätzen), Zeitverlauf, Pegel und Frequenzspektrum der auf die Decke ausgeübten Kraft sowie der Rückprallkoeffizient, sind in der Norm vorgegeben. Beim Anregungsvorgang trifft der Ball aus einer Fallhöhe von  $100 \pm 0,1$  cm in freiem Fall senkrecht auf die Decke auf. Da hierdurch kein stationäres Geräusch sondern lediglich ein kurzer Geräuschimpuls erzeugt wird, wird im Gegensatz zum Norm-Hammerwerk statt eines zeitlich gemittelten Wertes der Maximalpegel gemessen.

Ähnlich wie das Norm-Hammerwerk erzeugt auch der japanische Gummiball ein lautes und gut nachweisbares Geräusch, das insbesondere bei tiefen Frequenzen hohe Pegelanteile aufweist. Der Nachteil besteht darin, dass die kurzen Geräuschimpulse des auftreffenden Balls schwieriger zu messen sind, als dies beim quasi-stationären Geräusch des Hammerwerks der Fall ist, da statt eines zeitlich gemittelten Schallpegels der Maximalpegel erfasst werden muss. Auch wenn dabei natürlich über mehrere Anregungsvorgänge und Anregepositionen gemittelt wird, ist die Messgenauigkeit dennoch geringer als bei einem stationären Signal. Auch die Berücksichtigung der Nachhallzeit im Empfangsraum erfolgt bei dem für den Gummiball ermittelten Maximalpegel (räumlich gemittelter maximaler Trittschallpegel  $L_{i,Fmax}$ ) anders als beim Norm-Hammerwerk:

$$L'_{i,F \max, V, T} = L_{i,F \max} + 10 \lg \left( \frac{V}{V_0} \right) - 10 \lg \left( \frac{1 - C_0^{-1}}{1 - C^{-1}} \left[ \frac{C^{(1-C)^{-1}} - C^{-(1-C^{-1})^{-1}}}{C_0^{(1-C_0)^{-1}} - C_0^{-(1-C_0^{-1})^{-1}}} \right] \right), \quad (9)$$

mit  $C_0 = T_0 / 1,7275$  und  $C = T / 1,7275$ ,

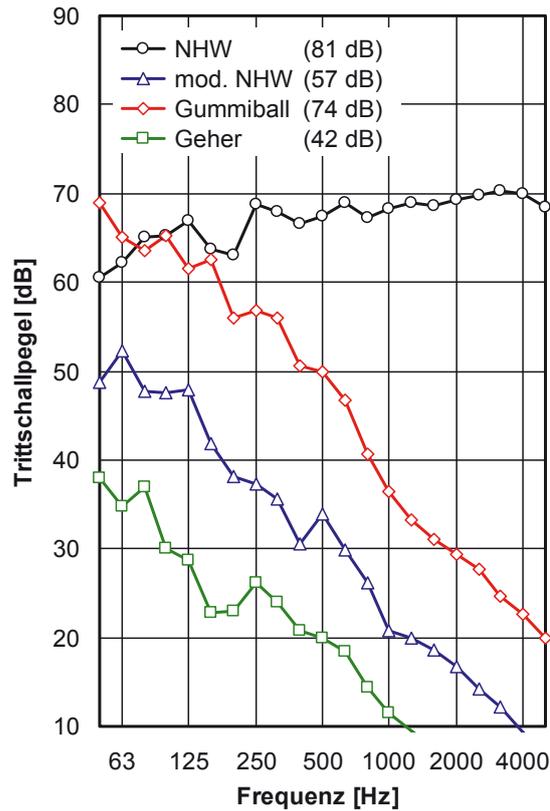
sowie  $T$  = Nachhallzeit im Empfangsraum,  
 $T_0$  = Bezugs-Nachhallzeit ( $T_0 = 0,5$  s für Wohnräume),  
 $V$  = Volumen des Empfangsraums in  $m^3$ ,  
 $V_0$  = Bezugs-Volumen ( $V = 50$   $m^3$  für Wohnräume).

Der japanische Gummiball ist zwar eine genormte Trittschallquelle, es gibt jedoch - zumindest in Deutschland - keine Schallschutzanforderungen, die sich auf die ermittelten Messwerte beziehen. Der Ball wird deshalb, ähnlich wie das modifizierte Hammerwerk, in Deutschland und Europa weniger in der baulichen Praxis, sondern vor allem im Bereich der bauakustischen Forschung eingesetzt. Er findet seine Anwendung dort insbesondere im Bereich des Trittschallschutzes bei tiefen Frequenzen sowie beim gehörrichtigen Vergleich der Trittschalldämmung unterschiedlicher Deckenkonstruktionen und Deckenauflagen.

Ein Foto des japanischen Gummiballs ist in Abb. 5 dargestellt. In Abb. 6 werden die mit den oben beschriebenen Trittschallquellen (Norm-Hammerwerk, modifiziertes Hammerwerk und japanischer Gummiball) erzeugten Geräuschpegel untereinander sowie mit typischen menschlichen Gehgeräuschen verglichen.



**Abb. 5:** Japanischer Gummiball (schwere / weiche Trittschallquelle) nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang F.2. Zur Erzeugung der gemessenen Geräusche lässt man den Ball normalerweise mit der Hand aus einer Höhe von 1 m frei auf die Decke herabfallen. Die Fallbewegung erfolgt alleine aufgrund des Eigengewichts des Balls, so dass er mit einer Geschwindigkeit von ca. 4,4 m/s senkrecht auf die Decke auftrifft.



**Abb. 6:** Trittschallpegel bei Anregung einer Decke mit verschiedenen Quellen. Neben einem Norm-Hammerwerk (NHW) und einem modifizierten Hammerwerk nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang F.1 (mod. NHW) wurde ein japanischer Gummiball nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang F.2 verwendet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel eines typischen Geher (männlich, Gewicht ca. 75 kg, Sportschuhe) dargestellt. Sämtliche Messungen erfolgten auf einer massiven Stahlbeton-Rohdecke mit 140 mm Dicke. Die in der Legende in Klammern angegebenen Werte bezeichnen jeweils den resultierenden Gesamtschallpegel.

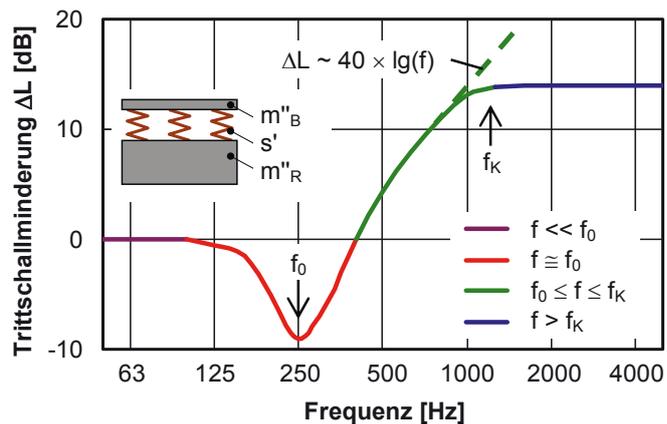
#### 4.4 Schwimmende Estriche

Schwimmende Estriche stellen eine der wichtigsten und am weitesten verbreiteten Arten trittschallmindernder Deckenauflagen dar und spielen auch bei der Entwicklung akustisch optimierter Auflagen eine zentrale Rolle. Zum besseren Verständnis der nachfolgend präsentierten Untersuchungsergebnisse soll daher hier in kurzer Form das akustische Funktionsprinzip erläutert werden.

Wie bei vielen anderen bauakustischen Konstruktionen (Ständerwände, Vorsatzschalen, etc.) lässt sich auch das Verhalten von schwimmenden Estrichen in erster Näherung als Masse-Feder-Masse System auffassen. Die eine Masse stellt dabei die Bodenplatte (häufig auch als Estrichplatte bezeichnet), die andere die obere Beplankung der Rohdecke dar. Die dazwischen liegende elastische Lagerung (z. B. Trittschall-Dämmplatte) wirkt als Feder.

Eine Verbesserung der Trittschalldämmung erfolgt nur oberhalb der Resonanz des schwimmenden Estrichs, weshalb man bestrebt ist, die Resonanzfrequenz so tief wie möglich abzustimmen. In der Praxis sind dem allerdings Grenzen gesetzt, da bei Estrichen mit sehr niedriger Resonanzfrequenz ein "Schiffsboden-Effekt", d. h. ein unangenehmes Schwanken der Estrichplatte eintritt.

Der Frequenzverlauf der Trittschallminderung durch einen schwimmenden Estrich ist in Abb. 7 schematisch dargestellt:



**Abb. 7:** Trittschallminderung durch einen schwimmenden Estrich mit einer Resonanzfrequenz von 250 Hz (schematische Darstellung).

Gemäß der obigen Darstellung lässt sich der Frequenzverlauf der Trittschallminderung in vier charakteristische Bereiche unterteilen:

- $f \ll f_0$ : Unterhalb der Resonanzfrequenz  $f_0$  verhalten sich schwimmende Estriche (abgesehen von der beschwerenden Wirkung) akustisch weitgehend neutral, d. h. die Trittschallminderung  $\Delta L$  ist Null.
- $f \cong f_0$ : Im Resonanzbereich tritt eine Verschlechterung der Trittschalldämmung ein ( $\Delta L < 0$ ).
- $f_0 \leq f \leq f_k$ : Oberhalb der Resonanzfrequenz steigt die Trittschallminderung theoretisch mit  $f \sim 40 \lg(f)$ , d. h. mit 12 dB/Oktave an. In der Praxis ist der Anstieg häufig weniger steil.
- $f > f_k$ : Bei hohen Frequenzen geht die Trittschallminderung in eine Sättigung über oder nimmt sogar wieder etwas ab. Die Frequenz, bei der dieser Effekt einsetzt, wird hier als Knickfrequenz  $f_k$  bezeichnet. Die Gründe für das Abknicken der Kurve sind bislang noch nicht vollständig verstanden.

Der in Abb. 7 dargestellte Frequenzverlauf der Trittschallminderung entspricht in seinen Grundzügen (abgesehen vom Bereich hoher Frequenzen) dem akustischen Verhalten eines bedämpften Zweimassenschwingers, wie es in der nachfolgenden Gleichung beschrieben ist:

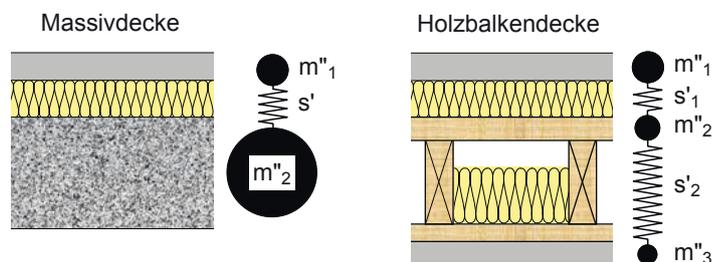
$$\Delta L = 20 \lg \left( \sqrt{\frac{(1 - (f/f_0)^2)^2 + \eta^2 (f/f_0)^2}{1 + \eta^2 (f/f_0)^2}} \right) \text{ dB} . \quad (10)$$

Abgesehen von der Frequenz  $f$  hängt die Trittschallminderung  $\Delta L$  dabei lediglich von der Resonanzfrequenz  $f_0$  sowie dem Verlustfaktor  $\eta$  des schwingenden Systems ab. Die Bedeutung des Verlustfaktors wird später noch genauer erläutert.

Die Darstellung in Abb. 7 gibt lediglich den charakteristischen Frequenzverlauf der Trittschallminderung wieder. Die tatsächliche Kurvenform hängt in starkem Maße von der Beschaffenheit des schwimmenden Estrichs ab. So weisen etwa Systeme mit hoher innerer Dämpfung gemäß Gl. (10) zwar einen erheblich schwächeren Dämpfungseinbruch im Resonanzbereich, dafür aber zugleich einen schwächeren Anstieg der Trittschallminderung bei Frequenzen oberhalb der Resonanz auf. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass der in Abb. 7 dargestellte Frequenzverlauf für ein vereinfachtes eindimensionales System berechnet wurde. In der Praxis hat man es demgegenüber zumeist mit plattenförmigen Bauteilen zu tun, die häufig ausgeprägte Eigenschwingungen aufweisen, welche die Trittschallminderung erheblich beeinflussen.

## 4.5 Resonanzfrequenz

Im vorangehenden Abschnitt wurde erläutert, dass die Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs vor allem von seiner Resonanzfrequenz abhängt. Je niedriger die Resonanzfrequenz, desto besser normalerweise die akustische Wirkung. Für die Auslegung von schwimmenden Estrichen in der baulichen Praxis ist daher die korrekte Bestimmung der Resonanzfrequenz von erheblicher Bedeutung.



**Abb. 8:** Eindimensionales Masse-Feder-Modell für die Schwingungen eines schwimmenden Estrichs auf einer Massivdecke (links) und einer Holzbalkendecke (rechts). Neben der Trittschall-Dämmplatte mit der dynamischen Steifigkeit  $s'_1$  wirkt bei der Holzbalkendecke außerdem die im Deckenhohlraum eingeschlossene Luftschicht als Feder. Die dynamische Steifigkeit der Luftfeder beträgt  $s'_2 \approx 0,111 \text{ MN/m}^2 / d$ , wobei  $d$  die Dicke der Luftschicht bezeichnet (entspricht der Höhe der Deckenbalken).

Bei schwimmenden Estrichen auf Massivdecken ist die Berechnung der Resonanzfrequenz einfach, da das schwingende System lediglich aus zwei Massen (dem Estrich und der Decke) sowie einer Feder (der elastischen Trittschall-Dämmplatte) besteht. Für die beschriebene Situation, die in Abb. 8 dargestellt ist, ergibt sich die einfache Formel:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left( \frac{1}{m''_1} + \frac{1}{m''_2} \right)} \quad \text{mit} \quad s' = \frac{E_{\text{dyn}}}{d}, \quad (11)$$

wobei  $m''_1$  und  $m''_2$  die beiden schwingenden Massen und  $s'$  (Quotient aus dynamischem Elastizitätsmodul  $E_{\text{dyn}}$  und Dicke  $d$  der Dämmschicht) die dynamische Steifigkeit der Trittschall-Dämmplatte bezeichnen. Wie aus der obigen Gleichung zu ersehen ist, ist eine niedrige Resonanzfrequenz durch die Verwendung von Bauteilen mit hoher flächenbezogener Masse und / oder einer Dämmschicht mit niedriger dynamischer Steifigkeit erreichbar.

In erster Näherung ist Gl. (11) auch für schwimmende Estriche auf Holzbalkendecken verwendbar, wenn man für  $m''_1$  und  $m''_2$  die flächenbezogenen Massen der Estrichplatte und der oberen Beplankung der Rohdecke einsetzt. Tatsächlich ist das Schwingungsverhalten von Holzbalkendecken jedoch erheblich komplizierter, zum einen wegen des Einflusses der Balken und zum anderen, weil häufig eine Vielzahl schwingender Bauteile vorhanden ist, die in Wechselwirkung miteinander stehen. Für eine lineare Kette aus drei Massen und zwei Federn (dies entspricht einer einfach aufgebauten Holzbalkendecke, wie sie in Abb. 8 dargestellt ist) lässt sich die Resonanzfrequenz noch analytisch berechnen, für kompliziertere Systeme ist dies hingegen nicht mehr ohne weiteres möglich. Die Formel für die Resonanzfrequenz der in Abb. 8 dargestellten Holzbalkendecke lautet [56]:

$$f_0 = \frac{1}{2^{3/2} \pi} \left\{ \left[ \left( \frac{s'_1 + s'_2}{m''_2} + \frac{s'_1}{m''_1} + \frac{s'_2}{m''_3} \right)^2 - 4s'_1 s'_2 \left( \frac{1}{m''_1 m''_2} + \frac{1}{m''_2 m''_3} + \frac{1}{m''_1 m''_3} \right) \right]^{1/2} \right\}^{1/2}. \quad (12)$$

Die obige Formel liefert zwei Resonanzfrequenzen, wobei die niedrigere im Falle üblicher Holzbalkendecken jedoch häufig unterhalb des bauakustischen Frequenzbereichs liegt und deshalb weniger von Interesse ist.

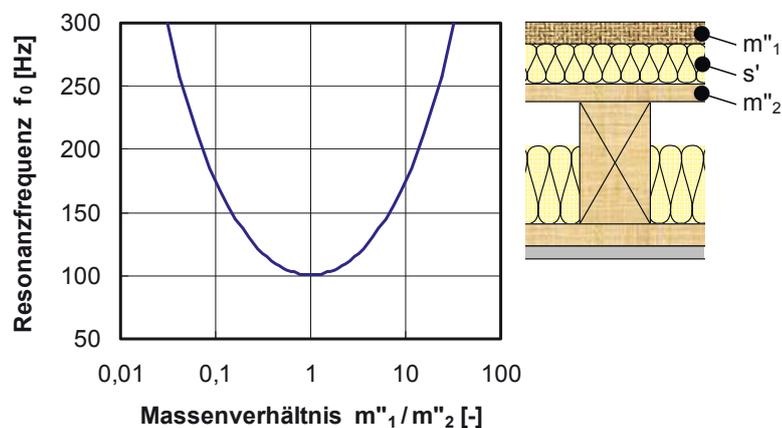
Um zu veranschaulichen, in welchem Bereich die Resonanzfrequenz schwimmender Estriche normalerweise liegt, wurde eine Berechnung für einen mineralischen Estrich mit hoher Trittschallminderung und einen Trockenestrich mit vergleichsweise geringer akustischer Wirkung vorgenommen. Die Berechnung erfolgte jeweils in Verbindung mit einer Massivdecke (14 cm Stahlbeton,  $m'' = 330 \text{ kg/m}^2$ ) und einer Holzbalkendecke (Bezugsdecke C1 nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C, siehe Abb. 12). Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

schwimmender Estrich	Resonanzfreq. $f_0$ [Hz]	
	MD	HBD
mineralischer Estrich ( $m'' = 90 \text{ kg/m}^2$ , $s' = 10 \text{ MN/m}^3$ )	60	145
Trockenestrich ( $m'' = 10 \text{ kg/m}^2$ , $s' = 40 \text{ MN/m}^3$ )	320	410

**Tab. 1:** Resonanzfrequenz typischer schwimmender Estriche auf einer Massivdecke (MD) und einer Holzbalkendecke (HBD). Der Aufbau der Decken ist im vorangehenden Text beschrieben.

Wie aus der obigen Tabelle zu ersehen ist, ergibt sich für den gleichen Estrich auf einer Holzbalkendecke eine deutlich höhere Resonanzfrequenz als auf einer Massivdecke. Dies ist einer der Gründe dafür, dass die akustische Wirkung von schwimmenden Estrichen auf Holzbalkendecken im Vergleich zu Massivdecken meist erheblich geringer ausfällt.

Aus den obigen Berechnungsformeln lässt sich entnehmen, dass eine weiche Dämmschicht und eine schwere Estrichplatte alleine noch keine niedrige Resonanzfrequenz bewirken. Um dies zu erreichen, muss auch die Gegenmasse (bei Holzbalkendecken entspricht dies näherungsweise der Masse der oberseitigen Beplankung) ausreichend hoch sein. Bei vorgegebener Gesamtmasse von Estrichplatte und Beplankung ( $m''_1 + m''_2 = \text{konst.}$ ) erweist sich eine symmetrische Massenverteilung (gleiche Masse ober- und unterhalb der Dämmschicht) als akustisch am günstigsten. Dies ist in Abb. 9 beispielhaft dargestellt:



**Abb. 9:** Resonanzfrequenz eines schwimmenden Estrichs auf einer Holzbalkendecke (Bezugsdecke C1 nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C) in Abhängigkeit vom Massenverhältnis  $m''_1/m''_2$  bei vorgegebener Gesamtmasse  $m''_1 + m''_2 = 100 \text{ kg/m}^2$ . Die Berechnung erfolgte für eine dynamische Steifigkeit der Dämmschicht von  $s' = 10 \text{ MN/m}^3$ .

## 4.6 Dynamische Steifigkeit

Die dynamische Steifigkeit der verwendeten Trittschall-Dämmplatten stellt eine der wichtigsten Einflussgrößen für die Trittschallminderung von schwimmenden Estrichen dar, da sie zusammen mit der flächenbezogenen Masse der Bauteile gemäß Gl. (11) die Resonanzfrequenz des Systems bestimmt. Statt der dynamischen Steifigkeit  $s'$  kann selbstverständlich ebenso gut der dynamische Elastizitätsmodul des Dämmstoffs,  $E_{\text{dyn}}$ , herangezogen werden, der über die Dämmstoffdicke  $d$  gemäß der Beziehung

$$s' = \frac{E_{\text{dyn}}}{d} \quad (13)$$

direkt mit der dynamischen Steifigkeit verknüpft ist.

Besteht eine Dämmschicht aus zwei übereinander angeordneten Dämmstofflagen mit unterschiedlicher dynamischer Steifigkeit (also z. B. aus zwei unterschiedlich steifen Dämmstoffen), so ergibt sich die resultierende Steifigkeit des Gesamtsystems durch Addition der Kehrwerte der einzelnen Lagen:

$$s'_{\text{res}} = \left( \frac{1}{s'_1} + \frac{1}{s'_2} \right)^{-1} \quad (14)$$

Werden die beiden unterschiedlich steifen Dämmstoffe hingegen teilflächig nebeneinander verlegt (was natürlich die gleiche Dämmstoffdicke voraussetzt), so beträgt die resultierende dynamische Steifigkeit

$$s'_{\text{res}} = \frac{1}{F_1 + F_2} (F_1 s'_1 + F_2 s'_2), \quad (15)$$

wobei  $F_1$  und  $F_2$  die Flächenanteile der beiden Dämmstoffe bezeichnen. Die obige Gleichung ist auch für teilflächige elastische Lagerungen anwendbar, indem die zwischen den einzelnen Auflagen verbleibenden Lücken als Luftfedern mit der dynamischen Steifigkeit  $s' \cong 0,111 \text{ MN/m}^2 / d$  (mit  $d$  = Dicke der Luftschicht) in die Gleichung eingegeben werden. Haben die Auflagen nur geringe Abmessungen, so ist bei der Bestimmung der Steifigkeit gegebenenfalls außerdem der Formfaktor der Elemente zu berücksichtigen [57 - 59]. Falls erforderlich, lassen sich Gl. (14) und Gl. (15) natürlich auch für mehr als zwei verschiedene Dämmstoffe anwenden.

Bei üblichen Trittschalldämmstoffen und nicht allzu kleiner Auflagefläche ist die Luftfeder für die dynamische Steifigkeit teilflächiger Lagerungen im Allgemeinen nur von untergeordneter Bedeutung. Gleiches gilt auch für den Einfluss des Formfaktors. Wird die Dämmstoffdicke halbiert und gleichzeitig die Auflagefläche um 50 % reduziert, so ändert sich die resultierende dynamische Steifigkeit unter den genannten Voraussetzungen nur geringfügig. Diese Aussage, die sich aus Gl. (13) und Gl. (15) ergibt, spielt für die später beschriebenen Untersuchungen eine wichtige Rolle.

Zur dynamischen Steifigkeit von marktüblichen Trittschall-Dämmplatten liegen in der Regel selbstverständlich Herstellerangaben vor. Leider sind diese Angaben jedoch recht unzuverlässig, weil der Elastizitätsmodul der verwendeten Materialien erfahrungsgemäß eine große Produktstreuung aufweist (Schwankungen von 50 % sind dabei keine Seltenheit). Um zuverlässige Ausgangsdaten für Berechnungen zu erhalten, wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens deshalb eigene Messungen der dynamischen Steifigkeit durchgeführt. Die Messungen erfolgten nach dem für Trittschalldämmstoffe vorgeschriebenen Verfahren gemäß DIN EN 29052-1 [60]. Hierbei wird die geprüfte Dämmstoffplatte auf eine ebene starre Unterlage gelegt und mit einer genormten Auflage beschwert. Die Auflage besteht aus einer 25 mm dicken Stahlplatte mit einer flächenbezogenen Masse von  $m'' \cong 200 \text{ kg/m}^2$ . (Die hohe Masse erklärt sich daraus, dass das Messverfahren eigentlich zur Untersuchung von Trittschalldämmstoffen unter schwimmenden Estrichen vorgesehen ist und diese Dämmstoffe teilweise hohen statischen Lasten ausgesetzt sind.) Der beschriebene Aufbau bildet ein schwingungsfähiges Masse-Feder-System mit der Stahlplatte als Masse und der Dämmstoffplatte als Feder. Das System wird mit einem an der Stahlplatte angebrachten Erreger in Schwingung versetzt und die Resonanzkurve mit einem Sinus-Sweep mit hoher Frequenzauflösung durchfahren. Aus der ermittelten Resonanzfrequenz, die sich aus der Lage des Schwingungsmaximums ergibt, kann dann nach Gl. (11) die dynamische Steifigkeit der Dämmstoffplatte bestimmt werden.

Die nach DIN EN 29052-1 gemessenen Werte der dynamischen Steifigkeit sind an und für sich recht genau. Verwendet man die Werte jedoch, um die Resonanzfrequenz von Holzbalkendecken zu berechnen, so weicht die berechnete Frequenz häufig erheblich von der tatsächlichen Resonanzfrequenz der Decke ab. Neben dem komplizierten Schwingungsverhalten von Holzdecken ist dies vor allem darauf zurückzuführen, dass die dynamische Steifigkeit eine frequenzabhängige Größe ist, während die Messung nach DIN EN 29052-1 bei einer festen Frequenz erfolgt, die durch den Versuchsaufbau und die Beschaffenheit des Prüfobjekts vorgegeben ist (bei handelsüblichen Trittschalldämmplatten liegt die Frequenz, bei der die dynamische Steifigkeit ermittelt wird, im allgemeinen unter 50 Hz). Holzbalkendecken weisen im Vergleich dazu zumeist deutlich höhere Resonanzfrequenzen auf. Da die dynamische Steifigkeit der meisten Trittschalldämmstoffe mit der Frequenz ansteigt, ist die Steifigkeit, die sich bei der Resonanzfrequenz von Holzbalkendecken ergibt, häufig deutlich höher als der nach DIN EN 29052-1 gemessene Wert, wobei der Unterschied teilweise mehr als 50 % betragen kann [61].

Dies hat zur Folge, dass die Berechnung der Resonanzfrequenz von Holzbalkendecken, die auf Grundlage der nach DIN EN 29052-1 gemessenen dynamischen Steifigkeit erfolgt, meist zu niedrige Werte liefert. Leider gibt es hierzu keine Alternative, da DIN EN 29052-1 das einzige genormte Messverfahren zur Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von Trittschalldämmstoffen darstellt. Die beschriebenen Fehler bei der Berechnung der Resonanzfrequenz lassen sich also nicht ohne weiteres vermeiden, da keine anderen Eingangsdaten für die Berechnung zur Verfügung stehen. Man sollte sich deshalb bewusst sein, dass die Berechnungsergebnisse lediglich orientierende Werte darstellen, die vielfach deutlich unter dem tatsächlichen Wert der Resonanzfrequenz liegen.

## 4.7 Verlustfaktor

Wie aus Gl. (10) zu ersehen ist, hängt die Trittschallminderung schwimmender Estriche in erheblichem Maße vom Verlustfaktor des schwingenden Systems ab. Der Verlustfaktor bildet deshalb einen wichtigen Ansatzpunkt, um die akustischen Eigenschaften schwimmender Estriche zu verbessern. Im folgenden werden die wichtigsten Grundlagen in kurzer Form beschrieben:

Bei der Ausbreitung von Schall in Festkörpern wird ein Teil der Schwingungsenergie durch innere Reibung in Wärme überführt, so dass eine Dämpfung der Schallwelle erfolgt. Der Verlustfaktor stellt ein Maß für die innere Dämpfung verschiedenartiger Materialien dar und bildet als solches einen zentralen Kennwert im Bereich der Bauakustik. Die allgemeine Definition des Verlustfaktors lautet:

$$\eta = \frac{W_v}{2\pi W_r}, \quad (16)$$

mit  $W_v$  = Verlustenergie je Schwingungsperiode,  
 $W_r$  = wiedergewinnbare (reversible) Schwingungsenergie.

Bei handelsüblichen Baustoffen bewegt sich der Verlustfaktor etwa im Bereich von  $0,01 \leq \eta \leq 0,5$ . Er hängt von der Frequenz ab, wobei die Frequenzabhängigkeit allerdings häufig nur verhältnismäßig schwach ausgeprägt ist und sich je nach Art des Materials sowohl in einem Anstieg als auch einer Abnahme des Verlustfaktors mit zunehmender Frequenz äußern kann. In der Literatur werden deshalb für die innere Dämpfung von Baustoffen zumeist nur frequenzunabhängige Mittelwerte angegeben.

Bei in Gebäuden eingebauten Bauelementen ist der Verlustfaktor zumeist Bestandteil einer Energiebilanzbetrachtung, wobei sich der Gesamtverlustfaktor in der Regel aus drei verschiedenen Anteilen zusammensetzt:

$$\eta = \eta_{\text{int}} + \eta_{\text{edge}} + \eta_{\text{rad}}, \quad (17)$$

mit  $\eta_{\text{int}}$  = Energieverluste durch innere Dämpfung (Dissipation),  
 $\eta_{\text{edge}}$  = Verluste durch Energieableitung an den Bauteilrändern,  
 $\eta_{\text{rad}}$  = Verluste durch Luftschallabstrahlung an der Bauteiloberfläche.

In der Praxis wird der Verlustfaktor zumeist von der inneren Dämpfung und der Energieableitung an den Bauteilrändern bestimmt, während die Luftschallabstrahlung in der Regel nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Um den Verlustfaktor von Bauelementen zu bestimmen, stehen verschiedene Messverfahren zu Verfügung. Bei plattenförmigen Bauteilen sind in der Bauakustik vor allem zwei Verfahren gebräuchlich, die nachfolgend kurz beschrieben werden:

Bei der Empfangsplatten-Methode nach DIN EN 15657-1 [62] wird das untersuchte Bauteil elastisch gelagert, damit an den Plattenrändern keine Schallenergie abfließen kann. Anschließend wird die Platte mit einer Körperschallquelle angeregt, wobei die

eingeleitete Schall-Leistung  $P$  bestimmt wird (dies kann z. B. durch Messung der eingeleiteten Kraft und der resultierenden Schnelle an der Anregungsstelle erfolgen). Aus der mittleren Schnelle auf der Plattenoberfläche lässt sich dann gemäß der nachfolgenden Beziehung der Verlustfaktor bestimmen:

$$\eta = \frac{P}{2\pi f m'' S \overline{v^2}}, \quad (18)$$

mit  $\overline{v^2}$  = quadratisch gemittelte Schnelle auf der Plattenoberfläche,  
 $P$  = in die Platte eingeleitete Körperschall-Leistung,  
 $S$  = Bauteilfläche,  
 $m''$  = flächenbezogene Masse des Bauteils.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Verlustfaktors besteht in der Messung der Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$ , aus der sich gemäß

$$\eta = \frac{2,2}{f T_s} \quad (19)$$

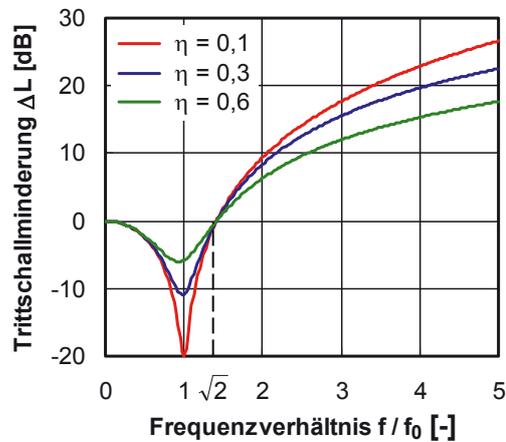
der Verlustfaktor berechnen lässt. Die Messung der Körperschall-Nachhallzeit von Bauteilen erfolgt analog zur Messung der Nachhallzeit in Räumen [63]. Dabei können verschiedene Messverfahren verwendet werden:

- Klassisches Verfahren mit abgeschaltetem Rauschen. Hierbei wird das Bauteil durch ein Rauschsignal angeregt und nach dem Ausschalten der Quelle die Abklingkurve des Schnellepegels auf der Bauteiloberfläche aufgezeichnet. Die Anregung kann entweder breitbandig, oder - beim Vorhandensein von Störsignalen - mit bandbegrenztem Rauschen erfolgen.
- Messung der Impulsantwort des Bauteils. Hierbei wird die Abklingkurve durch Rückwärtsintegration der quadrierten Impulsantwort bestimmt. Die Anregung kann entweder impulsförmig (z. B. durch einen Hammerschlag) oder durch Verwendung geeigneter stationärer Signale erfolgen. Neben der Verwendung von-MLS-Signalen (Maximum Length Sequence) können hierzu auch Sinus-Sweeps verwendet werden.

In dem durchgeführten Forschungsvorhaben wurde nach der Durchführung von Vorversuchen die Messung der Körperschall-Nachhallzeit als genauestes und am besten reproduzierbares Verfahren zur Bestimmung des Verlustfaktors ausgewählt. Die Körperschall-Anregung der untersuchten Bauteile erfolgte hierbei mit einem MLS-Signal.

Bei schwimmenden Estrichen ist zwischen dem Verlustfaktor der elastischen Lagerung, der von der inneren Dämpfung der Trittschall-Dämmplatte bestimmt wird und dem Verlustfaktor der Estrichplatte zu unterscheiden. Während sich bei der elastischen Lagerung gemäß Abb. 10 ein hoher Verlustfaktor akustisch durchaus auch negativ auswirken kann, hat eine hohe innere Dämpfung der Estrichplatte grundsätzlich einen positiven Effekt, da ein Teil der durch die Trittschallquelle eingeleiteten Schallenergie in Wärme umgewandelt wird und damit nicht mehr zur Schallübertragung in die Decke

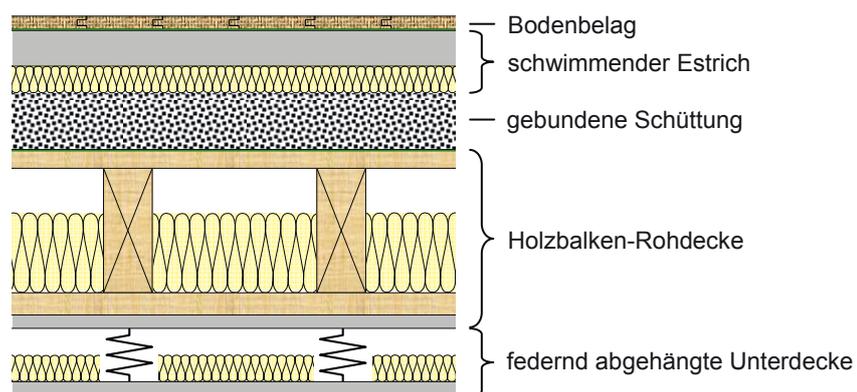
beiträgt. Die in dem Forschungsvorhaben in diesem Zusammenhang untersuchten akustischen Verbesserungsmaßnahmen konzentrierten sich deshalb vorwiegend auf die zusätzliche Bedämpfung der Estrichplatte.



**Abb. 10:** Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs in Abhängigkeit vom Verlustfaktor  $\eta$  der elastischen Lagerung. Die Berechnung der dargestellten Kurven erfolgte nach Gl. (10) (vereinfachtes Modell eines bedämpften Masse-Feder-Systems). Auf der Abszissenachse ist der Quotient aus der Frequenz und der Resonanzfrequenz der Lagerung aufgetragen. Eine Verminderung der Trittschallübertragung erfolgt nur bei Frequenzen mit  $f/f_0 > \sqrt{2}$ .

## 5 Versuchsaufbau und Messdurchführung

Da Holzbalkendecken zumeist eine akustisch komplizierte und zudem äußerst vielfältige Bauweise aufweisen, war es erforderlich, die durchgeführten Untersuchungen auf einige akustisch besonders wichtige Bauteile in Verbindung mit wenigen repräsentativen Rohdecken zu beschränken.



**Abb. 11:** Aufbau einer typischen Holzbalkendecke in "moderner" Bauweise. Im Gegensatz zu vielen Decken im Altbaubereich befindet sich die zur Beschwerung verwendete Schüttung nicht zwischen, sondern oberhalb der Balken.

Eine elastisch abgehängte Unterdecke ist in der Regel nur dann erforderlich, wenn erhöhte Anforderungen an den Trittschallschutz bestehen.

Wie weiter oben ausführlich erläutert, konzentrierten sich die durchgeführten Untersuchungen vor allem auf folgende Bauteile:

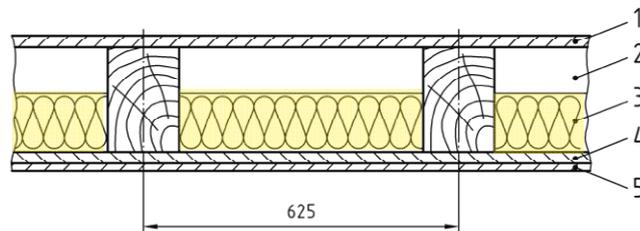
- Trockenestriche mit niedriger Bauhöhe für den Bereich der Altbausanierung,
- gebundene Schüttungen zur oberseitigen Beschwerung von Holzbalkendecken.

Die an den beiden genannten Bauteilen durchgeführten Messungen machten die Verwendung unterschiedlicher Versuchsaufbauten und Messverfahren erforderlich. Im folgenden werden die beiden verwendeten Aufbauten einzeln nacheinander beschrieben. Neben der jeweiligen Messanordnung sind außerdem die wichtigsten Angaben zur Herstellung der untersuchten Prüfmuster aufgeführt.

## 5.1 Untersuchungen an schwimmenden Estrichen

### 5.1.1 Messaufbau

Die Untersuchungen an schwimmenden Estrichen wurden an einer bauüblichen Holzbalken-Rohdecke durchgeführt, deren Aufbau in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist:

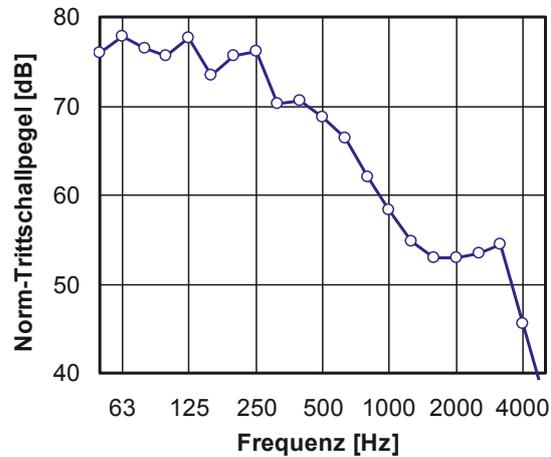


- 1 Spanplatten,  $d = 22 \text{ mm}$
- 2 Balken,  $B \times H = 120 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$ , Mittenabstand  $625 \text{ mm}$
- 3 Mineralwolle,  $d = 100 \text{ mm}$ , längenbezogener Strömungswiderstand  $r \geq 5 \text{ kPas/m}^2$
- 4 Lattung,  $B \times H = 48 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ , Mittenabstand  $625 \text{ mm}$
- 5 Gipskartonplatten,  $d = 12,5 \text{ mm}$

**Abb. 12:** Aufbau der für die Untersuchungen an schwimmenden Estrichen verwendeten Holzbalken-Rohdecke. Die Decke entspricht der leichten Bezugsdecke C1 zur Messung der Trittschallminderung von Deckenauflagen nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C. Der für die Decke gemessene Trittschallpegel ist in Abb. 13 dargestellt.

Die Rohdecke befand sich in einem bauakustischen Deckenprüfstand nach DIN EN ISO 10140-5 mit einer Einbaufäche von  $L \times B = 5,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m}$  (eine schematische Skizze des Prüfstands ist in Abb. 1 dargestellt, die Volumina von Sende- und Empfangsraum betragen etwa  $71 \text{ m}^3$  bzw.  $50 \text{ m}^3$ ). Die untersuchten Deckenauflagen (es handelte sich ausschließlich um schwimmende Estriche in unterschiedlicher Ausführung) wurden auf die Decke aufgelegt, wobei jeweils der Trittschallpegel mit und ohne Auflage gemessen

wurde. Die Trittschallanregung erfolgte mit dem Norm-Hammerwerk sowie in einigen Fällen zusätzlich mit dem modifizierten Hammerwerk und dem japanischen Gummiball. Aus den ermittelten Messdaten wurden anschließend die Trittschallminderung und die zugehörigen Einzulangaben bestimmt.



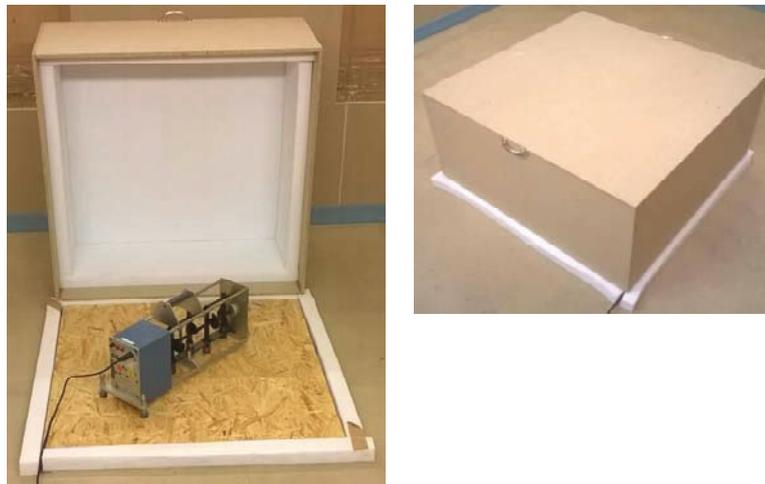
**Abb. 13:** Gemessener Norm-Trittschallpegel der für die Untersuchungen verwendeten Holzbalken-Rohdecke (der Aufbau der Decke ist in Abb. 12 dargestellt). Der bewertete Norm-Trittschallpegel beträgt  $L_{n,w} = 68,5$  dB.

Die Trittschallmessungen erfolgten in Anlehnung an DIN EN ISO 10140-3, wobei jedoch zur Verminderung des zur Herstellung der Versuchsaufbauten und zur Durchführung der Messungen erforderlichen Aufwandes einige Vereinfachungen vorgenommen wurden. Die wichtigste Vereinfachung bestand darin, dass für die untersuchten Estriche statt einer normgerechten vollflächigen Verlegung teilflächige Aufbauten mit einer Fläche von 1,0 m x 1,0 m verwendet wurden. Die hierzu durchgeführten Vorversuche (siehe unten) zeigten, dass die Verkleinerung der Estrichfläche die Messergebnisse im vorliegenden Fall nur geringfügig beeinflusst. Die bei den Untersuchungen verwendete Vorgehensweise unterschied sich von bauakustischen Standardmessungen nach DIN EN ISO 10140-3 vor allem in folgenden Punkten [64]:

- Statt vollflächig verlegten schwimmenden Estrichen wurden quadratische Estrich-Teilstücke mit einer Fläche von 1,0 m x 1,0 m untersucht. Die Teilstücke wurden an einer geeigneten durch Vorversuche ermittelten Stelle auf die Decke aufgelegt. Die Auflagestelle befand sich zentral über einem Deckenbalken, wobei das Estrich-Teilstück so ausgerichtet war, dass seine Kanten parallel zu den Balken verliefen.
- Im Gegensatz zu DIN EN ISO 10140-3, die eine Mittelung über mehrere Messpositionen auf der Decke vorsieht, wurden bei den Untersuchungen vereinfachend nur eine Position des Estrich-Teilstücks auf der Decke sowie eine Position des Hammerwerks auf dem Estrich-Teilstück betrachtet. Das Hammerwerk befand sich dabei im Zentrum der Estrichplatte und war in einem Winkel von 45° zu den Plattenkanten (und damit auch zu den Deckenbalken) ausgerichtet. Die beschriebene Aufstellung des Hammerwerks, die den Empfehlungen in DIN EN ISO 10140-3 entspricht, ist in Abb. 14 dargestellt. Da die Position des Estrich-Teilstücks und des

Hammerwerks bei allen Untersuchungen beibehalten wurden, ergab sich ein gute Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Messergebnisse.

- Durch die Verwendung teilflächiger Estriche wird in verstärktem Maße Luftschall vom Sende- in den Empfangsraum übertragen (hierauf wird später noch genauer eingegangen). Um zu verhindern, dass die Luftschallübertragung die durchgeführten Trittschallmessungen verfälscht, wurde eine Abdeckhaube gebaut, die den Messaufbau (d. h. Estrich und Hammerwerk) vollständig umschließt und die Luftschallabstrahlung in den Senderraum herabsetzt. Die Abdeckhaube bestand aus einem rechteckigen unten offenen Kasten aus 13 mm dicken Spanplatten mit den Innenmaßen  $L \times B \times H = 104 \text{ cm} \times 104 \text{ cm} \times 46 \text{ cm}$ , der über den Messaufbau gestellt wurde und ihn ohne Berührung vollständig umschloss. Um den Schallpegel im Kasten herabzusetzen, war die Innenseite im oberen Bereich mit 5 cm dicken Platten aus schallabsorbierendem Schaumstoff (Basotect Melaminharzschaum) ausgekleidet. Die Abdichtung zu Boden hin erfolgte über Schaumstoffstreifen (gleichfalls aus Basotect), die zugleich als elastische Entkopplung zwischen Haube und Decke dienten. Ein Foto der Abdeckhaube ist in Abb. 14 dargestellt.



- Abb. 14:** Versuchsaufbau für Trittschallmessungen an schwimmenden Estrichen mit dem untersuchten Estrich-Teilstück (Maße 1,0 m x 1,0 m) und dem Norm-Hammerwerk in Messposition. Die zur Verminderung der Luftschallabstrahlung verwendete Abdeckhaube steht hochgeklappt im Hintergrund (linkes Bild). Im rechten Bild ist die Abdeckhaube in heruntergeklapptem Zustand zu sehen. Sie umschließt den Estrich und das Hammerwerk vollständig, ohne diese jedoch zu berühren. Als Abdichtung und zugleich elastische Auflage dienen Streifen aus Melaminharzschaum (Basotect), die zwischen Haube und Rohdecke eingelegt werden. Bei den Messungen wird die Estrichplatte durch vier auf den Ecken aufliegende Steine (hier nicht dargestellt) beschwert.

- Wie sich bei den durchgeführten Messungen zeigte, begann das untersuchte Estrich-Teilstück bei Anregung mit dem japanischen Gummiball auf der Decke zu wandern. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, wurde die Estrichplatte mit vier Steinen mit einem Gewicht von je 6 kg, die auf die Ecken der Platte aufgelegt

wurden, beschwert. Die Steine waren jeweils mit einer elastischen Auflage (Trittschall-Dämmplatte Isover Akustic EP 3, Dicke 12 mm) unterlegt. Die Beschwerung entsprach den Vorgaben der DIN EN ISO 10140-3 und hatte den durchgeführten Untersuchungen zufolge keinen merklichen Einfluss auf die Messergebnisse. Sie wurde deshalb bei allen Messungen (also auch bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk und dem modifizierten Hammerwerk) beibehalten.

- Die Messungen zur Bestimmung der Trittschalldämmung erfolgten normalerweise im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz. Im Unterschied zu DIN EN ISO 10140-4, Anhang A, wo für Messungen unter 100 Hz eine erhöhte Anzahl von Messpositionen empfohlen wird, wurde der Schalldruckpegel im Empfangsraum jedoch lediglich an zwei repräsentativen Mikrofonpositionen erfasst und rechnerisch gemittelt. Für die Ergebnisse bei tiefen Frequenzen ist daher im vorliegenden Fall von einer erhöhten Messunsicherheit auszugehen. Die beiden verwendeten Mikrofonpositionen wurden für alle Untersuchungen beibehalten.

### 5.1.2 Untersuchte Konstruktionen

Die in dem Forschungsvorhaben untersuchten Deckenauflagen setzen sich aus unterschiedlichen Bestandteilen (Estrichplatte, Trittschall-Dämmplatte, etc.) zusammen, die als fertige Produkte eingekauft und zu unterschiedlichen Konstruktionen zusammengesetzt wurden. Der genaue Aufbau der verwendeten Estrichkonstruktionen ist im Abschnitt mit den Messergebnissen beschrieben. Die dort verwendeten Produktbezeichnung (es handelt sich zumeist um Abkürzungen des vollständigen Namens) und die wichtigsten technischen Daten der eingesetzten Produkte werden nachfolgend in kurzer Form erläutert.

#### Estrichplatten

Bei den Messungen wurden sowohl Trockenestriche als auch mineralische Estriche untersucht. Es kamen vier verschiedene Estrichplatten zum Einsatz, deren Eigenschaften in Tab. 2 beschrieben sind:

Kurzbezeichnung	Hersteller / Name	Beschreibung
12 mm OSB	---	OSB-Platte (oriented strand board), d = 12 mm, m'' = 8 kg/m <sup>2</sup>
24 mm OSB	---	OSB-Platte (oriented strand board), d = 24 mm, m'' = 15 kg/m <sup>2</sup>
Gipsfaser	Knauf Brio	Gipsfaserplatte, d = 18 mm, m'' = 23 kg/m <sup>2</sup>
Zement	---	Zementestrich, d = 43 mm, m'' = 92 kg/m <sup>2</sup>

**Tab. 2:** Bodenplatten der untersuchten schwimmenden Estriche. Neben Hersteller und Produktbezeichnung (soweit bekannt) sowie Material, Plattendicke d und flächenbezogener Masse m'' ist in der ersten Tabellenspalte außerdem die im folgenden verwendete Kurzbezeichnung aufgeführt.

### Trittschall-Dämmplatten

Als trittschalldämmende Auflage unterhalb der Estrichplatte wurden in dem Forschungsvorhaben folgende Produkte eingesetzt:

Kurzbezeichnung	Hersteller / Name	Beschreibung
EP 3	Isover, Akustic EP 3	Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle, d = 12 mm, s' = 38 MN/m <sup>3</sup>
EP 1	Isover, Akustic EP 1	Trittschall-Dämmplatte aus Glaswolle, d = 25 mm, s' = 9 MN/m <sup>3</sup>
EPS	Isover, EPS-Dämmplatte DES	Trittschall-Dämmplatte aus Polystyrol, d = 15 mm, s' = 27 MN/m <sup>3</sup>
SR 11	Getzner, Sylomer SR 11 (gelb)	gemischtzelliges Polyurethan, d = 12,5 mm, s' = 11 MN/m <sup>3</sup>
SR 28	Getzner, Sylomer SR 28 (blau)	gemischtzelliges Polyurethan, d = 12,5 mm, s' = 27 MN/m <sup>3</sup>
SR 55	Getzner, Sylomer SR 55 (grün)	gemischtzelliges Polyurethan, d = 12,5 mm, s' = 48 MN/m <sup>3</sup>

**Tab. 3:** Für die Untersuchungen verwendete Trittschall-Dämmplatten. Die angegebene dynamische Steifigkeit s' wurde durch eigene Messungen nach DIN EN 29052-1 ermittelt.

### Dämpfungsbeläge

Zur Verbesserung der Trittschalldämmung wurde die Estrichplatte bei einigen Aufbauten zusätzlich mit Dämpfungsbelägen versehen. Dabei wurden folgende Produkte verwendet, die sich in vorangehenden Untersuchungen als geeignet erwiesen hatten [49]:

Kurzbezeichnung	Hersteller / Name	Beschreibung
X3S	Steinbach AG, X3S	bitumenfreie Schwerfolie, d = 2 mm, m'' = 4,8 kg/m <sup>2</sup> , η = 0,14
BS 100	Steinbach AG, Sonit BS 100	Bitumenfolie, d = 5,6 mm, m'' = 10 kg/m <sup>2</sup> , η = 0,32
BF55	Plastocell GmbH, Plastodem BF55	Bitumenfolie, d = 5,6 mm, m'' = 10 kg/m <sup>2</sup> , η = 0,45
---	Willbrandt KG, Entdröhnfolie	Kunststoff-Entdröhnfolie, d = 3,0 mm, m'' = 5,0 kg/m <sup>2</sup> , η = 0,10

**Tab. 4:** Technische Daten der eingesetzten Dämpfungsbeläge. Bei den aufgeführten Verlustfaktoren η handelt es sich um Herstellerangaben, die sich auf Messungen nach DIN EN ISO 6721-3 [65] in Verbindung mit 1 mm dickem Stahlblech beziehen.

Alle oben aufgeführten Beläge waren einseitig selbstklebend ausgeführt, so dass sie direkt auf die Unterseite der Estrichplatte aufgeklebt werden konnten. Neben der einseitigen Anbringung des Dämpfungsbelags wurde in dem Forschungsvorhaben außerdem die Bauweise des "eingezwängten Belags" verwendet, bei der der Estrich aus zwei aufeinanderliegenden Platten besteht und der Dämpfungsbelag mittig zwischen den beiden Platten angeordnet ist. Diese Bauweise ist akustisch besonders wirksam, wobei allerdings eine vollflächige kraftschlüssige Verbindung zwischen dem Belag und den umgebenden Platten bestehen muss. Um diese Verbindung zu gewährleisten, wurden die in dem Forschungsvorhaben verwendeten OSB-Platten mittels Zylinderschrauben und Einschlagmuttern miteinander verschraubt. Die Schrauben waren in jeweils 20 cm Abstand auf einem quadratischen Raster angeordnet, wodurch eine gleichmäßige und reproduzierbare Pressung des eingezwängten Belags erzielt wird (siehe Abb. 15).



**Abb. 15:** Verschraubung von zwei OSB-Platten mittels Zylinderschrauben und Einschlagmuttern zur Herstellung der für eingezwängte Dämpfungsbeläge erforderlichen mechanischen Randbedingungen (vollflächige kraftschlüssige Verbindung zwischen dem Belag und der ober- und unterseitigen Platte).

### 5.1.3 Voruntersuchungen

Vor dem Beginn des eigentlichen Forschungsvorhabens mussten zunächst zur Vorbereitung eine Reihe von Voruntersuchungen durchgeführt werden. Dies betraf zum einen die Auswahl der in dem Vorhaben näher untersuchten akustischen Verbesserungsmaßnahmen (wegen der Vielzahl möglicher Maßnahmen mussten sich die Untersuchungen zwangsläufig auf die erfolgversprechendsten Konstruktionen beschränken). Zum anderen wurden die meisten der erforderlichen Messungen aus Zeit- und Kostengründen unter vereinfachten experimentellen Bedingungen durchgeführt. Auch hier waren zunächst Voruntersuchungen erforderlich, um sicherzustellen, dass die Vereinfachungen die Aussagefähigkeit der Messergebnisse nicht beeinträchtigen. Die wichtigsten Voruntersuchungen sind nachfolgend in kurzer Form beschrieben.

#### **Maßnahmen zur Verbesserung der Trittschalldämmung**

Ziel der hierzu durchgeführten Vorversuche war es, mögliche akustische Verbesserungsmaßnahmen für Holzbalkendecken miteinander zu vergleichen und zu bewerten, um auf diese Weise die erfolgversprechendsten Maßnahmen für die weitere Optimierung auszuwählen. Die Bewertung der Maßnahmen erfolgte durch orientierende Messungen an einem vereinfachten, kleinflächigen Versuchsaufbau. Wegen der vereinfach-

ten Messdurchführung (mit nur einer Position von Hammerwerk und Mikrofon und ohne Berücksichtigung von Störgeräuschen und Luftschallübertragung) stellten die Messergebnisse zwar lediglich Näherungswerte dar, waren aber für einen Vergleich der verschiedenen Maßnahmen ausreichend. Es wurden folgende Maßnahmen untersucht:

- verschiedene Arten der Beschwerung (ein- und mehrlagig, mit unterschiedlicher Verteilung der Masse oberhalb, innerhalb und unterhalb der Deckenauflage),
- mechanische Schwingungstilger (sogenannte "akustische Blutegel"),
- Sandschüttungen,
- teilflächige elastische Lagerungen,
- Erhöhung des Verlustfaktors der Estrichplatte durch den Einsatz von Körperschalldämpfenden Belägen.

Auf eine Darstellung der gemessenen Werte wird an dieser Stelle verzichtet. Die Ergebnisse der Voruntersuchungen waren jedoch eindeutig: als am weitaus wirkungsvollsten und auch von der praktischen Umsetzbarkeit her am besten geeignet erwiesen sich wie schon oben erwähnt die beiden letztgenannten Maßnahmen (teilflächige elastische Lagerungen sowie Körperschalldämpfende Beläge), die daher in dem Forschungsvorhaben weiter verfolgt und genauer untersucht wurden.

### **Versuchsaufbau und Messdurchführung**

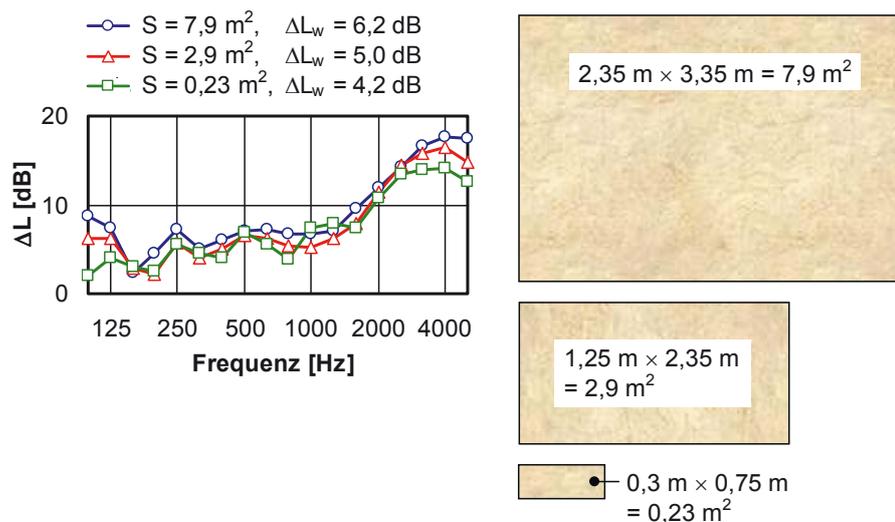
Durch den vereinfachten Versuchsaufbau und die verminderte Anzahl von Mess- und Anregepositionen konnte der für die Untersuchungen erforderliche experimentelle Aufwand erheblich reduziert werden. Anders wäre die Durchführung des Forschungsvorhabens in der vorgesehenen Form auch gar nicht möglich gewesen. Andererseits musste natürlich sichergestellt werden, dass die durchgeführten experimentellen Vereinfachungen keine unzulässigen Beeinträchtigungen der Messergebnisse mit sich brachten. Um dies zu überprüfen, wurden Voruntersuchungen durchgeführt, die sich vor allem auf den akustischen Einfluss der folgenden Parameter bezogen:

- teilflächiger Versuchsaufbau (Verwendung eines Estrich-Teilstücks statt vollflächiger Verlegung des schwimmenden Estrichs),
- Position des Estrich-Teilstücks auf der Holzbalken-Rohdecke,
- Position des Norm-Hammerwerks auf dem Estrich-Teilstück,
- verminderte Anzahl von Hammerwerks- und Mikrofonpositionen gegenüber den Vorgaben in DIN EN ISO 10140-4,
- Einfluss der Luftschallnebenwege auf das Messergebnis,
- Beschwerung des Estrich-Teilstücks durch Zusatzmassen,
- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der mit dem vereinfachten Versuchsaufbau ermittelten Messergebnisse.

Da sich die verminderte Anzahl von Hammerwerks- und Mikrofonpositionen als akustisch unkritisch erwies (trotz der Vereinfachungen ergaben sich genaue und gut reproduzierbare Ergebnisse) und die Beschwerung der Estrichplatte keinen merklichen Einfluss auf die Messwerte hatte, wird im folgenden lediglich auf die drei kritischsten Punkte aus der obigen Liste eingegangen:

### Einfluss der Estrichfläche

Gemäß DIN EN ISO 10140-1, Anhang H ist zur Bestimmung der Trittschallminderung von schwimmenden Estrichen eigentlich eine vollflächige Verlegung des Estrichs auf der Decke erforderlich. Da dies wegen des großen Herstellungsaufwandes im vorliegenden Fall nicht möglich war, wurden die Messungen stattdessen an einem Estrich-Teilstück mit den Maßen 1,0 m x 1,0 m durchgeführt. Hierzu wurden zunächst Vorversuche mit unterschiedlichen Abmessungen des Estrich-Teilstücks durchgeführt. Wie die in Abb. 16 dargestellten Ergebnisse belegen, ist der Einfluss der Estrichfläche auf die Trittschallminderung nur vergleichsweise gering und zwar selbst dann, wenn die Fläche weniger als 1 m<sup>2</sup> beträgt. Da es bei den Untersuchungen außerdem weniger auf den absoluten Betrag der Trittschallminderung als vielmehr auf den Unterschied zwischen verschiedenen Estrichkonstruktionen ankommt, ist die Verwendung teilflächiger Versuchsaufbauten im Hinblick auf die Aussagefähigkeit der Messergebnisse daher als akustisch unkritisch einzustufen.

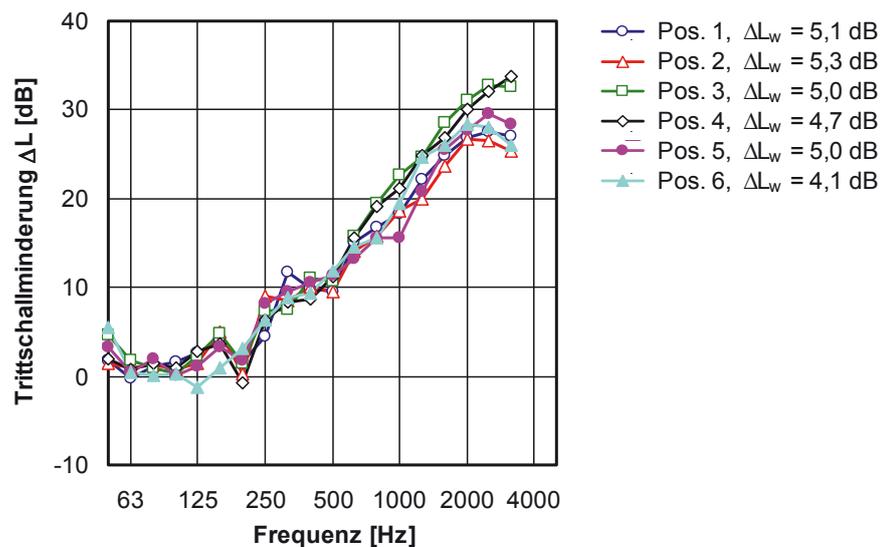


**Abb. 16:** Einfluss der Probenfläche auf die Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs. Die für die Untersuchungen verwendeten Estrich-Teilstücke sind rechts im Bild dargestellt (ohne Maßstab aber im richtigen Größenverhältnis). Das kleinste Teilstück (Fläche 0,23 m<sup>2</sup>) bot gerade noch ausreichend Platz für das Norm-Hammerwerk. Der Estrich bestand aus OSB-Platten ( $d = 22$  mm,  $m' = 13,5$  kg/m<sup>2</sup>), die auf einem 3 mm dicken Dämmbelag aus PE-Schaum ( $s' \cong 120$  MN/m<sup>3</sup>) auflagen. Für alle weiteren Untersuchungen wurde ein Estrich-Teilstück mit den Abmessungen 1,0 m x 1,0 m verwendet.

## Position des Estrichs auf der Decke

Bei Untersuchungen an teilflächigen Deckenauflagen hängt das Messergebnis nicht nur von der Auflage selbst, sondern bis zu einem gewissen Grad auch von der Position des Versuchsmusters auf der Decke ab. Dies gilt insbesondere für Holzbalkendecken, da hier wegen des inhomogenen Aufbaus abhängig von der Anregeposition (z. B. über einem Balken oder im Feld zwischen zwei Balken) eine ortsabhängige Empfindlichkeit gegenüber Trittschallanregung vorhanden ist. Um den Einfluss der Messposition auf die Trittschallminderung zu überprüfen, wurde eines der untersuchten Estrich-Teilstücke schrittweise auf der Rohdecke verschoben und für jede Position die Trittschalldämmung mit und ohne Estrich bestimmt.

Wie sich aus den Abb. 17 dargestellten Messergebnissen entnehmen lässt, ist der Einfluss der Messposition auf die ermittelte Trittschallminderung im vorliegenden Fall nur verhältnismäßig gering. Es spielt daher eine eher untergeordnete Rolle, an welcher Stelle der Decke die Messung erfolgt. Wichtig ist vor vielmehr vor allem, dass alle Messungen am gleichen Ort stattfinden, damit eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist. Für die weiteren Untersuchungen wurde als Messposition deshalb eine Stelle direkt über einem Deckenbalken (Pos. 6 in Abb. 17) ausgewählt. Diese Stelle repräsentiert zwar nicht den Mittelwert der Messergebnisse, entspricht jedoch den entsprechenden Vorgaben in DIN EN ISO 10140-1, Anhang H.



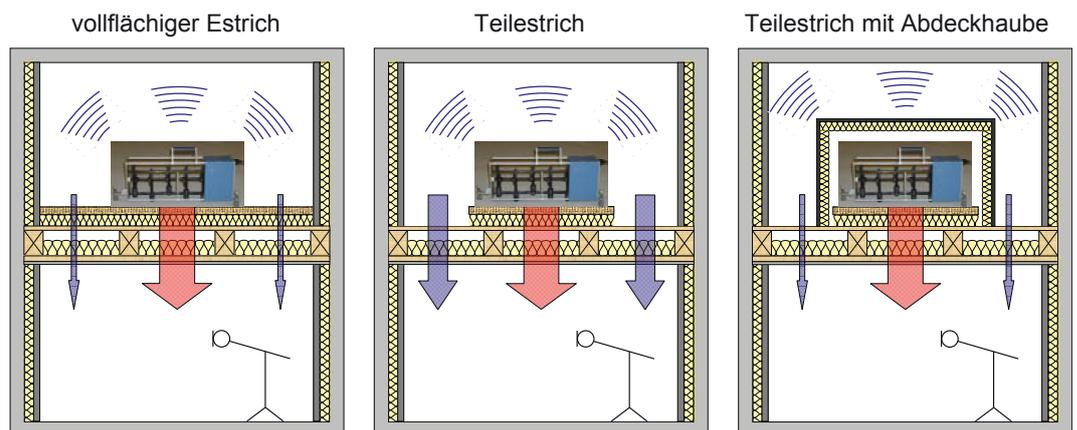
**Abb. 17:** Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs (24 mm OSB-Platte auf 12 mm Trittschall-Dämmplatte Isover Akustic EP 3) für verschiedene Positionen des untersuchten Estrich-Teilstücks (Fläche 1,0 m x 1,0 m) auf der Rohdecke. Die Positionen 1 bis 5 lagen zwischen bzw. teilweise auf den Deckenbalken. Bei Position 6 befand sich das Estrich-Teilstück mittig über einem Balken. Die an den verschiedenen Positionen gemessenen Werte unterscheiden sich nur verhältnismäßig wenig. Um den in DIN EN ISO 10140-1 enthaltenen Vorgaben zu genügen, wurden alle weiteren Messungen ausschließlich an Position 6 durchgeführt.

## Luftschall-Nebenwege

Bei Messungen mit dem Norm-Hammerwerk erfolgt nicht nur eine Trittschallanregung der Decke, im Raum oberhalb der Decke wird zugleich ein hoher Luftschallpegel erzeugt. Ein Teil dieses Luftschalls wird über die Decke in den Empfangsraum übertragen und überlagert sich dem von der Decke abgestrahlten Trittschall, was zu einer entsprechenden Anhebung des gemessenen Schallpegels führt. Da der Luftschallanteil keinen Bestandteil des Mess-Signals darstellt, ist er gemäß DIN EN ISO 10140-3 aus der Messung zu entfernen (dies ist immer dann erforderlich, wenn sich Trittschall- und Luftschallpegel um weniger als 10 dB unterscheiden). Die Entfernung des Luftschallanteils erfolgt in der Regel durch eine rechnerische Korrektur, deren Durchführung in Abschnitt 4.1, Gl. (2) beschrieben ist.

Die erwähnte Korrektur ist allerdings nur dann anwendbar, wenn die Differenz zwischen dem Trittschall- und dem Luftschallanteil des Mess-Signals mehr als 3 dB beträgt. Trifft dies nicht zu, kann das Mess-Signal nicht korrigiert und die Trittschalldämmung nicht fehlerfrei gemessen werden. Da die rechnerische Korrektur in jedem Fall eine Verminderung der Messgenauigkeit zur Folge hat, ist es aber zumeist besser, durch bauliche und technische Maßnahmen - sofern möglich - einen ausreichenden Abstand von mindestens 10 dB zwischen Trittschall- und Luftschallanteil sicherzustellen.

Bei Decken mit vollflächig verlegtem schwimmenden Estrich stellt die Einhaltung der beschriebenen Anforderungen in der Regel kein Problem dar, da sich der Estrich wie eine akustische Vorsatzschale verhält, die den Luftschall von der Decke fernhält. Anders verhält sich jedoch bei den hier durchgeführten Messungen an Estrich-Teilstücken, bei denen der weitaus größte Teil der Deckenfläche ungeschützt der Einwirkung von Luftschall ausgesetzt ist. Hierdurch ergibt sich eine stark erhöhte Luftschallübertragung, die die durchgeführten Trittschallmessungen erheblich stören kann. Die entsprechende Situation ist in Abb. 18 schematisch dargestellt.

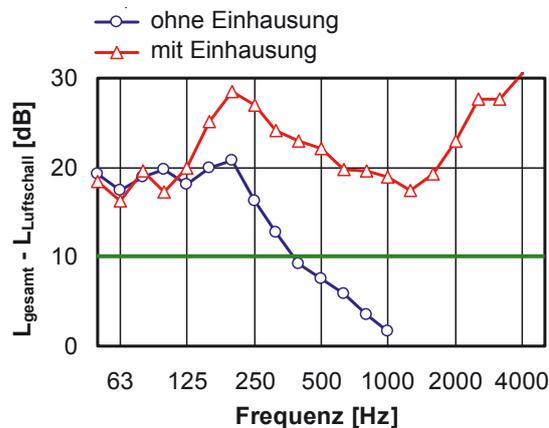


**Abb. 18:** Luft- und Trittschallanteil des Mess-Signals bei Trittschallmessungen in einem bauakustischen Deckenprüfstand. Bei Messungen an teillächigen Deckenauflagen ist eine stark erhöhte Luftschallübertragung durch die Decke in den Empfangsraum zu verzeichnen, die die Messergebnisse erheblich verfälschen kann (mittleres Bild). Um dies zu vermeiden, wurde das Hammerwerk mit der in Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Abdeckhaube versehen, die

den Luftschallpegel im Raum oberhalb der Decke erheblich absenkt (rechts im Bild schematisch dargestellt).

Um die Luftschallübertragung in den Senderraum zu vermindern, wurde das Hammerwerk bei den Messungen daher mit einer Haube aus Spanplatten abgedeckt. Durch die Haube, deren Aufbau in Abschnitt 5.1.1 beschrieben und in Abb. 14 dargestellt ist, wurde die Luftschallabstrahlung in den Senderraum erheblich herabgesetzt und so der Einfluss der Luftschallübertragung auf des Messergebnis reduziert.

Die akustische Wirkung der Abdeckhaube ist in Abb. 19 am Beispiel eines bauüblichen Trockenestrichs dokumentiert. Aus den in der Abbildung dargestellten Ergebnissen, die Trittschallmessungen mit und ohne Haube zeigen, ist zu entnehmen, dass ohne Haube ab etwa 400 Hz mit einer Verminderung der Messgenauigkeit infolge Luftschallübertragung zu rechnen ist. Oberhalb von etwa 1000 Hz sind zuverlässige Messungen der Trittschalldämmung gar nicht mehr möglich. Durch die Abdeckhaube wird der vom Norm-Hammerwerk erzeugte Luftschallpegel demgegenüber so stark abgeschwächt, dass im gesamten betrachteten Frequenzbereich störungsfreie Messungen möglich sind und rechnerische Korrekturen entfallen können. Bei Anregung der Decke mit dem modifizierten Hammerwerk oder dem japanischen Gummiball ist der Einsatz der Abdeckhaube im übrigen nicht erforderlich, da diese Quellen im Verhältnis zur Trittschallanregung erheblich weniger Luftschall erzeugen, als dies beim Norm-Hammerwerk der Fall ist.



**Abb. 19:** Differenz zwischen dem gemessenen Gesamtpegel (Summe aus Trittschall- und Luftschallanteil) und dem durch das Norm-Hammerwerk im Empfangsraum hervorgerufenen Luftschallpegel in Abhängigkeit von der Frequenz. Die blaue Kurve wurde ohne Abdeckhaube gemessen, bei der roten Kurve war das Hammerwerk mit der oben beschriebenen Haube eingehaust. Die Messungen erfolgten an einem bauüblichen Trockenestrich.

Durch Einsatz der Abdeckhaube sind demnach normalerweise im gesamten betrachteten Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz Trittschallmessungen ohne Beeinträchtigung durch Luftschallübertragung möglich. Bei Estrichen mit hoher Trittschalldämmung ist das Mess-Signal allerdings teilweise so gering, dass es unter dem im Empfangsraum vorhandenen Fremdgeräuschpegel liegt, so dass selbst eine rechnerische Fremdgeräusch-

räuschkorrektur gemäß Abschnitt 4.1, Gl. (3) nicht zum Erfolg führt. In diesem Fall sind die gemessenen Werte unbrauchbar oder allenfalls als Maximalabschätzung für den Trittschallpegel verwendbar. Dies trifft vor allem für hohe Frequenzen oberhalb von etwa 2000 Hz zu, weshalb in den nachfolgend gezeigten Messkurven in diesem Frequenzbereich teilweise keine Werte angegeben sind.

## 5.2 Untersuchungen an gebundenen Schüttungen

### 5.2.1 Messaufbau

Ähnlich wie bei den Messungen an schwimmenden Estrichen mussten auch die Untersuchungen an gebundenen Schüttungen - schon allein zur Verminderung der erforderlichen Menge an Schüttgut - an teilflächigen Aufbauten durchgeführt werden. Allerdings war es hier nicht möglich, die untersuchten Aufbauten auf eine vollflächige Holzbalken-Rohdecke aufzulegen, da die Schüttungen in erster Linie als Beschwerung der Decke wirken und sich teilflächige Beschwerungen akustisch anders als vollflächige Systeme verhalten. Daher wurde mit Unterstützung der Industriepartner eine Messkammer hergestellt, die - etwas vereinfacht gesprochen - einen verkleinerten Deckenprüfstand unter Verzicht auf einen eigenen Senderaum darstellte.

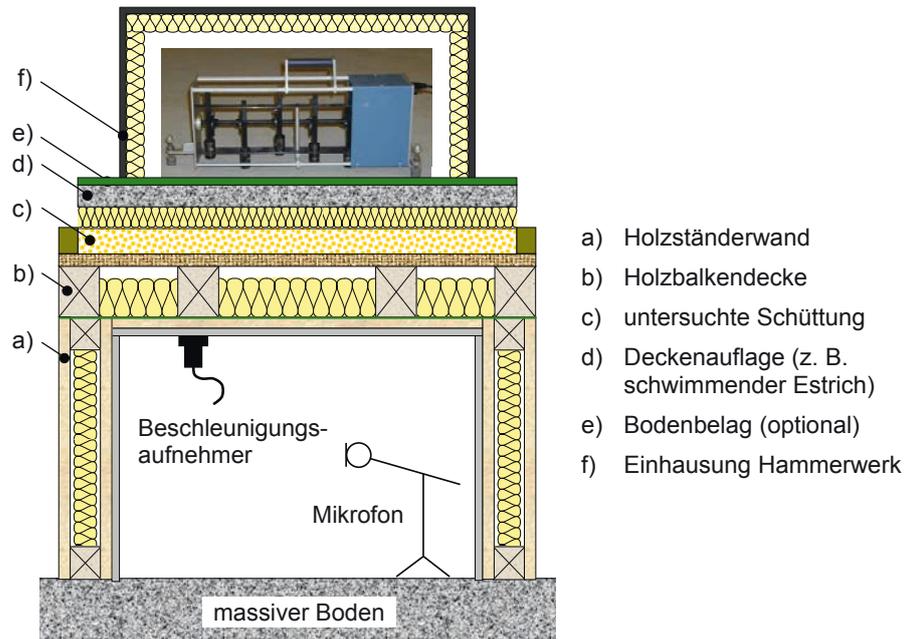
Da Schüttungen die akustischen Eigenschaften von Deckenkonstruktionen in vielfältiger Weise beeinflussen, wurde zur akustischen Optimierung der Systeme ein möglichst praxisnaher Aufbau gewählt. Er umfasste einen Ausschnitt aus einem Fertighaus in Holzbauweise, wobei alle Bauteile des Messaufbaus genau den Originalen entsprachen und nur die Größe des Empfangsraums (im folgenden als Messkammer bezeichnet) auf etwa  $1,1 \text{ m}^3$  reduziert wurde. Für die durchgeführten Untersuchungen, bei denen unterschiedliche Arten von Schüttungen unter ansonsten gleichen Randbedingungen miteinander verglichen wurden, hatte das reduzierte Raumvolumen keine wesentlichen Nachteile. Es verringerte den Aufwand für die Herstellung der Versuchsmuster jedoch in erheblichem Maße, was die Untersuchungen in dem geplanten Umfang überhaupt erst ermöglichte.

Der verwendete Versuchsaufbau ist in Abb. 20 schematisch dargestellt. Das Prinzip des Aufbaus und die Messdurchführung sind im folgenden kurz beschrieben [66]:

- Der Messaufbau bestand aus einer oben offenen, rechteckigen Kammer mit den Außenmaßen  $L \times B \times H \cong 1,50 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,85 \text{ m}$ . Die vier Wände waren als tragfähige Holzständerkonstruktion ausgeführt. Sie bestanden aus Holzbalken mit einem Querschnitt von  $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ , die beidseitig mit  $16 \text{ mm}$  dicken OSB-Platten sowie innenseitig zusätzlich mit einer  $9 \text{ mm}$  dicken GKB-Platte beplankt waren. Der Wandhohlraum war vollständig mit Mineralwolle (längenbezogener Strömungswiderstand  $r \geq 5 \text{ kPas/m}^2$ ) gefüllt. Der Innenraum der Messkammer hatte ein Volumen von ca.  $1,1 \text{ m}^3$ . Die Kammer wurde lose auf eine Betondecke aufgestellt, wobei die Wände mit Schaumstoffstreifen unterlegt wurden, welche sowohl zur Abdichtung der Kammer als auch zur elastischen Entkopplung der Kammer von der Decke dienten.

- Auf die Kammer wurde von oben die für die Untersuchungen verwendete Holzbalken-Rohdecke aufgelegt. Es handelte sich um eine typische Deckenkonstruktion, wie sie z. B. im Fertighausbau zum Einsatz kommt. Die Verbindung zwischen der Decke und der Wand erfolgt in praxisüblicher Weise mit Schrauben, so dass sich für die Randeinspannung der Decke und die Energieableitung an den Bauteilrändern ähnliche Verhältnisse wie in der Praxis ergaben. Alle seitlichen Öffnungen des Messaufbaus und der Rohdecke wurden verschlossen.
- Die Holzbalken-Rohdecke wies analog zur Situation am Bau einen Achsabstand der Balken von 62,5 cm auf. Sie bestand aus drei Feldern, wobei das mittlere Feld in voller Breite und die beiden äußeren Felder jeweils in halber Breite (d. h. ca. 31,2 cm) ausgeführt waren. Dadurch ergaben sich für das mittlere Feld ähnliche akustische Randbedingungen wie bei einer realen großflächigen Decke. Die Trittschallanregung erfolgte ausschließlich auf dem mittleren Feld.
- Die untersuchte Schüttung wurde auf die Oberseite der Holzbalken-Rohdecke aufgebracht. Dies erfolgt mit einer abnehmbaren Schalung, die sowohl zur Einstellung der Schütthöhe als auch (durch Abziehen mit einem Richtscheit) zum Nivellieren der Schüttung vor dem Aushärtvorgang diente. Damit sich die Schüttung nach der Messung wieder von der Decke lösen ließ, wurde sie mit einer dünnen Folie unterlegt. Die Schüttung wies mit 1,0 m x 1,0 m eine etwas kleinere Fläche als die Rohdecke auf und befand sich mittig über dem Zentrum der Decke.
- Bei gebundenen Schüttungen kann die Trittschallanregung im Prinzip direkt auf dem ausgehärteten Schüttgut erfolgen. Sinnvoller ist es aber, die akustische Wirkung praxisgerecht in Verbindung mit unterschiedlichen Deckenauflagen zu prüfen. Als Deckenauflagen wurden drei verschiedene schwimmende Estriche (sowohl in mineralischer als auch in Trockenbauweise) verwendet, auf die teilweise außerdem noch ein Laminat- oder ein Teppichboden gelegt wurde.
- Die Trittschallanregung erfolgt mit einem Norm-Hammerwerk nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang E. Auf den Einsatz des modifizierten Hammerwerks und des japanischen Gummiballs wurde im vorliegenden Fall verzichtet, da sich hierbei Probleme mit den vorhandenen Fremdgeräuschen sowie dem geringen Volumen der Messkammer ergaben. Um die akustische Verbesserungswirkung der untersuchten Konstruktionen im Hinblick auf den Höreindruck unter realen Anregungsbedingungen (Anregung durch menschliche Geher) zu kennzeichnen, wurde stattdessen auf Spektrum-Anpassungswerte nach DIN EN ISO 717-2 zurückgegriffen.
- Bei den durchgeführten Messungen kommt es weniger auf den genauen Wert des Norm-Trittschallpegels, als vielmehr auf die mit der Schüttung erzielte Trittschallminderung im Vergleich zu einem Referenzaufbau an (als Referenz wurde im vorliegenden Fall eine lose, nicht gebundene Schüttung herangezogen). Deshalb wurden die erforderlichen Trittschallmessungen unter vereinfachten Bedingungen (mit nur einer Position des Hammerwerks auf der Deckenauflage und nur einer Position des Mikrofons in der Messkammer) durchgeführt. Zur Verminderung des vom Norm-Hammerwerk in den Aufstellungsraum abgestrahlten Luftschalls, wurde die bereits in Abschnitt 5.1.1 beschriebene Abdeckhaube eingesetzt. Analog zu den an schwimmenden Estrichen durchgeführten Messungen gelang es mit Hilfe der

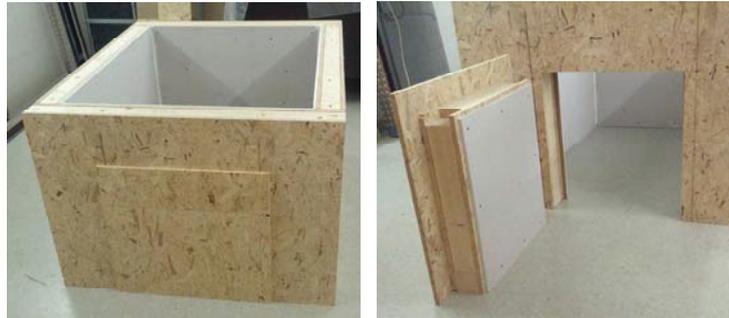
Haube auch hier, die Beeinträchtigung der Messergebnisse durch unerwünschte Luftschallübertragung wirksam zu unterbinden.



**Abb. 20:** Messaufbau zur Untersuchung der akustischen Wirkung von gebundenen Schüttungen. Abgesehen vom reduzierten Volumen der Messkammer entsprechen alle verwendeten Bauteile (Decke und Wände) den im Holz-Fertighausbau eingesetzten Originalen. Die Außenmaße der Aufbau einschließlich der Holzbalken-Rohdecke betragen  $L \times B \times H = 1,50 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 1,15 \text{ m}$ . Die untersuchten Schüttungen nahmen eine Fläche von  $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$  über dem Zentrum der Decke ein. Der Innenraum der Messkammer, der über eine sorgfältig abgedichtete Öffnung zugänglich war, hatte ein Volumen von etwa  $1,1 \text{ m}^3$ .

Die für den Messaufbau benötigten Bauteile wurden von einem der beteiligten Industriepartner (der WeberHaus GmbH) im Werk hergestellt, mit einer Spedition zum IBP transportiert und dort in einem geeigneten Aufstellungsraum zusammengebaut. Der fertige Messaufbau ist in Abb. 21 (Messkammer ohne Holzbalken-Rohdecke) und Abb. 22 (Messkammer mit aufgeschraubter Holzbalkenrohdecke) dargestellt. Um Arbeiten innerhalb der Messkammer (wie z. B. das Einbringen von Mikrofonen und Körperschallsensoren) zu ermöglichen, war in einer der Wände eine Zugangsöffnung eingebaut, die sich mit einem geeigneten Deckel akustisch dicht verschließen ließ. Die Herstellung der untersuchten Schüttungen erfolgte mittels einer auf die Rohdecke aufgesetzten, zweiteiligen, höhenverstellbaren Schalung. Das vorab mit dem Bindemittel vermischte, aber noch nicht ausgehärtete Schüttgut wurde in der erforderlichen Menge in die in Abb. 21 dargestellte Schalung eingefüllt und durch Abziehen mit einem Richtscheit nivelliert. Nach dem Aushärten des Bindemittels und dem Entfernen der Schalung blieb das Schüttgut als - mehr oder weniger - feste Platte auf der Oberfläche der Decke zurück, so dass eine geeignete Auflagefläche für die verwendeten schwimmenden Estri-

che vorhanden war (Die Estriche wiesen mit 1,0 m x 1,0 m die gleichen seitlichen Abmessungen wie die Schüttung auf).



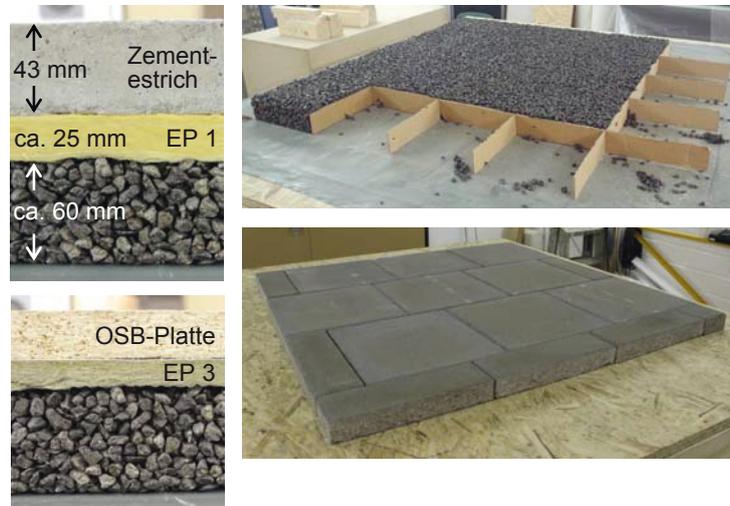
**Abb. 21:** Messkammer zur Untersuchung der akustischen Wirkung von gebundenen Schüttungen (Holzbalkendecke abgenommen). Auf der rechten Seite des Bildes ist die verschließbare Zugangsöffnung ("Mannloch") in einer der Seitenwände der Messkammer zu sehen.



**Abb. 22:** Aufbau aus Abb. 21 mit aufgesetzter Holzbalken-Rohdecke in messbarem Zustand mit untersuchter Deckenauflage, Norm-Hammerwerk und Abdeckhaube im Aufstellungsraum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (Schüttung, schwimmender Estrich und Hammerwerk sind unter der Haube verborgen und daher im Bild nicht sichtbar). Auf der rechten Seite der Abbildung ist die Herstellung der gebundenen Schüttungen veranschaulicht (von oben nach unten: Leere Schalung auf Folie, mit Schüttgut gefüllte Schalung, ausgehärtete Schüttung nach Entfernen der Schalung).

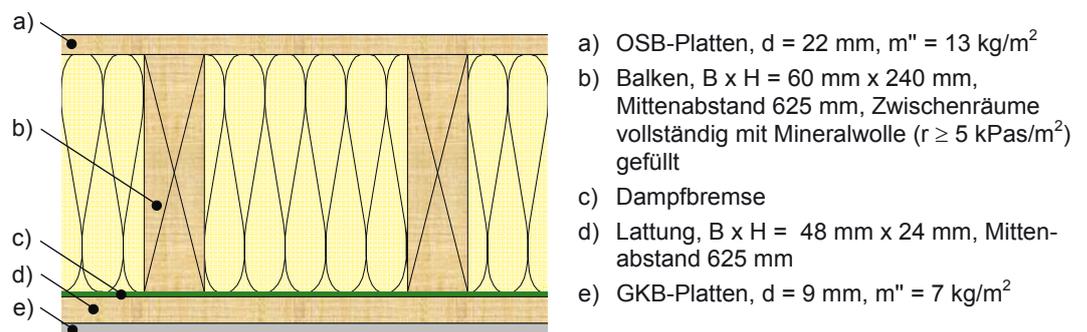
Um möglichst praxisnahe Untersuchungsbedingungen zu gewährleisten, wurde auf die gebundene Schüttung immer ein schwimmender Estrich aufgelegt, auf dem sich bei einigen Messungen zusätzlich noch ein Bodenbelag (Laminat oder Teppichboden) befand. Da die Schüttung den eigentlichen Kern der Untersuchungen bildete, wurden zahlreiche unterschiedliche Varianten hergestellt, die sich z. B. in der Art des Schüttguts, des Bindemittels sowie diverser in das Schüttgut eingelegter Matten voneinander unterschieden. Die Gesamtmasse der Schüttung wurde hierbei jedoch immer konstant

gehalten und lag bei allen Messungen einheitlich bei ca.  $90 \pm 2$  kg (kleinere Masseunterschiede im angegebenen Rahmen waren aufgrund des Herstellungsverfahrens nicht zu vermeiden, hatten aber kaum akustischen Einfluss). Einige Beispiele für die bei den Untersuchungen betrachteten Konstruktionen sind in Abb. 23 dargestellt.



**Abb. 23:** Links im Bild: Messaufbau mit schwimmendem Estrich und darunter befindlicher Schüttung in seitlicher Ansicht (oben Zementestrich, unten Trockenestrich aus OSB-Platten). Die Schüttung wies normalerweise eine Höhe von etwa 50 - 60 mm auf. Rechts oben: Elementierung der Schüttung durch eingelegte Pappstreifen. Rechts unten: Beschwerung der Decke mit Betonplatten anstatt von Schüttgut als (Vergleichaufbau zur Nachbildung der früher im Holzbau gebräuchlichen Bauweise).

Die für die Untersuchungen verwendete Holzbalken-Rohdecke entsprach einer bauüblichen Konstruktion aus dem Bereich des Holzfertigbaus. Obgleich sie in vieler Hinsicht der in Abb. 12 dargestellten Bezugsdecke C1 nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C ähnelt, gibt es im Detail doch deutliche Unterschiede:



**Abb. 24:** Holzbalken-Rohdecke für die Untersuchungen an gebundenen Schüttungen. Für die Messungen wurde ein Deckenausschnitt mit den Maßen  $L \times B = 1,50$  m x 1,25 m verwendet. Der Ausschnitt bestand aus drei Feldern, wobei das mittlere Feld die genormte Breite von 62,5 cm aufwies und die beiden äußeren Felder jeweils in halber Breite (d. h. ca. 31,2 cm) ausgeführt waren.

Die durchgeführten Trittschallmessungen erfolgten analog zu der in DIN EN ISO 10140-3 beschriebenen Vorgehensweise, indem der schwimmende Estrich (bzw. der darauf befindliche Bodenbelag) mit dem Norm-Hammerwerk angeregt und der resultierende Schallpegel in der Messkammer ermittelt wurde. Das Hammerwerk befand sich dabei über dem Zentrum der Estrichplatte und war so ausgerichtet, dass seine Achse in Richtung der Plattendiagonale wies. Da wegen des vergleichsweise geringen Volumens der Messkammer bei tiefen Frequenzen keine zuverlässigen Messungen möglich waren, wurde der Messbereich bei der Erfassung des Schallpegels auf die Frequenzen von 100 Hz bis 5000 Hz begrenzt. Neben dem Schallpegel in der Messkammer wurden zusätzlich mit einem an der Unterseite der Decke angebrachten Beschleunigungsaufnehmer die Deckenschwingungen erfasst. Das hierbei aufgezeichnete Mess-Signal wurde jedoch aus später noch genauer beschriebenen Gründen nicht für die weitere Auswertung herangezogen.

Da sich der für die Untersuchungen verwendete Deckenaufbau erheblich von den in DIN EN ISO 10140-5, Anhang C definierten Bezugsdecken unterschied, war die Angabe der bewerteten Trittschallminderung im vorliegenden Fall nicht möglich. Als Einzahlangabe zur Kennzeichnung der Schallschutzwirkung der untersuchten Schüttungen wurde stattdessen die Differenz der ohne und mit Schüttung gemessenen Trittschallpegel verwendet, die im folgenden - im Gegensatz zur bewerteten Trittschallminderung  $\Delta L_w$  - als  $\Delta L'_{n,w}$  bezeichnet wird:

$$\Delta L'_{n,w} = L'_{n,w,ohne} - L'_{n,w,mit} \quad , \quad (20)$$

mit  $L'_{n,w,ohne}$  = Norm-Trittschallpegel der untersuchten Decke ohne Schüttung,  
 $L'_{n,w,mit}$  = Norm-Trittschallpegel der Decke mit Schüttung.

Wird zur besseren Berücksichtigung der menschlichen Geräuschwahrnehmung bei Anregung der Decke durch gehende Personen der Spektrum-Anpassungswert  $C_1$  für die Trittschalldämmung von Decken mit einbezogen, so ergibt sich analog der Ausdruck

$$\Delta(L'_{n,w} + C_1) = (L'_{n,w,ohne} + C_{1,ohne}) - (L'_{n,w,mit} + C_{1,mit}) \quad , \quad (21)$$

wobei die Indizes "ohne" und "mit" ebenso wie in Gl. (20) die Messergebnisse für die Decke ohne und mit Schüttung bezeichnen.

## 5.2.2 Untersuchte Konstruktionen

Der genaue Aufbau der untersuchten Deckenkonstruktionen ist in den Abschnitten beschrieben, die sich mit den Ergebnissen der durchgeführten Messungen beschäftigen. Da als Komponenten hierbei jedoch immer die gleichen Produkte und Bauteile zum Einsatz kamen, sind im folgenden die Bezeichnungen und die wichtigsten technischen Daten der für die Untersuchungen verwendeten Bauteile und Baustoffe aufgeführt. Neben Hersteller- und Produktname sind außerdem Kurzbezeichnungen angegeben, die - im Hinblick auf eine kompakte und übersichtliche Darstellungsweise - im nachfolgenden Text zur Bezeichnung des jeweiligen Produktes verwendet werden.

## Schüttungen

Das bei den durchgeführten Messungen eingesetzte Schüttgut bestand ausschließlich aus Basaltsplitt. Standardmäßig wurde für die Schüttungen - wie in der Praxis häufig der Fall - Splitt mit einer Korngröße von 5 - 8 mm verwendet. Um den Einfluss der Körnung auf die Trittschalldämmung zu untersuchen, wurde außerdem jedoch auch eine Zusatzmessung mit einer Korngröße von 1 - 3 mm durchgeführt. Die Dichte des Schüttguts betrug für beide Körnungen etwa 1500 kg/m<sup>3</sup>.

## Bindemittel

Zur Verfestigung des Schüttgutes kamen unterschiedliche Bindemittel zum Einsatz, die sämtlich als fertige Produkte auf dem Markt erhältlich sind. Einige der Produkte sind speziell zur Herstellung gebundener Schüttungen bestimmt, andere - wie z. B. Entdröhnungs- und Dichtmassen - sind eigentlich für andere Anwendungen vorgesehen und wurden, weil ihre Beschaffenheit eine gute Schallschutzwirkung erwarten ließ, für die durchgeführten Untersuchungen zweckentfremdet. Die wichtigsten Angaben zu den verwendeten Produkten sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Neben Hersteller und Produktbezeichnung sind dort außerdem - soweit vorhanden - Angaben zur Produktbeschaffenheit, zur Konsistenz in ausgehärtetem Zustand und zum Masseanteil des der Schüttung zugesetzten Bindemittels aufgeführt.

Kurzbezeichnung	Hersteller / Name	Beschreibung
Köhnke K102	Köhnke, System K102	Latex-Dispersion, Masseanteil ca. 1,9 %, elastisch
StoPrefa Coll org.	Sto, StoPrefa Coll organisch *	organische Klebmasse, Masseanteil ca. 1,7 %, elastisch
StoPrefa Coll min.	Sto, StoPrefa Coll SB	mineralische Klebmasse, Masseanteil ca. 8,4 %, fest
QuickBalance	e-4 GmbH, QuickBalance	Erhärtungsbeschleuniger, Einsatz in Verbindung mit Zement CEM I, Masseanteil inkl. Zement ca. 10,4 %, steif
Antiphon	Griwecolor, Antiphon light hydrophob	Kunstharzdispersion, Verlustfaktor $\eta = 0,22$ , Masseanteil ca. 12,5 %, sehr fest
Terophon	Henkel, Terophon 118	Kunstharzdispersion, Verlustfaktor $\eta = 0,22$ , Masseanteil ca. 8,3 %, fest
Combidic	Schomburg, Combidic-2K	zweikomponentige Bitumendickbeschichtung, Masseanteil ca. 20,5 %, elastisch

\* Vorserienprodukt, bislang nicht auf dem Markt erhältlich

**Tab. 5:** Zur Verfestigung des Schüttgutes eingesetzte Bindemittel. Die ersten vier der aufgeführten Produkte wurden speziell zur Herstellung gebundener Schüttungen entwickelt. Bei dem fünften und sechsten Produkt (Antiphon

und Terophon) handelt es sich um Entdröhnungsmassen für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Das letzte Produkt (Combidic) dient zur Beschichtung von Bauteilen als Abdichtung gegen Feuchtigkeit. Bei den in der Tabelle aufgeführten Verlustfaktoren handelt es sich um Herstellerangaben nach DIN EN ISO 6721-3.

### Dämpfungsbeläge und Vliese

Zur Verbesserung der Schallschutzwirkung wurden in die Schüttung vor dem Aushärten des Bindemittels teilweise zusätzlich eine oder mehrere Lagen aus Körperschalldämpfenden Belägen oder trittschalldämmenden elastischen Vliesen eingelegt. Die wichtigsten Angaben zu den verwendeten Produkten sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

Kurzbezeichnung	Hersteller / Name	Beschreibung
BS 100	Steinbach AG, Sonit BS 100	Bitumenfolie, $d = 5,6 \text{ mm}$ , $m'' = 10 \text{ kg/m}^2$ , $\eta = 0,32$
Flüstermatte	btf, btf-Flüstermatte	trittschalldämmendes Vlies, $d = 4 \text{ mm}$ , $s' = 9 \text{ MN/m}^3$
Schutzvlies	Wolf Bavaria GmbH, Wolf Schutzvlies	Ausgleichsvlies aus Polyester, $d = 3 \text{ mm}$

**Tab. 6:** Beschreibung der in die Schüttungen eingelegten Beläge und Vliese. Bei den für den Verlustfaktor  $\eta$  und die dynamische Steifigkeit  $s'$  angegebenen Werten handelt es sich um Herstellerangaben.

### Betonplatten

Bis vor einigen Jahren - und teilweise auch noch heute - wurden zur Beschwerung von Holzbalkendecken anstatt von Schüttungen teilweise auch Betonplatten, wie z. B. Gehwegplatten, eingesetzt. Um die akustischen Unterschiede zwischen den beiden Bauweisen zu untersuchen, wurde eine Messung durchgeführt, bei der die Schüttung durch Betonplatten mit gleicher flächenbezogener Masse ersetzt wurde. Die hierzu verwendeten Platten hatten die Maße  $L \times B \times H = 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$  und wurden nach entsprechendem Zuschnitt über eine Fläche von  $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$  lückenlos auf der Rohdecke verlegt. Die Gesamtmasse der Platten betrug  $91,5 \text{ kg}$  und entsprach damit fast genau der Masse der untersuchten Schüttungen.

### Trittschall-Dämmplatten und schwimmende Estriche

Trittschall-Dämmplatten wurden bei den durchgeführten Untersuchungen sowohl als Bestandteil der verwendeten schwimmenden Estriche eingesetzt, als auch teilweise als zusätzliche Verbesserungsmaßnahme unterhalb der Schüttung verlegt. Dabei kamen zwei verschiedene Dämmplatten mit unterschiedlicher dynamischer Steifigkeit zum Einsatz. Die beiden Platten mit den Bezeichnungen Isover Akustic EP 3 ( $d = 12 \text{ mm}$ ,  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ) und Isover Akustic EP 1 ( $d = 25 \text{ mm}$ ,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ ) sind in Abschnitt 5.1.3 in Tab. 3 beschrieben.

Bei allen Versuchsaufbauten befand sich auf der Schüttung jeweils ein schwimmender Estrich. Dabei wurden drei verschiedene Estriche mit einer Fläche von jeweils 1,0 m x 1,0 m verwendet, unter denen sich ein Trockenestrich und zwei Estriche in mineralischer Bauweise befanden. Der Aufbau der drei Estriche ist in der nachfolgenden Tabelle beschrieben:

Nr.	Kurzbezeichnung	Estrichplatte	Trittschalldämmung	$f_0$ [Hz]
1	Zementestrich auf EP 3	Zementestrich, $d = 43$ mm, $m'' = 92$ kg/m <sup>2</sup>	Isover Akustic EP 3, Steinwolle, $d = 12$ mm, $s' = 38$ MN/m <sup>3</sup>	145
2	Zementestrich auf EP 1	Zementestrich, $d = 43$ mm, $m'' = 92$ kg/m <sup>2</sup>	Isover Akustic EP 1, Glaswolle, $d = 25$ mm, $s' = 9$ MN/m <sup>3</sup>	70
3	OSB-Platte auf EP 3	OSB-Platte, $d = 24$ mm, $m'' = 15$ kg/m <sup>2</sup>	Isover Akustic EP 3, Steinwolle, $d = 12$ mm, $s' = 38$ MN/m <sup>3</sup>	275

**Tab. 7:** Aufbau der für die Untersuchungen verwendeten schwimmenden Estriche (Fläche jeweils 1,0 m x 1,0 m). Die für die dynamische Steifigkeit  $s'$  angegebenen Werte wurden durch eigene Messungen nach DIN EN 29052-1 ermittelt. Die Resonanzfrequenz der Estriche,  $f_0$ , wurde nach Gl. (11) aus den oben angegebenen Bauteildaten berechnet, wobei jeweils die Schüttung als Gegenmasse herangezogen wurde.

### Bodenbeläge

Bei einigen der durchgeführten Messungen erfolgte die Trittschallanregung direkt auf dem schwimmenden Estrich, bei anderen befand sich auf dem Estrich ein Bodenbelag. Dabei fanden zwei verschiedene Beläge (ein Laminat- und ein Teppichboden) Verwendung, die im folgenden kurz beschreiben werden. Bei den für die bewertete Trittschallminderung,  $\Delta L_w$ , genannten Werten handelt es sich um Herstellerangaben, die sich auf die Verlegung des Belags auf einer massiven Rohdecke beziehen. Für die hier untersuchten Deckenkonstruktionen aus dem Bereich des Holzbaus fällt die resultierende Trittschallminderung weitaus geringer aus.

Laminatboden: Produktbezeichnung: HARO Tritty 75 3-Stab, Hersteller: Hamberger Flooring GmbH,  $d = 7$  mm, auf 3 mm PE-Schaum (Selitac Laminatunterlage der Firma Selit) verlegt,  $\Delta L_w = 20$  dB.

Teppichboden: Produktbezeichnung: Congress 1000, Hersteller: Infloor Teppichboden GmbH, Flor aus Polyamid, Textilrücken,  $d = 6,5$  mm,  $\Delta L_w = 29$  dB.

### 5.2.3 Voruntersuchungen

Wie bei jedem neuen Versuchsaufbau waren auch bei der Messvorrichtung zur Untersuchung gebundener Schüttungen zunächst Vorversuche erforderlich, um den Aufbau

für die Trittschallmessungen vorzubereiten und die Ergebnisse zu validieren. Im vorliegenden Fall umfasste dies vor allem folgende Arbeitsschritte:

- Ermittlung der zur Bestimmung des Trittschallpegels am besten geeigneten Mikrofonposition im Inneren der Messkammer. Hierzu wurde das Schallfeld in der Kammer auf einem Raster mit 25 cm Gitterabstand abgetastet und der Messpunkt bestimmt, der dem Mittelwert für alle Punkte am nächsten kam. An diesem Punkt wurden dann sämtliche Trittschallmessungen durchgeführt.
- In ähnlicher Weise wie bei der Ermittlung der günstigsten Mikrofonposition wurde auch für den Beschleunigungsaufnehmer die am besten geeignete Position auf der Unterseite der Decke bestimmt.
- Ermittlung der Nachhallzeit in der Messkammer. Dies erfolgte durch Mittelung über mehrere Abklingvorgänge an unterschiedlichen Mikrofon- und Lautsprecherpositionen, wobei zur Erzeugung des Schallfeldes wegen des geringen Volumens der Messkammer ein spezieller Lautsprecher in besonders kompakter Bauweise eingesetzt wurde.
- Korrektur des Mess-Signals im Hinblick auf den vom Norm-Hammerwerk erzeugten Luftschall und die vorhandenen Fremdgeräusche. Zur Verminderung des Luftschallpegels des Hammerwerks wurde die untersuchte Deckenauflage mit dem darauf befindlichen Hammerwerk mit der in Abschnitt 5.1.3 beschriebenen Haube abgedeckt. Hierdurch wurde erreicht, dass der Luftschallanteil des Mess-Signals bei allen Frequenzen mehr als 10 dB unter dem Trittschallpegel lag. Störungen durch Fremdgeräusche waren wegen der guten Schallisolation des Aufstellungsraums im vorliegenden Fall nicht zu befürchten.
- Auswahl des für die Untersuchungen am besten geeigneten Sensors (Beschleunigungsaufnehmer oder Mikrofon).
- Vergleich der verwendeten teilflächigen Messanordnung mit einer baugleichen vollflächigen Holzbalkendecke.
- Überprüfung der Reproduzierbarkeit der durchgeführten Messungen durch Ausbau und erneute Herstellung einer gebundenen Schüttung.

Da die drei letztgenannten Punkte für die durchgeführten Untersuchungen besonders wichtig sind, werden sie im folgenden genauer betrachtet:

### **Beschleunigungsaufnehmer oder Mikrofon**

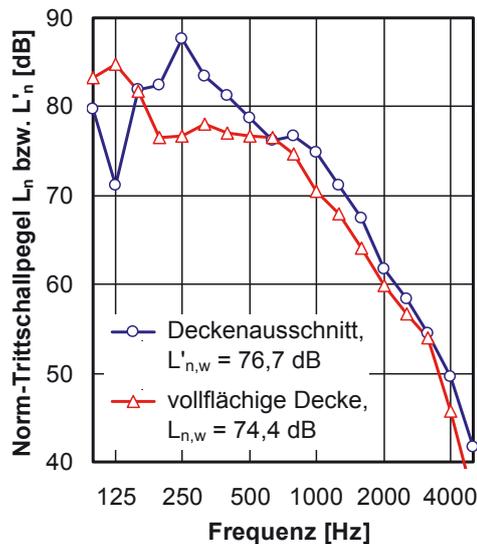
Mit dem an der Unterseite der Decke angebrachten Beschleunigungsaufnehmer und dem in der Messkammer befindlichen Mikrofon standen zwei Sensoren zur Verfügung, die zur Bestimmung der Trittschallminderung der Deckenauflage genutzt werden können. Beide Sensoren haben jeweils ihre Vor- und Nachteile. Der wichtigste Vorteil des Beschleunigungsaufnehmers besteht darin, dass damit auch bei tiefen Frequenzen problemlos gemessen werden kann. Andererseits weist das Schwingungssignal auf der Deckenunterseite eine starke Ortsabhängigkeit auf, so dass der lokal gemessene Wert erheblich von der mittleren Schnelle, die die Trittschallabstrahlung der Decke bestimmt, abweichen kann. Das Mikrofon erfasst demgegenüber den gesamten von der Decke

abgestrahlten Schall, ist aber wegen des geringen Volumens der Messkammer bei tiefen Frequenzen recht ungenau.

Nach Abwägung der genannten Vor- und Nachteile fiel die Entscheidung zugunsten von Messungen mit dem Mikrofon. Um Messfehler bei tiefen Frequenzen zu vermeiden, wurde der betrachtete Frequenzbereich dabei auf die Terzen von 100 Hz bis 5000 Hz begrenzt.

### Vergleich mit vollflächiger Decke

Die die Untersuchungen an gebundenen Schüttungen zur Verminderung des baulichen Aufwandes statt an einer vollflächigen Decke an einem Deckenausschnitt mit einer Fläche von  $L \times B = 1,50 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$  vorgenommen wurden, stellt sich die Frage, wie stark sich die an dem Deckenausschnitt gemessenen Werte von einer Decke in normaler Größe unterscheiden. Um dies zu klären, wurde aus dem vorhandenen Datenbestand des Fraunhofer-Instituts eine Messung herausgesucht, bei der die geprüfte Decke nahezu baugleich mit dem verwendeten Deckenausschnitt war. Bei dem für den Vergleich ausgewählten Datensatz handelte es sich um eine Messung in einem bauakustischen Deckenprüfstand mit einer Einbaufläche von ca.  $4,0 \text{ m} \times 5,0 \text{ m}$ . Abgesehen von kleineren Abweichungen beim Balkenquerschnitt und der Dicke der oberseitigen Beplankung entsprach der Deckenaufbau weitgehend der in Abb. 24 dargestellten Konstruktion (Holzbalken-Rohdecke ohne Auflage). Ein Vergleich der Messergebnisse ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:



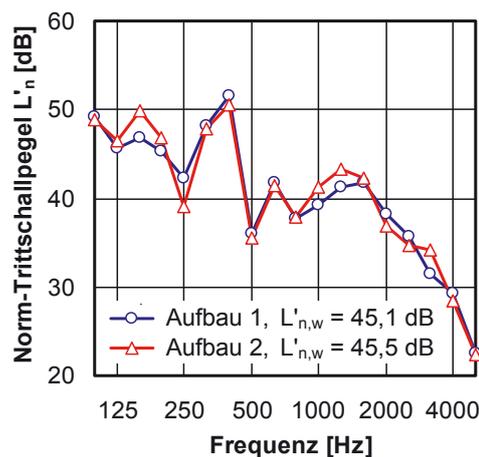
**Abb. 25:** Trittschalldämmung des für die Untersuchungen verwendeten Deckenausschnitts (Fläche  $L \times B = 1,50 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$ ) und einer nahezu baugleichen Holzbalken-Rohdecke in normaler Größe ( $L \times B \cong 4,0 \text{ m} \times 5,0 \text{ m}$ ).

Obgleich die Messung an der vollflächigen Decke im Gegensatz zu dem untersuchten Deckenausschnitt ohne Flankenübertragung erfolgte, stimmen die Messwerte bei hohen Frequenzen recht gut überein. Die Unterschiede im tieffrequenten Bereich sind vermutlich vor allem auf darauf zurückzuführen, dass sich in der Messkammer wegen ihres geringen Volumens bei tiefen Frequenzen kein ausreichend homogenes Schallfeld

ausbilden kann. Auf die durchgeführten Untersuchungen hat dies jedoch keinen negativen Einfluss, da die Messungen lediglich zum Vergleich zwischen unterschiedlichen Schüttungen herangezogen wurden und sich das Mikrofon dabei immer an der gleichen Stelle befand. In diesem Kontext ist die Übereinstimmung der Messdaten bei teil- und vollflächigem Deckenaufbau daher als durchaus zufriedenstellend anzusehen.

### Reproduzierbarkeit der Messungen

Für die Beurteilung der ermittelten Messergebnisse ist auch von Bedeutung, wie gut sich die untersuchten Versuchsaufbauten bei ihrer Herstellung reproduzieren lassen. Dies gilt insbesondere für die Anfertigung der gebundenen Schüttungen. Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu überprüfen, wurde ein typischer Aufbau nach Abschluss der Messungen abgerissen und anschließend komplett neu hergestellt. Der Aufbau bestand aus einer Schüttung mit der Korngröße 5 - 8 mm, die mit dem Bindemittel Köhnke K102 gebunden war und auf der sich ein auf einer Trittschall-Dämmplatte Isover Akustic EP 1 gelagerter Zementestrich befand. Wie den in Abb. 26 dargestellten Messergebnissen zu entnehmen ist, besteht zwischen den beiden Aufbauten eine gute Übereinstimmung. Dies gilt sowohl für den Frequenzverlauf der Trittschalldämmung als auch für den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$ , bei dem ein Unterschied von lediglich 0,4 dB vorhanden ist.



**Abb. 26:** Trittschalldämmung von zwei baugleichen, nacheinander (nach einer Zeitdauer von ca. 4 Wochen) hergestellten Messaufbauten.

## 6 Messergebnisse an schwimmenden Estrichen

Die nachfolgenden Abschnitte beschäftigen sich mit den Ergebnissen der zur akustischen Optimierung von schwimmenden Estrichen mit geringer Bauhöhe durchgeführten Untersuchungen. Gemäß den beiden Untersuchungsschwerpunkten - der teilflächigen elastischen Lagerung und der Bedämpfung der Estrichplatte - sind die Ergebnisse in zwei Abschnitte mit jeweils mehreren Unterabschnitten gegliedert. Alle Messungen erfolgten an den in Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Estrich-Teilstücken mit den Maßen 1,0 m x 1,0 m, die auf einer vollflächigen Holzbalkendecke (leichte Bezugsdecke C1 nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C, siehe Darstellung in Abb. 12) auflagen.

Als Messgröße wird die im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz gemessene Trittschallminderung herangezogen. Als zugehörige Einzahlangabe dient die bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$ , sowie - zur verbesserten Beschreibung der subjektiv wahrgenommenen Schallschutzwirkung - die Summe  $\Delta L_w + C_{1,\Delta}$ , wobei  $C_{1,\Delta}$  den Spektrum-Anpassungswert für die Trittschallminderung nach DIN EN ISO 717-2 bezeichnet. Die bewertete Trittschallminderung und der Spektrum-Anpassungswert beziehen sich jeweils auf die leichte Bezugsdecke C1 nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C, auch wenn der hierfür vorgesehene Index t1 zur Verbesserung der Übersichtlichkeit nicht mit aufgeführt ist. Die Berechnung des Spektrum-Anpassungswertes erfolgte - in Erweiterung der in DIN EN ISO 717-2 beschriebenen Vorgehensweise - für den Frequenzbereich von 50 - 2500 Hz (Erläuterungen hierzu siehe Abschnitt 4.2.3).

## 6.1 Teilflächige elastische Lagerung

Da den bisherigen Erkenntnissen zufolge durch teilflächige elastische Lagerung der Estrichplatte merkliche akustische Verbesserungen zu erwarten waren, wurden verschiedene Varianten teilflächiger Lagerungen hergestellt und hinsichtlich ihrer akustischen Wirkung miteinander verglichen. Um einen direkten Vergleich der Aufbauten untereinander sowie auch mit der herkömmlichen vollflächigen Lagerung der Estrichplatte zu ermöglichen, war es erforderlich, bis auf die Lagerfläche alle übrigen akustischen Einflüsse konstant zu halten. Dies galt insbesondere für die Resonanzfrequenz des schwimmenden Estrichs, die den stärksten Einfluss auf die resultierende Trittschallminderung hat.

Um die Auflagefläche der Estrichplatte zu variieren, ohne gleichzeitig die Resonanzfrequenz des Aufbaus zu verändern, gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten:

- Bei Beibehaltung des gleichen Werkstoffs für die elastische Auflage: Verminderung der Auflagefläche um beispielsweise 50 % bei gleichzeitiger Halbierung der Dämmstoffdicke. Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 4.6 bleibt die dynamische Steifigkeit der Lagerung - und damit auch die Resonanzfrequenz - dabei weitgehend (bis auf den Einfluss der bei Verringerung der Auflagefläche zwischen den Dämmstoff-Teilstücken entstehenden luftgefühlten Hohlräume) unverändert.
- Bei Verwendung unterschiedlicher Materialien für die elastische Auflage: wird die Auflagefläche um 50 % vermindert und dabei als Trittschall-Dämmplatte - bei gleichbleibender Bauhöhe - ein Material mit doppelt so hoher dynamischer Steifigkeit eingesetzt, so bleibt die dynamische Steifigkeit der Lagerung ebenfalls konstant.

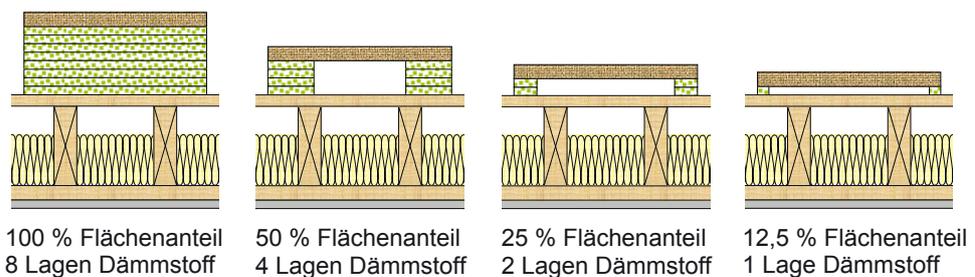
In der Regel ist die erste der beiden oben beschriebenen Möglichkeiten mit deutlich geringerem Aufwand verbunden, da dafür nur ein einziger Typ von Dämmstoffplatten benötigt wird und die Platten lediglich zugeschnitten und übereinander gestapelt werden müssen. Bei Verwendung von Dämmstoffen mit unterschiedlicher dynamischer Steifigkeit müssen hingegen zunächst geeignete Produkte (mit der erforderlichen Dicke und der gewünschten Steifigkeit) ausgewählt und beschafft werden. Anschließend muss die dynamische Steifigkeit der verschiedenen Dämmstoffe gemessen und die Lagerfläche entsprechend ausgelegt werden. Da dies im ersten Versuch zumeist nicht mit

der gewünschten Genauigkeit möglich ist, ist es erforderlich, die resultierende Resonanzfrequenz des Estrichs zu ermitteln und die Lagerfläche entsprechend anzupassen, was teilweise wiederholt erfolgen muss. Hinzu kommt, dass Dämmstoffe mit verschiedener dynamischer Steifigkeit oft auch eine unterschiedliche innere Dämpfung aufweisen, was sich ebenfalls auf die Trittschallminderung auswirkt und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigt.

Aus den genannten Gründen wurde zur Herstellung teilflächiger elastischer Lagerungen mit konstanter Resonanzfrequenz zunächst immer der gleiche Dämmstoff verwendet. Erst als hierbei unerwartete und zunächst unverstandene Effekte auftraten, wurden zum Vergleich zusätzlich auch Lagerungen aus unterschiedlichen Dämmstoffen untersucht. Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen sind in den beiden nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

### 6.1.1 Variation der Lagerfläche: gleicher Dämmstoff

Zur Herstellung teilflächiger elastischer Lagerungen wurde bei der Versuchsreihe von einem schwimmenden Estrich mit vollflächiger Trittschalldämmung ausgegangen, wobei die Dämmschicht aus acht übereinander gestapelten Lagen aus gleichartigen Trittschall-Dämmplatten bestand. Die Auflagefläche wurde nun schrittweise halbiert, wobei - wie in Abb. 27 schematisch dargestellt - jeweils die Hälfte der Dämmstofflagen entfernt wurde. Hierdurch war gewährleistet, dass die resultierende dynamische Steifigkeit der Lagerung (abgesehen vom Einfluss des Formfaktors und der vorhandenen Luftkammern, die im vorliegenden Fall nur eine untergeordnete Rolle spielten) unverändert blieb. Die Lagerung bestand aus Dämmstoffstreifen mit jeweils gleicher Breite, die gleichmäßig unter der Estrichplatte verteilt wurden. Wegen der der vergleichsweise großen Höhe des Aufbaus wären die voll- und die halbflächige Lagerung für die bauliche Praxis im Normalfall nicht geeignet, als Vergleichskonstruktion für Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsvorhabens hatten sie jedoch ihre Berechtigung.



**Abb. 27:** Variation der Auflagefläche eines schwimmenden Estrichs bei annähernd konstanter Resonanzfrequenz (schematisch). Im Gegensatz zur obigen vereinfachten Darstellung war der verbleibende Dämmstoff bei den teilflächigen Aufbauten nicht nur an den Plattenrändern angeordnet, sondern in Form von Streifen annähernd gleichförmig unter der Estrichplatte verteilt.

Wie bereits erwähnt, trägt bei teilflächigen Lagerungen auch die Luft in den zwischen den Dämmstoff-Teilstücken verbleibenden Hohlräumen zur resultierenden dynamischen Steifigkeit der Lagerung bei. Dabei kommt es allerdings in starkem Maße darauf an, ob es sich um abgeschlossene Hohlräume handelt (dies ist bei einem vollflächig verlegten

schwimmenden Estrich der Fall), oder ob die Luft an den Rändern der Hohlräume entweichen kann. Bei dem für die Untersuchungen verwendeten Estrich-Teilstück mit einer Fläche von 1,0 m x 1,0 m trifft letzteres zu, wodurch sich die Steifigkeit der Luftfeder den durchgeführten Voruntersuchungen zufolge um nahezu den Faktor 10 vermindert. Berechnet man auf dieser Grundlage nach Gl. (15) die resultierende dynamische Steifigkeit der Lagerung, so ergibt sich bei Verwendung bauüblicher Trittschall-Dämmplatten (12 mm Steinwolle mit  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ) für eine teilflächige Lagerung mit 12,5 % Flächenanteil gegenüber der vollflächigen achtlagigen Verlegung der Platten eine Zunahme der Steifigkeit von  $s'_{\text{res}} = 4,8 \text{ MN/m}^3$  auf etwa  $s'_{\text{res}} = 5,6 \text{ MN/m}^3$ . Dies entspricht einer Erhöhung der Resonanzfrequenz um etwa 8 % und ist daher in der Praxis weitgehend vernachlässigbar.

Die beschriebene Messreihe zur Untersuchung von teilflächigen Lagerungen mit unterschiedlich großer Auflagefläche wurde für mehrere verschiedene Estrichaufbauten durchgeführt, die sich sowohl hinsichtlich der Estrichplatte als im Hinblick auf den verwendeten Dämmstoff voneinander unterscheiden:

Estrichplatten:

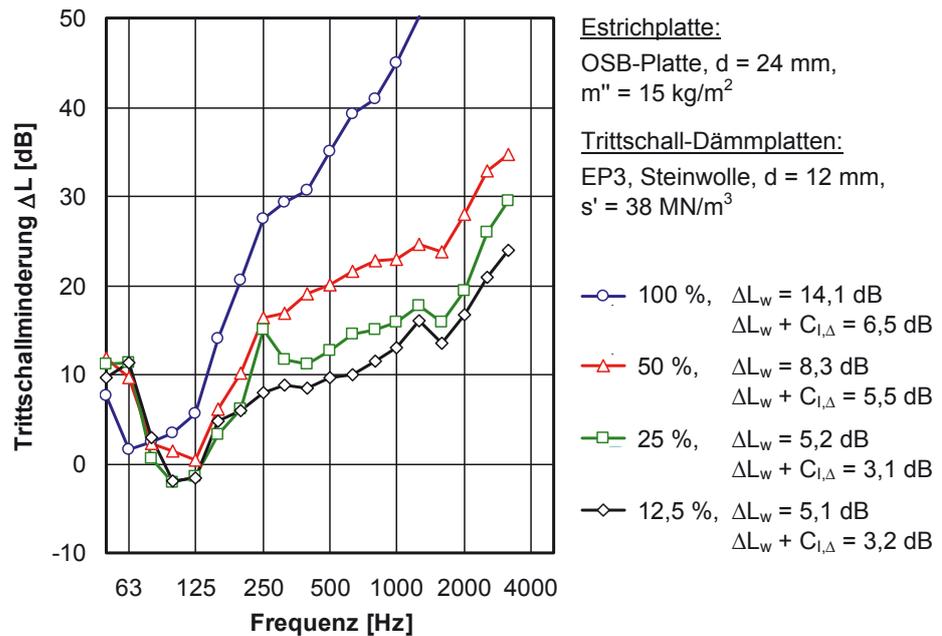
- a) OSB-Platte,  $d = 24 \text{ mm}$ ,  $m'' = 15 \text{ kg/m}^2$ ,
- b) Gipsfaserplatte,  $d = 18 \text{ mm}$ ,  $m'' = 23 \text{ kg/m}^2$ ,
- c) Zementestrich,  $d = 43 \text{ mm}$ ,  $m'' = 92 \text{ kg/m}^2$ ,
- d) OSB-Platte,  $d = 12 \text{ mm}$ ,  $m'' = 8 \text{ kg/m}^2$  mit unterseitig aufgeklebter Bitumenfolie Sonit BS 100 ( $d = 5,6 \text{ mm}$ ,  $m'' = 10 \text{ kg/m}^2$ ,  $\eta = 0,32$ ).

Dämmstoffe:

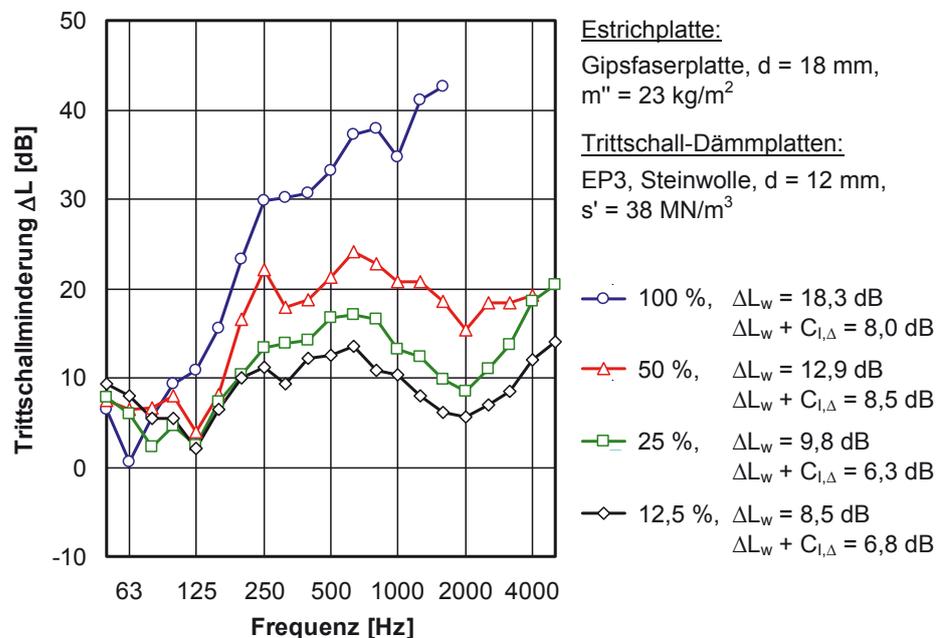
- a) EP 3 Steinwolle-Dämmplatten,  $d = 12 \text{ mm}$ ,  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ,
- b) EPS-Dämmplatten,  $d = 15 \text{ mm}$ ,  $s' = 27 \text{ MN/m}^3$ .

Ein typisches Beispiel für eine der Messreihen ist in Abb. 28 dargestellt. Es handelt sich um einen Trockenestrich aus 24 mm dicken OSB-Platten, der auf Trittschalldämmplatten aus 12 mm dicker Steinwolle aufliegt. Die nach Gl. (12) berechnete Resonanzfrequenz des Aufbaus liegt bei etwa 130 Hz und entspricht damit - mit Ausnahme der vollflächigen Lagerung - recht gut dem in den Messkurven sichtbaren Dämmungseinbruch. Der gemessene Frequenzverlauf folgt weitgehend (im Rahmen der bei derartigen stark vereinfachten Modellen stets vorhandenen Unterschiede) dem nach Abschnitt 4.4 theoretisch zu erwartenden Verhalten. Auffällig ist, dass die gemessene Trittschallminderung bei Verkleinerung der Auflagefläche kontinuierlich abnimmt, was sich auch in den in dem Diagramm angegebenen Einzahlangaben widerspiegelt. Neben der bewerteten Trittschallminderung  $\Delta L_w$  gilt dies auch bei Einbeziehung des Spektrumanpassungswertes  $C_{1,\Delta}$ , wobei die Summe  $\Delta L_w + C_{1,\Delta}$  erwartungsgemäß einen geringeren Wert als  $\Delta L_w$  aufweist.

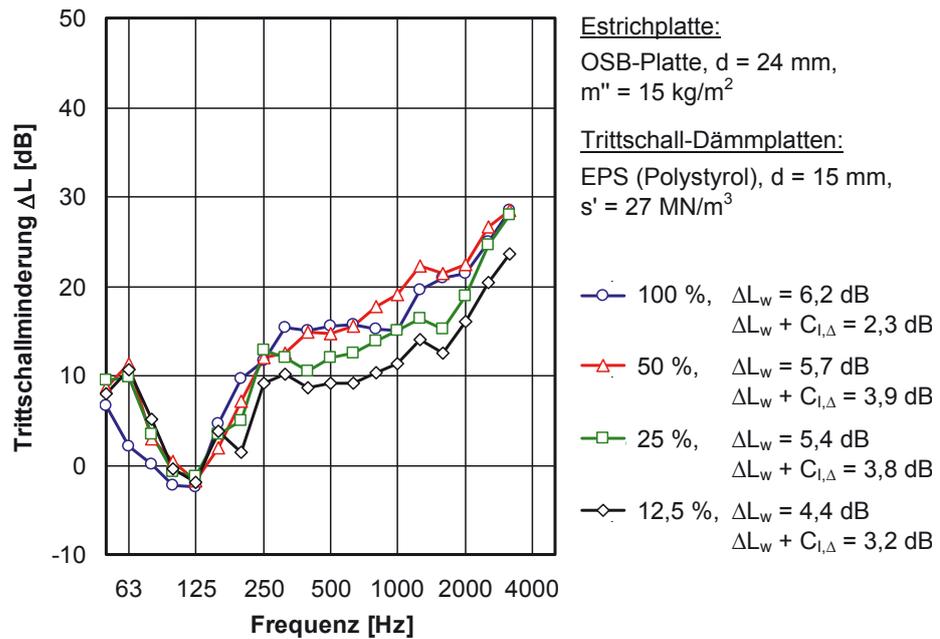
Ein ähnliches Verhalten wie in dem diskutierten Beispiel zeigt sich - in mehr oder weniger deutlich ausgeprägter Form - auch bei den anderen untersuchten Estrichen, deren Ergebnisse in den Abbildungen 29 bis 32 dargestellt sind. Um die Messkurven für die verschiedenen Estriche besser miteinander vergleichen zu können, wurden alle Diagramme mit dem gleichen Wertebereich von  $\Delta L_w = -10 \text{ dB}$  bis  $50 \text{ dB}$  aufgetragen.



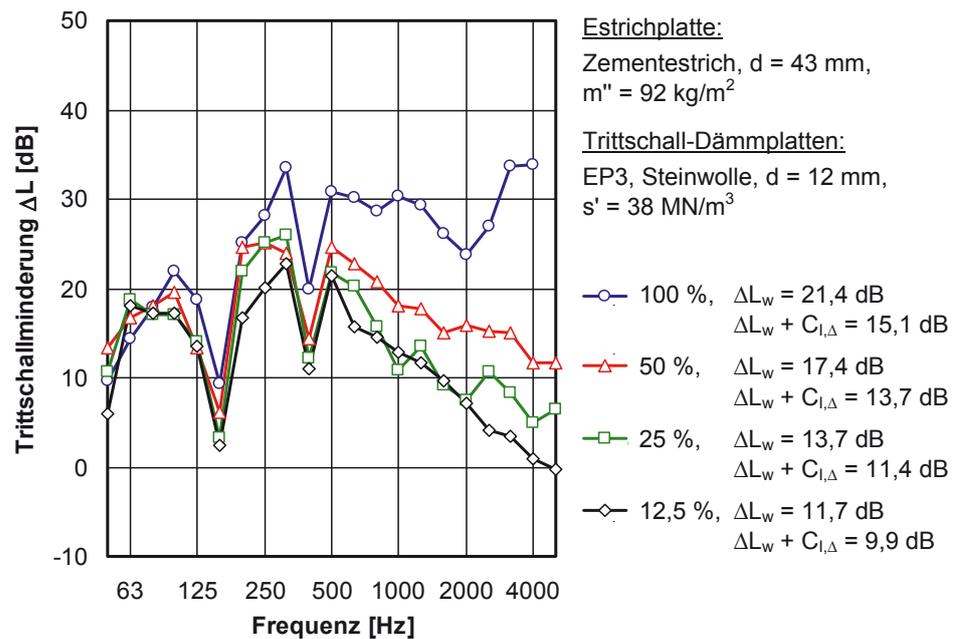
**Abb. 28:** Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs mit teilflächiger elastischer Lagerung für unterschiedlich große Auflageflächen zwischen 12,5 % und 100 % der Gesamtfläche. Die Änderung der Auflagefläche erfolgte in der in Abb. 27 dargestellten Weise bei gleichbleibender Resonanzfrequenz. Der Aufbau des untersuchten Estrichs ist in der Legende beschrieben, wobei sich die Angaben zur Trittschalldämmung auf eine einzelne Dämmstoffplatte beziehen (beim Aufeinanderstapeln mehrerer Platten vermindert sich die Steifigkeit gemäß der Zunahme der Gesamtdicke). Die Einzulangaben zu den dargestellten Messkurven sind gleichfalls in der Legende enthalten.



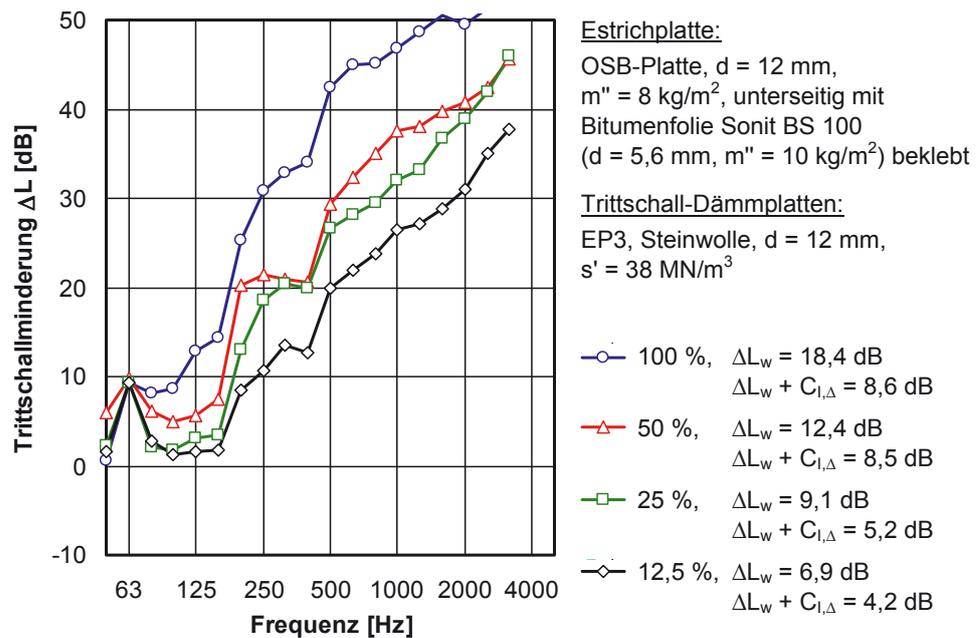
**Abb. 29:** Gleiche Darstellung wie in Abb. 28, jedoch für einen anderen Estrichaufbau (18 mm dicke Gipsfaserplatte auf Trittschall-Dämmplatten aus Steinwolle).



**Abb. 30:** Gleiche Darstellung wie in Abb. 28, jedoch für einen anderen Estrichaufbau (24 mm dicke OSB-Platte auf Trittschall-Dämmplatten aus Polystyrol).



**Abb. 31:** Gleiche Darstellung wie in Abb. 28, jedoch für einen anderen Estrichaufbau (43 mm dicker Zementestrich auf Trittschall-Dämmplatten aus Steinwolle). Die für diesen Aufbau nach Gl. (12) berechnete Resonanzfrequenz liegt bei etwa 105 Hz. Die starken Schwankungen in den Messkurven sind auf Eigenschwingungen der Estrichplatte zurückzuführen, die wegen seiner hohen Steifigkeit, der großen Masse und der niedrigen inneren Dämpfung beim Zementestrich besonders deutlich in Erscheinung treten.

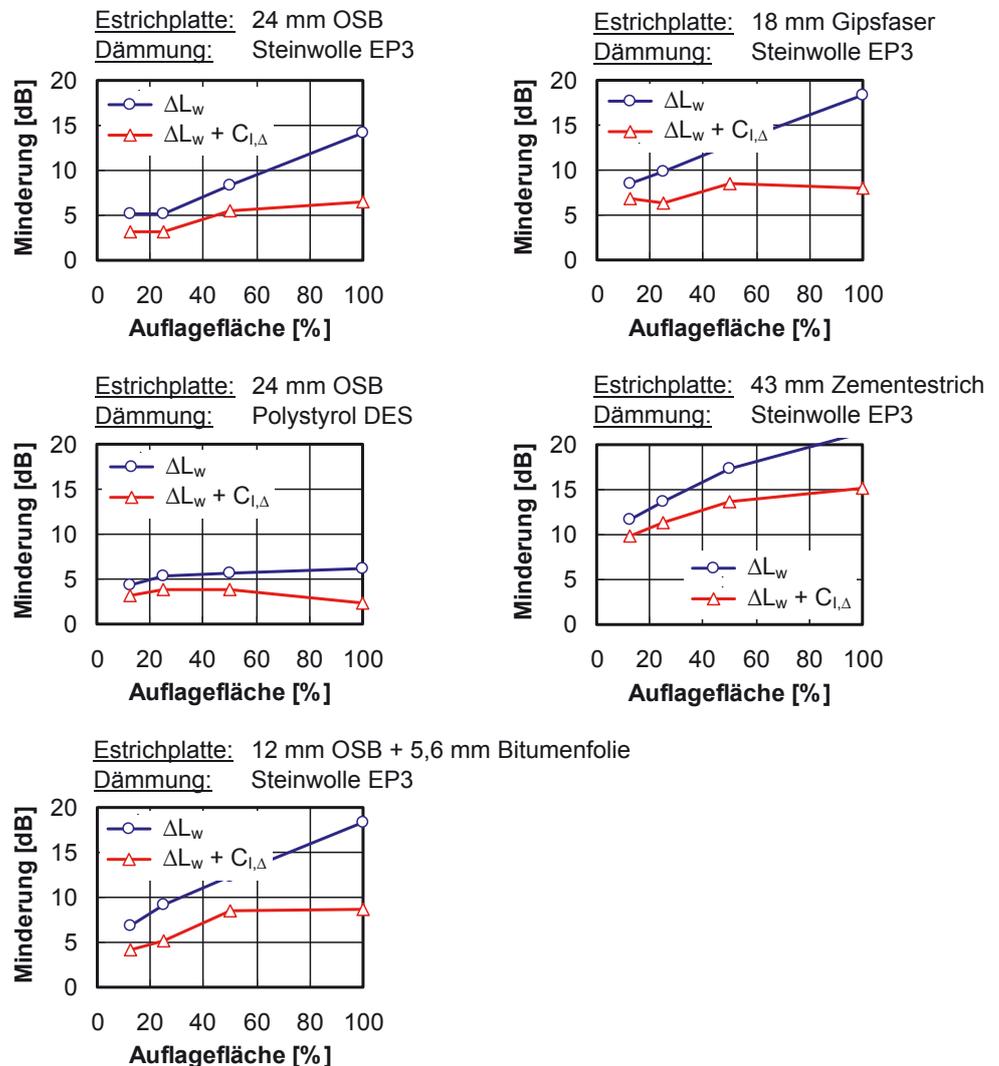


**Abb. 32:** Gleiche Darstellung wie in Abb. 28, jedoch für einen anderen Estrichaufbau (12 mm dicke OSB-Platte, unterseitig mit Bitumenfolie beklebt auf Trittschall-Dämmplatten aus Steinwolle). Im Gegensatz zu den in den vorangehenden Abbildungen dargestellten Messungen, waren die Hohlräume zwischen den Dämmstoff-Teilstücken beim vorliegenden Aufbau mit Schallsorptionsmaterial gefüllt. Das hierzu verwendete Material (Glaswolle Isover Akustic TP 1 mit  $r \geq 5 \text{ kPas/m}^2$ ) wurde lose - d. h. ohne Kontakt zur Estrichplatte - in die Hohlräume eingebracht, füllte diese aber nahezu vollständig aus.

Da die in den Abbildungen 28 bis 32 dargestellten Ergebnisse an unterschiedlichen Estrichaufbauten gemessen wurden, gibt es selbstverständlich erhebliche Unterschiede. Ein übereinstimmendes Merkmal, das mehr oder wenig deutlich bei allen Aufbauten zutage tritt, bildet jedoch die Verschlechterung der Trittschalldämmung, die bei Verkleinerung der Auflagefläche des schwimmenden Estrichs zu verzeichnen ist. Der Effekt wird besonders deutlich sichtbar, wenn statt des Frequenzspektrums der Trittschalldämmung die zugehörigen Einzlangaben aufgetragen werden. Eine solche Auftragung ist in Abb. 33 dargestellt, wo die Ergebnisse aller durchgeführten Messungen in einer Übersicht zusammengefasst sind. Ein ähnliches Bild ergibt sich im übrigen auch, wenn die Trittschallanregung statt mit dem Norm-Hammerwerk mit dem modifizierten Hammerwerk oder dem japanischen Gummiball erfolgt (die zugehörigen Messwerte sind in den Anlagen 1 und 2 aufgeführt).

Die bei Verkleinerung der Auflagefläche auftretende Verschlechterung der Trittschalldämmung widerspricht den bisherigen Erwartungen an die akustischen Eigenschaften teilflächiger elastischer Lagerungen. Den hierzu durchgeführten - wenn auch stark vereinfachten - Vorversuchen zufolge, wäre eigentlich das Gegenteil zu erwarten gewesen. Dies war ja auch der wichtigste Grund, um sich in dem Forschungsvorhaben mit teilflächigen Lagerungen zu beschäftigen. Es stellt sich daher die Frage, worauf die beobachtete Verschlechterung zurückzuführen ist. Dies lässt sich anhand der vorliegenden

Ergebnisse zwar noch nicht eindeutig beantworten, einige mögliche Ursachen lassen sich aber bereits jetzt ausschließen. Für zwei Effekte, die als Ursache für die Verschlechterung der Trittschalldämmung scheinbar besonders naheliegen, wird dies nachfolgend genauer betrachtet.



**Abb. 33:** Grafische Darstellung der Einzahlangaben zu den in den Abbildungen 28 bis 32 wiedergegebenen Messkurven der Trittschallminderung teilflächig gelagerter schwimmender Estriche. Die blaue Kurve bezeichnet jeweils die bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$ , die rote Kurve die Summe  $\Delta L_w + C_{i,\Delta}$  (mit  $C_{i,\Delta}$  = Spektrum-Anpassungswert für die Trittschallminderung nach DIN EN ISO 717-2). Die Kurven sind jeweils über dem prozentualen Anteil der Auflagefläche bezogen auf die Gesamtfläche des Estrichs aufgetragen.

Als mögliche Ursache für die verminderte Trittschalldämmung kleinflächiger Lagerungen kommen auf den ersten Blick die zusätzliche Bedämpfung der Estrichplatte durch den Dämmstoff sowie die Luftschallübertragung in den Hohlräumen zwischen den Dämmstoff-Teilstücken in Betracht. Sieht man sich die vorliegenden Messergebnisse je-

doch genauer an, so scheiden beide Effekte - obgleich naheliegend - als Ursache für die Verminderung der Trittschalldämmung aus. Dies lässt sich folgendermaßen begründen:

**Dämpfung:** An den Stellen, an denen die Estrichplatte auf der Dämmstoff-Unterlage aufliegt, wird ihr Körperschallenergie entzogen, d. h. sie wird zusätzlich bedämpft. Bei Verkleinerung der Auflagefläche vermindert sich die Dämpfung und die Trittschalldämmung nimmt ab. Andererseits erfolgt die Abnahme der Trittschalldämmung den vorliegenden Messergebnissen zufolge in gleichem Maße auch dann, wenn - wie in dem Aufbau in Abb. 32 - die Estrichplatte von sich aus bereits eine hohe innere Dämpfung aufweist, so dass die Zusatzdämpfung durch den Dämmstoff keine Rolle spielt. Der Einfluss des Dämmstoffs auf den Verlustfaktor der Estrichplatte ist demnach anscheinend so gering, dass er in der Praxis normalerweise vernachlässigbar ist.

**Luftschall:** Bei teilflächigen Lagerungen verbleiben zwischen den Dämmstoff-Teilstücken luftgefüllte Hohlräume, in denen sich ein Schallfeld (insbesondere in Form von stehenden Wellen) ausbilden kann, das eine zusätzliche Luftschallübertragung zwischen Estrichplatte und Rohdecke bewirkt. Der Effekt wird erheblich abgeschwächt, wenn das Schallfeld in den Hohlräumen durch das Einbringen von Schallabsorptionsmaterial bedämpft wird. Man kennt dies beispielsweise von Gipskarton-Ständerwänden her, bei denen die Befüllung des Hohlraums mit Schallabsorptionsmaterial die Schalldämmung erheblich verbessert. Im übrigen bewirkt auch der Einsatz von Trittschalldämmstoffen aus Fasermaterial, wie z. B. Stein- oder Glaswolle, eine Bedämpfung des Luftschallfeldes, da diese Stoffe, die die Hohlräume seitlich umschließen, gleichfalls Schall absorbieren.

Im Gegensatz zu diesen Überlegungen lassen die vorliegenden Messergebnisse jedoch keinen Einfluss der Luftschallabsorption auf die Trittschallübertragung erkennen. Dies ergibt sich zum einen aus Abb. 30, wo wegen der Verwendung von nicht schallabsorbierenden Trittschall-Dämmplatten aus Polystyrol eigentlich ein besonders starker Einfluss der Auflagefläche auf die Trittschalldämmung zu erwarten wäre, in Wirklichkeit aber das Gegenteil eintritt. Zum anderen ist auch in Abb. 32, wo die Hohlräume im Gegensatz zu allen anderen Aufbauten mit Schallabsorptionsmaterial gefüllt waren, keine Abschwächung des Einflusses der Auflagefläche auf die Trittschalldämmung erkennbar. Die Luftschallübertragung in den Hohlräumen kann deshalb im vorliegenden Fall nicht die maßgebende Ursache für die Verschlechterung der Trittschalldämmung sein. Dies gilt außerdem auch deshalb, weil aufgrund des verwendeten Messaufbaus - wie in Abb. 36 zu sehen - keine geschlossenen sondern nur seitlich offene Hohlräume vorhanden waren, was die Luftschallübertragung zusätzlich abschwächt.

Nachdem die Bedämpfung der Estrichplatte durch den Dämmstoff und die Luftschallübertragung in den Hohlräumen als Ursachen für die Verminderung der Trittschalldämmung bei teilflächigen Lagerungen ausscheiden, ist zu vermuten, dass der Effekt in

Zusammenhang mit der Dicke der Dämmschicht steht. Um dies zu untersuchen, wurde deshalb eine weitere Messreihe durchgeführt, die im nachfolgenden Abschnitt beschrieben ist.

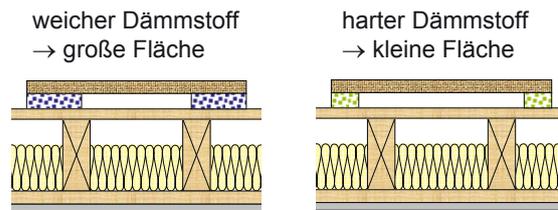
### 6.1.2 Variation der Lagerfläche: verschiedene Dämmstoffe

Da die Ursachen für die beobachtete Verminderung der Trittschalldämmung bei teilflächigen Lagerungen bislang noch unklar sind, wurde eine weitere Messreihe dazu durchgeführt. Ziel der Messungen war es, die Auflagefläche des Estrichs so zu variieren, dass dabei sowohl die Resonanzfrequenz als auch die Dicke der Dämmschicht unverändert blieben. Dies wurde durch den Einsatz verschiedenartiger Dämmstoffe mit gleicher Dicke aber unterschiedlicher dynamischer Steifigkeit erreicht. Dabei wurde zunächst die Steifigkeit der Dämmstoffe nach DIN EN 29052-1 bestimmt. Anschließend wurde die erforderliche Auflagefläche berechnet und ein Versuchsaufbau erstellt, dessen Resonanzfrequenz gemessen wurde. Durch den Vergleich von Ist- und Sollwert der Resonanzfrequenz konnte die Auflagefläche dann so angepasst werden, dass ich für alle Aufbauten die gleiche Resonanzfrequenz ergab.

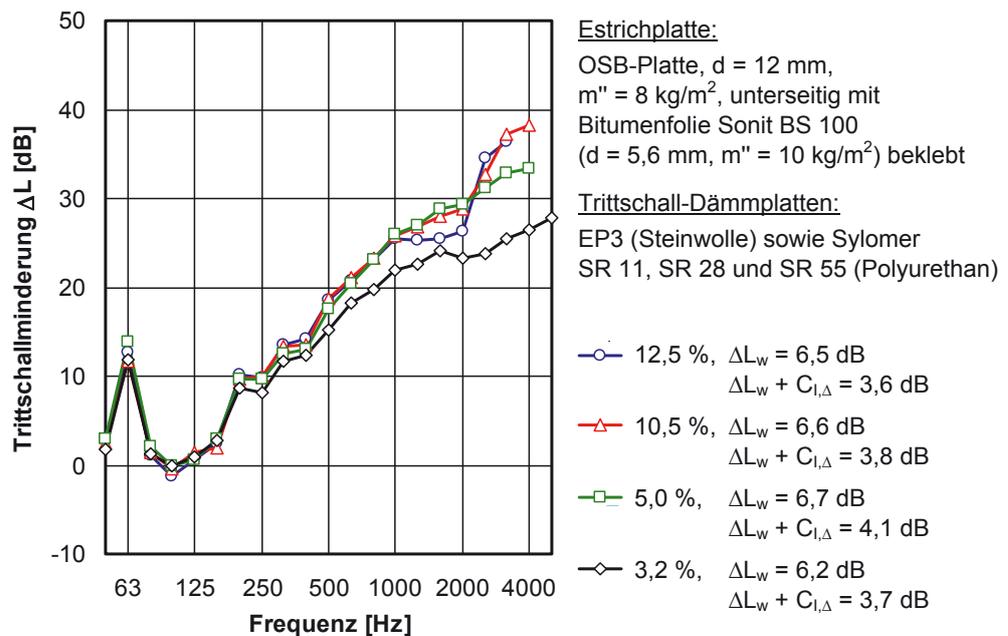
Die Estrichplatte der untersuchten Aufbauten bestand aus einer 12 mm dicken OSB-Platte mit einer flächenbezogenen Masse von  $8 \text{ kg/m}^2$ , die auf der Unterseite mit einer Bitumenfolie (Steinbach Sonit BS 100,  $d = 5,6 \text{ mm}$ ,  $m'' = 10 \text{ kg/m}^2$ ) beklebt war. Die Platte war auf fünf quadratischen Dämmstoff-Teilstücken jeweils gleicher Größe gelagert, die unter den vier Ecken und der Mitte der Estrichplatte angeordnet waren. Es wurden folgende Dämmstoffe mit einer Dicke von jeweils 12 mm eingesetzt (genaue Angaben siehe Tab. 3):

Auflagefläche 12,5 %:	Isover Akustic EP 3 (Steinwolle), 5 Teilstücke á 158 mm x 158 mm,
Auflagefläche 10,5 %:	Sylomer SR 11 (Polyurethan, gelb), 5 Teilstücke á 145 mm x 145 mm,
Auflagefläche 5,0 %:	Sylomer SR 28 (Polyurethan, blau), 5 Teilstücke á 100 mm x 100 mm,
Auflagefläche 3,2 %:	Sylomer SR 55 (Polyurethan, grün), 5 Teilstücke á 80 mm x 80 mm,

Die zwischen den Dämmstoff-Teilstücken verbleibenden Hohlräume wurden mit Schallabsorptionsmaterial (Glaswolle Isover Akustic TP 1 mit  $r \geq 5 \text{ kPas/m}^2$ , lose eingelegt) bedämpft. Die Resonanzfrequenz des Estrichs lag bei  $f_0 \cong 130 \text{ Hz}$ . Das Prinzip der zur Herstellung der Versuchsaufbauten verwendeten Vorgehensweise ist in Abb. 34 dargestellt. Die für die verschiedenen Aufbauten ermittelten Messergebnisse sind in Abb. 35 aufgetragen.



**Abb. 34:** Variation der Auflagefläche bei gleicher resultierender Steifigkeit und Höhe der Dämmschicht durch Einsatz verschiedener Dämmstoffe (schematisch).



**Abb. 35:** Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs mit teilflächiger elastischer Lagerung bei Variation der Auflagefläche zwischen 3,2 % und 12,5 % der Gesamtfläche. Die Resonanzfrequenz (Rechenwert  $f_0 \cong 130 \text{ Hz}$ ) und die Dicke der Dämmschicht ( $d \cong 12 \text{ mm}$ ) waren bei allen Messungen gleich. Die Hohlräume zwischen den Dämmstoff-Teilstücken waren mit Schallabsorptionsmaterial (Glaswolle Iover Akustic TP 1 mit  $r \geq 5 \text{ kPa/m}^2$ , lose eingelegt) gefüllt.

Aus den in Abb. 35 dargestellten Messergebnissen ist zu entnehmen, dass die Trittschalldämmung der untersuchten elastischen Lagerungen bei gleichbleibender Resonanzfrequenz und konstanter Dicke der Dämmschicht kaum noch von der Größe der Auflagenfläche abhängt. Die bei den vorangehenden Versuchsaufbauten bei Verkleinerung der Auflagefläche und gleichzeitiger Verminderung der Dämmstoffdicke beobachtete Verschlechterung der Trittschalldämmung verschwindet demnach, wenn die Dämmstoffdicke konstant gehalten wird und stattdessen Dämmstoffe mit unterschiedlicher dynamischer Steifigkeit verwendet werden. Hieraus ergeben sich die im folgenden beschriebenen Erkenntnisse:

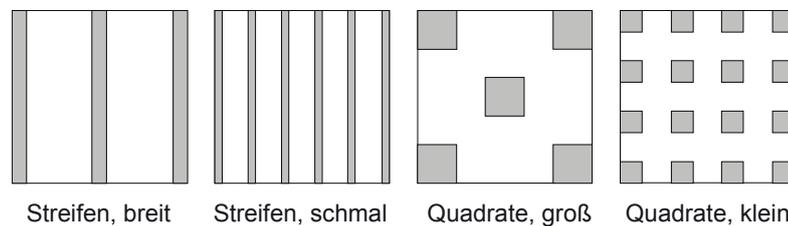
- Bei teilflächig gelagerten schwimmenden Estrichen tritt bei Verringerung der Auflagefläche eine Verschlechterung der Trittschalldämmung ein, sofern die Verkleinerung

rung der Fläche - um eine gleichbleibende Resonanzfrequenz des Estrichs zu gewährleisten - zusammen mit einer entsprechenden Verminderung der Dämmstoffdicke erfolgt. Auch wenn die akustischen Zusammenhänge derzeit noch nicht genau bekannt sind, geht aus den vorhandenen Messdaten klar hervor, dass hierbei die Dicke der Dämmschicht die maßgebende akustische Einflussgröße darstellt. Da auch die Art des Dämmstoffs eine Rolle spielt (bei geschäumten Materialien ist der Effekt deutlich schwächer ausgeprägt als bei Faserstoffen), ist zu vermuten, dass stehende Wellen in der Dämmschicht dabei eine wichtige Rolle spielen.

- Aus den obigen Aussagen ergibt sich im Umkehrschluss, dass schwimmende Estriche mit dicker Dämmschicht bei gleicher dynamischer Steifigkeit gegenüber dünnen Dämmstoffschichten akustische Vorteile aufweisen. Die Übertragung dieser Erkenntnis in die bauliche Praxis scheidet allerdings im Normalfall daran, dass am Bau - insbesondere im Bereich der Altbausanierung - zur Erhaltung der Deckenhöhe der Räume Estrichkonstruktionen mit möglichst geringer Bauhöhe bevorzugt werden.
- Erfolgt die Veränderung der Auflagefläche des Estrichs bei gleichbleibender Dämmstoffdicke (durch den Einsatz von Trittschall-Dämmstoffen mit unterschiedlicher dynamischer Steifigkeit), so findet keine Verschlechterung der Trittschalldämmung statt. Allerdings unterbleibt auch die erhoffte Verbesserung, so dass teilflächige schwimmende Estriche nach derzeitigem Kenntnisstand im Holzbau keine akustischen Vorteile bieten.

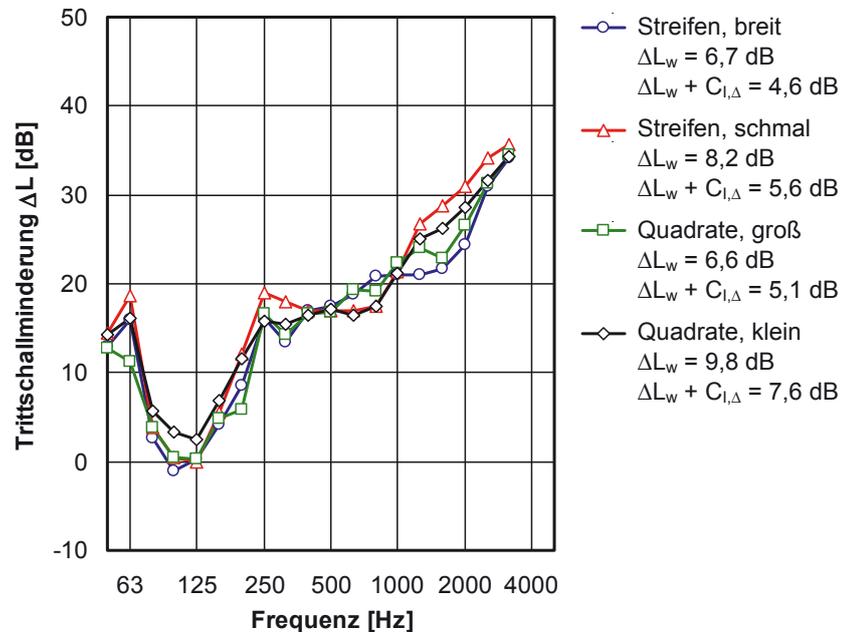
### 6.1.3 Einfluss des Verlegemusters

Im vorangehenden Abschnitt wurde gezeigt, dass sich durch die teilflächige Lagerung schwimmender Estriche im Normalfall keine wesentliche Verbesserung der Trittschalldämmung erreichen lässt. Daher ist zu vermuten, dass auch die unterschiedliche Verteilung des Dämmstoffs unterhalb der Estrichplatte nur geringen akustischen Einfluss hat. Um Gewissheit hierüber zu erhalten, wurde eine Messreihe durchgeführt, bei der der Dämmstoff bei gleichbleibender Gesamtfläche in unterschiedlichen Verlegemustern (in Streifen oder Quadraten mit unterschiedlicher Größe) unter der Estrichplatte angeordnet wurde. Es wurden vier verschiedene Verlegemuster untersucht, die in der nachfolgenden Abbildung dargestellt sind:



**Abb. 36:** Unterschiedliche Verteilung des Dämmstoffs unter der Estrichplatte zur Untersuchung des Einflusses des Verlegemusters auf die Trittschalldämmung. Der Flächenanteil des Dämmstoffs an der Gesamtfläche des für die Untersuchungen verwendeten Estrich-Teilstücks (mit einer Fläche von 1,0 m x 1,0 m) lag einheitlich bei 25 %.

Der bei den Messungen verwendete Estrich bestand aus einer 24 mm dicken OSB-Platte mit einer flächenbezogenen Masse von  $m'' = 15 \text{ kg/m}^2$ , die auf einer Dämmschicht aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3 mit  $d = 12 \text{ mm}$  und  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ) auflag, wobei sich die Auflagefläche wie bereits erwähnt auf 25 % der Gesamtfläche belief. Der Dämmstoff war vierlagig verlegt, was einer berechneten Resonanzfrequenz von ca. 95 Hz entsprach. Die für den beschriebenen Aufbau gemessenen Werte sind in Abb. 37 aufgetragen:



**Abb. 37:** Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs mit teilflächiger elastischer Lagerung für unterschiedliche Verlegemuster des Dämmstoffs unter der Estrichplatte. Der Aufbau des verwendeten Estrichs ist im vorangehenden Text beschrieben. Eine Darstellung der Verlegemuster ist in Abb. 36 enthalten.

Wie sich der obigen Abbildung entnehmen lässt, sind zwar Unterschiede zwischen den Messkurven erkennbar, insgesamt gesehen ist der Einfluss des Verlegemusters auf die Trittschalldämmung jedoch vergleichsweise gering. Dies gilt um so mehr, als der verwendete Versuchsaufbau wegen der geringen Größe der Estrichplatte von lediglich 1,0 m x 1,0 m besonders ausgeprägte Eigenschwingungen aufweist, so dass sich die Art der Lagerung (insbesondere die Position der Auflagepunkte auf der Dämmschicht) besonders stark auf das akustische Verhalten auswirkt. Für vollflächige Estriche in üblicher Größe ist deshalb von einem noch geringeren Einfluss des Verlegemusters auf die Trittschalldämmung auszugehen.

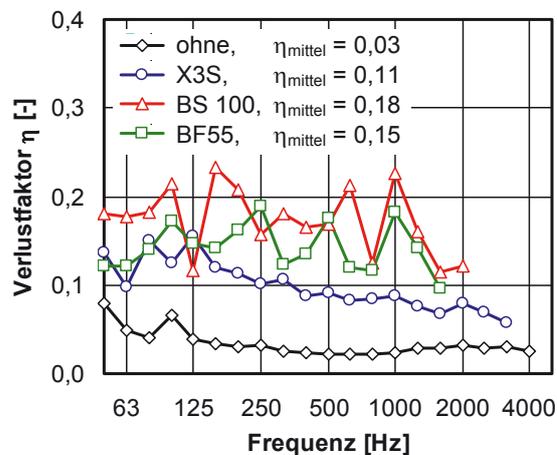
## 6.2 Bedämpfung der Estrichplatte

Nachdem die in den vorangehenden Abschnitten beschriebene teilflächige elastische Lagerung der Estrichplatte nicht den gewünschten Erfolg erbrachte, wurde als zweite akustische Verbesserungsmaßnahme die zusätzliche Bedämpfung des Estrichs untersucht. Hierzu wurde die Estrichplatte mit aufgeklebten Dämpfungsbelägen versehen,

die - vorwiegend für den Einsatz im Fahrzeug- und Maschinenbau - als fertige, einseitig selbstklebende Produkte auf dem Markt erhältlich sind. Dabei wurden im ersten Schritt zunächst geeignete Beläge ausgesucht und beschafft, wobei bereits vorhandene Messergebnisse als Hilfsmittel dienen [49]. Da sich die Herstellerangaben und die erwähnten Untersuchungsergebnisse ausschließlich auf die Verklebung auf Blechen beziehen, war es als nächstes erforderlich, den Verlustfaktor der Dämpfungsbeläge in Verbindungen mit einer bauüblichen Estrichplatte zu erproben. Hierzu kam selbstverständlich nur ein Trockenestrich infrage, da mineralische Estriche wegen ihrer hohen Masse für den Einsatz von Dämpfungsbelägen ungeeignet sind. Die Bestimmung des Verlustfaktors erfolgte, wie in Abschnitt 4.7 beschrieben, durch Messung der Körperschall-Nachhallzeit. Dabei wurden folgende Beläge untersucht (genaue Beschreibung siehe Tab. 4):

- X3S (bitumenfreie Schwerfolie mit  $m'' = 4,8 \text{ kg/m}^2$ ),
- BS 100 (Bitumenfolie mit  $m'' = 10 \text{ kg/m}^2$ ),
- BF55 (Bitumenfolie mit  $m'' = 10 \text{ kg/m}^2$ ),
- Kunststoff-Entdröhnfolie mit  $m'' = 5,0 \text{ kg/m}^2$ .

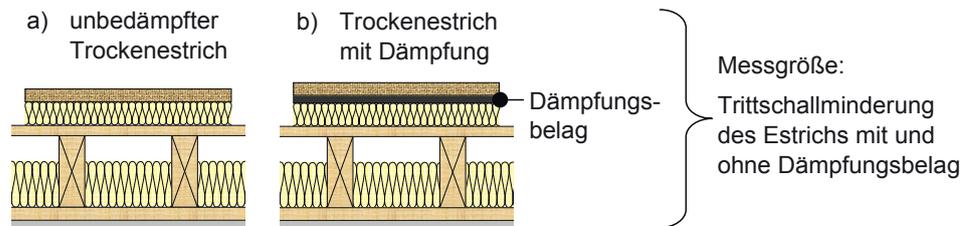
Da die Kunststoff-Folie nicht die gewünschte akustische Wirkung aufwies, wurden die weiteren Messungen auf die drei erstgenannten Produkte beschränkt. Der für diese Beläge in Verbindung mit einer 24 mm dicken OSB-Platte ermittelte Verlustfaktor ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:



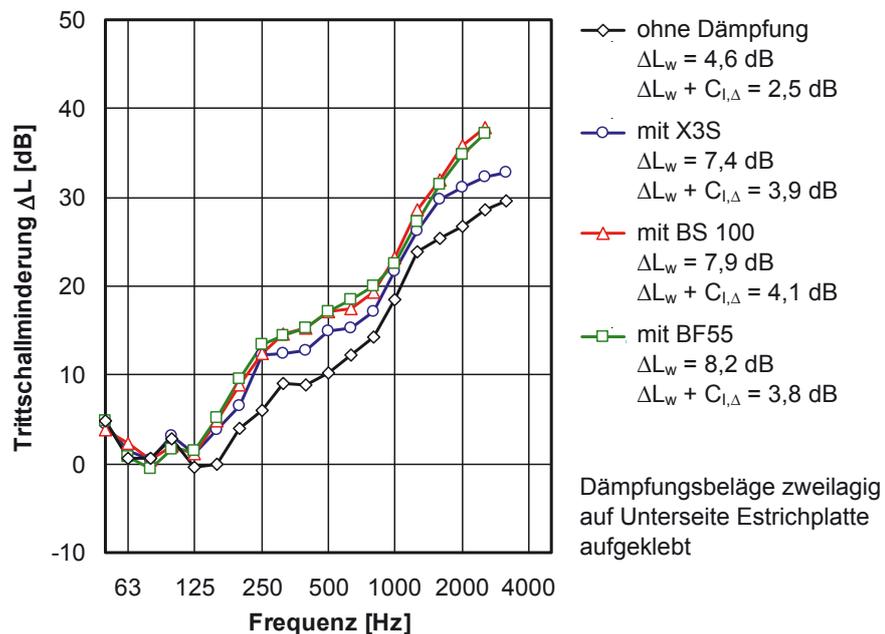
**Abb. 38:** Verlustfaktor einer 24 mm dicken OSB-Platte (1,0 m x 1,0 m,  $m'' = 15 \text{ kg/m}^2$ ) in Verbindung mit drei verschiedenen Dämpfungsbelägen. Die Beläge waren jeweils zweilagig auf die Unterseite der Platte aufgeklebt. Zum Vergleich ist außerdem der Verlustfaktor der unbedämpften Platte ohne Beläge mit aufgeführt. Die Berechnung des in der Legende angegebenen Mittelwerts erfolgte durch arithmetische Mittelung der Terzwerte im Frequenzbereich von 100 Hz bis 1000 Hz.

Wie aus der obigen Abbildung zu ersehen ist, vergrößern die Dämpfungsbeläge den Verlustfaktor der OSB-Platte erheblich, wobei der Belag mit der Bezeichnung BS 100 die beste Wirkung zeigt. Für die weiteren Untersuchungen wurde daher nur noch die-

ser Belag eingesetzt. Zunächst wurde aber noch für die vier Aufbauten aus Abb. 38 gemäß der in Abb. 39 dargestellten Vorgehensweise die resultierende Trittschallminderung bestimmt. Wie sich aus den Ergebnissen in Abb. 40 entnehmen lässt, wächst die Trittschallminderung erwartungsgemäß mit zunehmendem Verlustfaktor der Estrichplatte an. Dies gilt auch für die Einzulangaben und zwar - im Verhältnis zum jeweiligen Ausgangswert - in etwa gleichem Maße sowohl für die bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$ , als auch für die Summe  $\Delta L_w + C_{l,\Delta}$  (mit  $C_{l,\Delta}$  = Spektrum-Anpassungswert nach DIN EN ISO 717-2).



**Abb. 39:** Versuchsanordnung zur Untersuchung des Einflusses von Dämpfungsbelägen auf die Trittschallminderung von Trockenestrichen. Bei den in Abb. 38 und Abb. 40 dargestellten Messungen waren die Dämpfungsbeläge jeweils zweilagig angebracht. Der verwendete Trockenestrich bestand aus einer 24 mm dicken OSB-Platte mit  $m'' = 15 \text{ kg/m}^2$ , die vollflächig auf einer Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3,  $d = 12 \text{ mm}$ ,  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ) auflag.

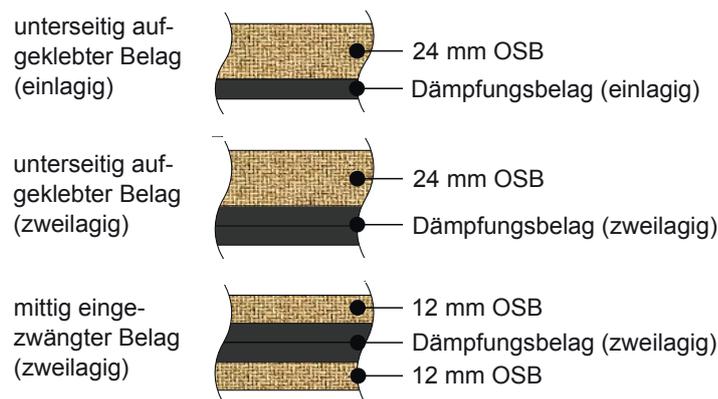


**Abb. 40:** Resultierende Trittschallminderung für die vier Aufbauten aus Abb. 38. Die drei untersuchten Beläge waren jeweils zweilagig auf die Unterseite der Estrichplatte (24 mm OSB,  $m'' = 15 \text{ kg/m}^2$ ) aufgeklebt.

Bei den oben dargestellten Werten ist zu berücksichtigen, dass die Dämpfungsbeläge nicht nur den Verlustfaktor der Estrichplatte erhöhen, sondern die Platte auch beschwe-

ren. Die akustische Wirkung setzt sich demnach aus einer Kombination von Bedämpfung und Beschwerung zusammen. In der Praxis erweist es sich leider als schwierig, diese beiden Anteile voneinander zu trennen. Zwar bestünde im Prinzip die Möglichkeit, als Referenzaufbau eine dickere Estrichplatte zu verwenden, deren Masse der Gesamtmasse von untersuchter Estrichplatte zuzüglich Dämpfungsbelag entspricht. Da dickere OSB-Platten - insbesondere bei dem verwendeten kleinflächigen Versuchsaufbau - jedoch andere Schwingungsmoden als dünne Platten aufweisen, kann es hier (im Gegensatz zu vollflächigen Massivdecken, bei denen eine Erhöhung der Dicke immer eine Verbesserung der Trittschalldämmung bewirkt) durchaus auch zu akustischen Verschlechterungen kommen. Da eine direkte Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit und ohne Dämpfungsbelag im Hinblick auf den Einfluss des Verlustfaktors somit nicht gegeben ist, wird im folgenden ausschließlich der durch Dämpfung und Beschwerung bewirkte Gesamteffekt betrachtet.

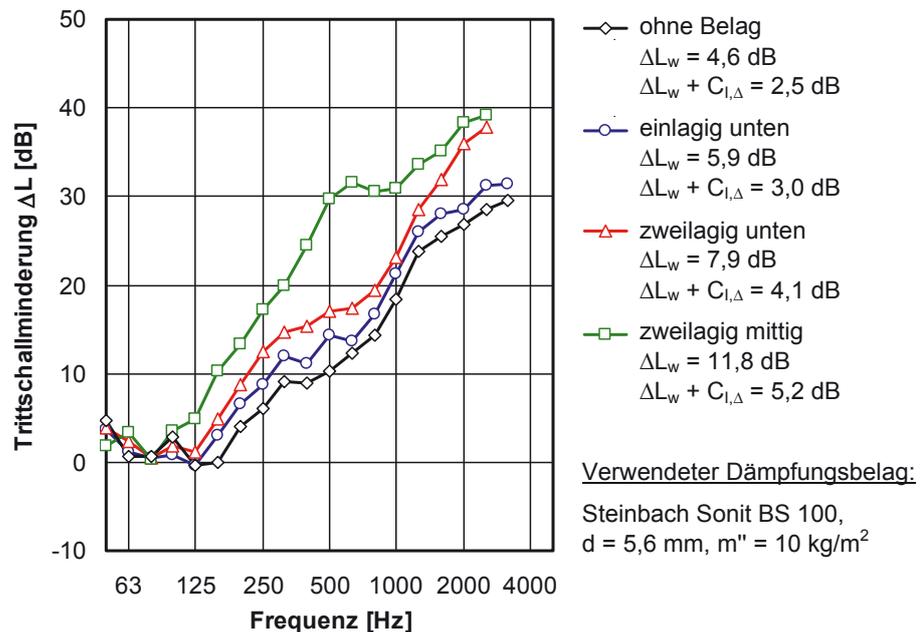
Nach Auswahl des am besten geeigneten Dämpfungsbelags wurde im nächsten Schritt erprobt, wie sich die Dicke der Dämpfungsschicht (ein- oder mehrlagige Anbringung des Belags) und die Anbringung an der Estrichplatte (unterseitig oder mittig als Kern eines Sandwichelements) auf die Trittschallminderung auswirken. Die hierbei verwendeten Versuchsaufbauten sind in Abb. 41 beschrieben:



**Abb. 41:** Versuchsaufbauten zur Untersuchung unterschiedlicher Varianten der Anbringung von Dämpfungsbelägen an der Estrichplatte. Als Dämpfungsbelag wurde bei allen Aufbauten Sonit BS 100 mit  $d = 5,6$  mm und  $m'' = 10$  kg/m<sup>2</sup> eingesetzt. Die oben dargestellte Estrichplatte war jeweils vollflächig auf einer Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3,  $d = 12$  mm,  $s' = 38$  MN/m<sup>3</sup>) gelagert. Da der verwendete Dämpfungsbelag nur einseitig selbstklebend ausgestattet war und die Verwendung anderer Klebstoffe im Hinblick auf die erforderliche haftstarke Verbindung zwischen Belag und Estrich zu unsicher erschienen, wurden die ober- und unterseitige OSB-Platte bei Herstellung des mittig eingezwängten Belags, wie in Abb. 15 dargestellt, mittels Zylinderschrauben und Einschlagmuttern zusammengepresst.

Die für die in Abb. 41 beschriebenen Aufbauten ermittelten Messergebnisse sind in Abb. 42 dargestellt. Die wichtigsten Aussagen aus den Ergebnissen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Durch den Einsatz von Dämpfungsbelägen aus Bitumen oder ähnlichem Material lässt sich die Trittschallminderung von schwimmenden Estrichen in Trockenbauweise deutlich verbessern. Die Wirkung ist um so höher, je dicker und damit schwerer die dämpfende Schicht ist (zur Vergrößerung der Schichtdicke können auch mehrere Beläge aufeinander geklebt werden). Die akustischen Verbesserungen erfolgen im gesamten Frequenzbereich oberhalb von etwa 100 Hz, insbesondere jedoch bei mittleren und hohen Frequenzen.
- Neben der Dicke der Dämpfungsbeläge spielt auch die Art der Anbringung eine wichtige Rolle. In Übereinstimmung mit den Ausführungen in VDI 3727, Blatt 1 erweisen sich eingezwängte Beläge (Sandwich-Bauweise mit dem Dämpfungsbelag als Kern der Konstruktion) hierbei als akustisch besonders günstig. Unter den bei den durchgeführten Untersuchungen vorhandenen Randbedingungen (11,2 mm dicke Bitumenschicht mit  $m'' = 20 \text{ kg/m}^2$  in Verbindung mit zwei 12 mm dicken OSB-Platten mit  $m'' = 2 \times 8 \text{ kg/m}^2$ ) konnte mit dieser Bauweise eine Verbesserung der bewerteten Trittschallminderung von  $\Delta L_w \cong 7 \text{ dB}$  erreicht werden.
- Die durch die Dämpfungsbeläge bewirkten akustischen Verbesserungen sind auf den kombinierten Effekt von Dämpfung und Beschwerung zurückzuführen, wobei die Verbesserungen deutlich höher ausfallen, als dies bei alleiniger Erhöhung der Masse der Fall wäre. Im Normalfall lässt sich die Wirkung von Dämpfung und Beschwerung nicht voneinander trennen, sondern muss in ihrer Gesamtheit betrachtet werden.



**Abb. 42:** Gemessene Trittschallminderung für die in Abb. 41 dargestellten Versuchsaufbauten.

### 6.3 Wirkung auf unterschiedlichen Decken

Alle bislang beschriebenen Untersuchungen wurden auf der in Abb. 12 und Abb. 13 dargestellten Holzbalken-Rohdecke durchgeführt. Daher stellt sich die Frage, ob die

entwickelten Verbesserungsmaßnahmen auf Holzbalkendecken mit anderem Aufbau akustisch in gleicher oder ähnlicher Weise wirken. Um dies zu untersuchen, wurde ein akustisch optimierter Trockenestrich nach der Erprobung auf der oben genannten Holzbalken-Rohdecke nacheinander auf zwei weitere Holzbalkendecken aufgelegt, die im Prüfstand vorhanden waren und für die Messungen zur Verfügung standen. Hier die wichtigsten Angaben (Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  und zugehöriger Spektrum-Anpassungswert  $C_{1,50-2500}$ ) zu den drei verwendeten Decken:

Decke Nr. 1: Holzbalken-Rohdecke nach DIN EN ISO 10140-5, Anhang C,  $L_{n,w} = 68,5$  dB,  $C_{1,50-2500} = 2,3$  dB,

Decke Nr. 2: fertige Holzbalken-Rohdecke mit Trockenestrich aus Gipsfaser-Platten,  $L_{n,w} = 45,1$  dB,  $C_{1,50-2500} = 13,1$  dB,

Decke Nr. 3: fertige Holzbalken-Rohdecke mit schwimmendem Estrich in mineralischer Bauweise (Zementestrich),  $L_{n,w} = 31,1$  dB,  $C_{1,50-2500} = 19,6$  dB.

Der Aufbau der Decken Nr. 2 und 3 ist in Anhang A3 dokumentiert (Konstruktionsskizzen in den Abbildungen A.3.1 und A.3.2). In dem Anhang ist außerdem ein Diagramm mit der für die drei Decken gemessenen Trittschalldämmung enthalten (Abb. A.3.3).

Im Gegensatz zu Decke Nr. 1 handelt es sich bei den Decken Nr. 2 und 3 nicht um Rohdecken, sondern um fertige, gebrauchsfähige Holzbalkendecken. Normalerweise ist es nicht üblich, auf solche Decken zusätzlich noch einen Trockenestrich aufzulegen. Im vorliegenden Fall wurde es dennoch getan, weil sich die Bandbreite der untersuchten Deckenkonstruktionen dadurch beträchtlich erweitert (dass es sich bei den drei verwendeten Decken um äußerst unterschiedliche Konstruktionen handelt, ist schon aus den oben aufgeführten Einzahlangaben ersichtlich). Wenn die untersuchten Verbesserungsmaßnahmen auf diesen drei Decken wirksam sind, gilt dies auch für fast alle anderen bauüblichen Deckenkonstruktionen.

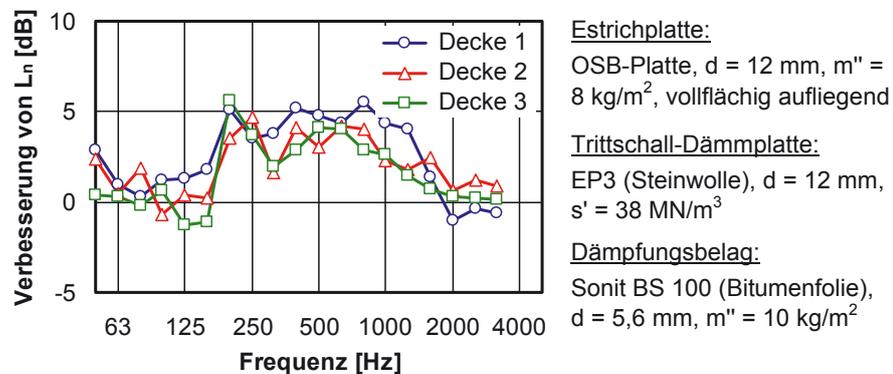
Der für die Untersuchungen verwendete Trockenestrich bestand aus einer 12 mm dicken OSB-Platte mit einer flächenbezogenen Masse von  $m'' = 8$  kg/m<sup>2</sup>, die vollflächig auf einer 12 mm dicken Trittschalldämm-Platte aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3) mit einer dynamischen Steifigkeit von  $s' = 38$  MN/m<sup>3</sup> auflag. Als akustische Verbesserungsmaßnahme wurde auf die Unterseite der Estrichplatte eine Bitumenfolie (Steinbach Sonit BS 100 mit  $d = 5,6$  mm und  $m'' = 10$  kg/m<sup>2</sup>) aufgeklebt. Als Mess- und Beurteilungsgröße diente die durch die Bitumenfolie bewirkte Verminderung des Norm-Trittschallpegels.

Da sich die bewertete Trittschallminderung im vorliegenden Fall nicht angeben lässt (sie ist für fertige Decken nicht definiert) und die Verbesserung des Norm-Trittschallpegels bekanntlich selbst bei Massivdecken von Decke zu Decke unterschiedlich ausfällt, ist die Anwendung von Einzahlangaben bei den hier durchgeführten Vergleichsmessungen an unterschiedlichen Holzbalkendecken nicht möglich. Anders verhält es sich hingegen, wenn man den Frequenzverlauf der Trittschalldämmung (also z. B. die entsprechenden Terzspektren) betrachtet. So sollte die Verbesserung des Norm-Trittschallpegels durch

den Dämpfungsbelag,  $\Delta L_n = L_{n,unbedämpft} - L_{n,bedämpft}$ , vom Deckenaufbau unabhängig sein, sofern folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Der Trockenestrich vermindert lediglich die in die Decke eingeleitete Körperschall-Leistung, beeinflusst aber nicht das Schwingungsverhalten der Decke.
- Die akustische Wechselwirkung zwischen Trockenestrich und Decke ist vernachlässigbar.

Da davon auszugehen ist, dass die obigen Voraussetzungen im vorliegenden Fall mit hinreichender Genauigkeit zutreffen, ist zu erwarten, dass die Verbesserung  $\Delta L_n$  bei allen untersuchten Decken näherungsweise übereinstimmt. Wie die in Abb. 43 dargestellten Messergebnisse zeigen, ist dies in der Praxis tatsächlich der Fall, so dass sich die Verbesserung des Trittschallpegels durch den Dämpfungsbelag von der für die Messungen verwendeten Rohdecke in Terzen näherungsweise auf - im Prinzip beliebige - andere Holzbalkendecken übertragen lässt.



**Abb. 43:** Verbesserung des Norm-Trittschallpegels durch einen unterseitig auf die Estrichplatte eines Trockenestrichs aufgeklebten Dämpfungsbelag. Die Messungen erfolgten auf drei unterschiedlichen Holzbalkendecken, die im vorangehenden Text beschrieben sind. Die wichtigsten technischen Angaben zu Trockenestrich und Dämpfungsbelag sind der Beschriftung der Abbildung zu entnehmen.

Da alle drei untersuchten Decken in bauakustischen Prüfständen eingebaut waren, fand im Gegensatz zur Situation am Bau keine Schallübertragung über die flankierenden Wände statt. Daher stellt sich die Frage, ob die obigen Aussagen zur Übertragbarkeit der Messwerte auf andere Decken auch für Holzbalkendecken am Bau zutreffen oder ob dort gegebenenfalls aufgrund von Flankenübertragung mit einer verminderten akustischen Wirkung zu rechnen ist. Dass letzteres nicht der Fall ist und auch am Bau - bezogen auf die Terzwerte des Trittschallpegels - mit den gleichen Verbesserungen wie im Prüfstand zu rechnen ist, ergibt sich aus folgender einfacher Überlegung: Der am Trockenestrich angebrachte Dämpfungsbelag setzt lediglich die in die Decke eingeleitete Körperschall-Leistung herab, die von dort über verschiedene Wege (durch die Decke hindurch und über die flankierenden Wände) in den Empfangsraum unterhalb der Decke übertragen wird. Für die resultierende Verminderung des Trittschallpegels im Empfangsraum ist es gleichgültig, in welchem Maße die einzelnen Wege zur Schallübertra-

gung beitragen, da es lediglich auf die Gesamtbilanz der Schall-Leistung ankommt. Wird die in die Decke eingeleitete Körperschall-Leistung beispielweise um 3 dB herabgesetzt, so sinkt auch der Trittschallpegel im Empfangsraum um 3 dB ab, unabhängig davon, welche Übertragungswege zwischen Decke und Empfangsraum vorhanden sind. Dies gilt zumindest dann, wenn der Trockenestrich - z. B. unter Verwendung geeigneter Randdämmstreifen - fachgerecht eingebaut wird, so dass zwischen dem Estrich und den Wänden keine mechanische Verbindungen (sogenannte Körperschallbrücken) bestehen.

## 7 Messergebnisse an gebundenen Schüttungen

Die Untersuchungen zum Einfluss gebundener Schüttungen auf die Trittschalldämmung von Holzbalkendecken fanden an dem in Abb. 20 dargestellten verkleinerten Messaufbau statt. Der Aufbau bestand aus einer Messkammer mit einem Volumen von ca.  $1,1 \text{ m}^3$ , auf deren offener Oberseite ein Ausschnitt aus einer praxisüblichen Holzbalken-Rohdecke mit den Maßen  $L \times B = 1,50 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$  montiert war. Auf diese Rohdecke wurden die untersuchten Schüttungen aufgebracht und darauf wiederum - um eine funktionsfähige Fertigdecke zu erhalten - schwimmende Estriche und Bodenbeläge in unterschiedlicher Bauweise aufgelegt.

Die untersuchten Schüttungen (Grundfläche  $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$ ) bestanden aus Splitt, der mit unterschiedlichen Bindemitteln versetzt wurde. Bei einem Teil der Schüttungen erfolgte der Einbau in Kombination mit zusätzlichen akustischen Verbesserungsmaßnahmen, wie z. B. elastischen Auflagen oder vertikalen Trennfugen zur Elementierung der Schüttung. Die Gesamtmasse der Schüttung wurde hierbei stets konstant gehalten und betrug  $90 \pm 2 \text{ kg}$ . Mit Ausnahme einer einzigen Messungen fanden sämtliche Untersuchungen mit dem gleichen Schüttgut (Basaltsplitt, Körnung 5 - 8 mm, Dichte ca.  $1500 \text{ kg/m}^3$ ) statt. Wenn im folgenden ohne nähere Spezifikation einfach nur von Splitt die Rede ist, so ist damit daher immer die genannte Art von Splitt gemeint.

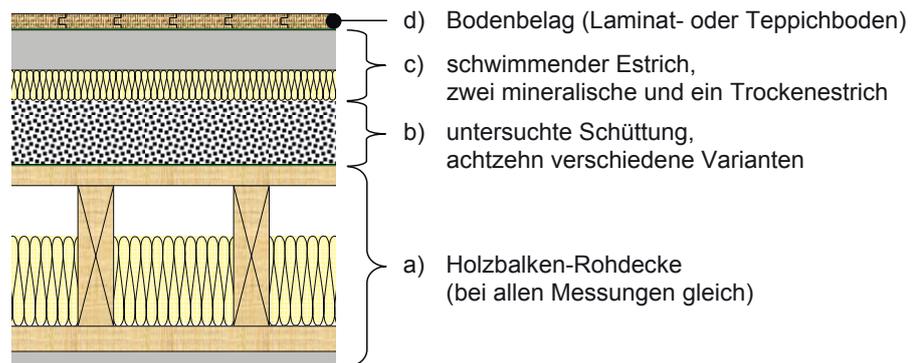
Die Anregung des Messaufbaus erfolgte mit einem Norm-Hammerwerk, als Messgröße diente der resultierende Schallpegel in der Messkammer, aus dem gemäß DIN EN ISO 10140-3 durch eine rechnerische Korrektur zur Berücksichtigung der Nachhallzeit der Norm-Trittschallpegel gebildet wurde. Wegen des verhältnismäßig kleinen Volumens der Messkammer, das zuverlässige Messungen bei tiefen Frequenzen nicht zuließ, wurden die Untersuchungen auf den Frequenzbereich von 100 - 5000 Hz beschränkt, so dass die Frequenzen unter 100 Hz natürlich auch bei der Berechnung des Spektrum-Anpassungswertes  $C_1$  nicht mit einbezogen werden konnten.

Als Einzahlangabe zur Kennzeichnung der Messergebnisse diente neben dem bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  außerdem die Verbesserung von  $L'_{n,w}$  durch die gebundene Schüttung, die sich aus der Differenz der ohne und mit Schüttung gemessenen Werte von  $L'_{n,w}$  ergibt. Die für die untersuchten Deckenaufbauten ohne Schüttung ermittelten Messwerte sind in den Anlagen A.4.1 bis A.4.3 dokumentiert. Um die Übereinstimmung mit dem menschlichen Höreindruck unter realen Bedingungen (d. h. bei Anregung der Decke durch gehende Personen) zu verbessern, wurde außerdem jeweils noch der Spektrum-Anpassungswert  $C_1$  mit einbezogen.

Da eine große Anzahl von Messungen an zahlreichen verschiedenen Aufbauten durchgeführt wurde, wird zum besseren Verständnis im folgenden zunächst kurz die Systematik der verwendeten Vorgehensweise erläutert. Anschließend folgen dann eine Beschreibung der untersuchten Schüttungen sowie Darstellung und Diskussion der ermittelten Messergebnisse.

## 7.1 Systematik und Vorgehensweise

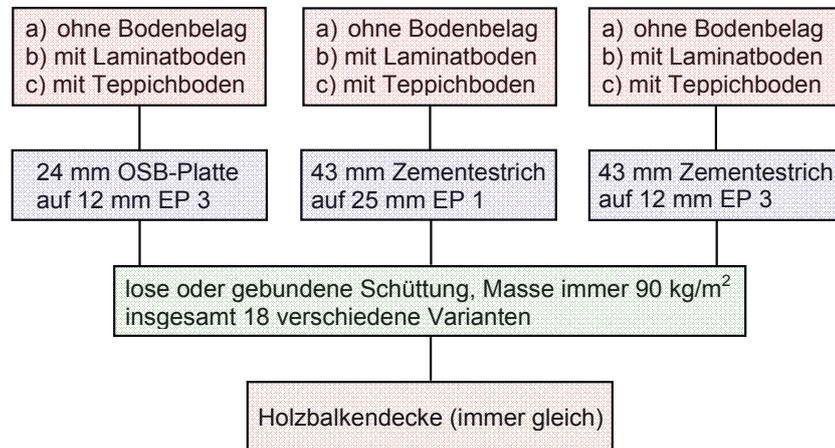
Zum besseren Verständnis der Systematik der durchgeführten Untersuchungen ist es am einfachsten, den Aufbau der Decke von unten nach oben zu betrachten (siehe Abb. 44):



**Abb. 44:** Grundaufbau der untersuchten Deckenkonstruktionen mit kurzer Beschreibung der einzelnen Komponenten.

- Die Grundlage aller untersuchten Deckenaufbauten bildete die in Abb. 24 beschriebene Holzbalken-Rohdecke. Die Decke blieb während der gesamten Messreihe unverändert und es waren in dieser Zeit - wie Kontrollmessungen ergaben - auch keine merklichen Veränderungen der akustischen Eigenschaften festzustellen.
- Gebundene Schüttungen bildeten das zentrale Thema der durchgeführten Untersuchungen. Deshalb wurden Messungen an einer großen Anzahl unterschiedlicher Konstruktionsvarianten durchgeführt (insgesamt achtzehn verschiedene Varianten), die sich im Hinblick auf das verwendete Bindemittel, das Schüttgut sowie zusätzliche Verbesserungsmaßnahmen, wie z. B. elastische Zwischen- und Unterlagen, voneinander unterschieden. Eine genaue Beschreibung der verschiedenen Varianten ist im nachfolgenden Abschnitt enthalten.
- Auf jede der untersuchten Schüttungen wurden nacheinander drei verschiedene schwimmende Estriche aufgebracht. Dabei handelte es sich um zwei mineralische Estriche (Zementestriche) und einen aus einer OSB-Platte bestehenden Trockenestrich. Die technischen Daten der drei schwimmenden Estriche sind in Tab. 7 beschrieben.
- Bei den Messungen erfolgte die Trittschallanregung zunächst - wie in den entsprechenden Normen vorgesehen - direkt auf der Estrichplatte. Zusätzlich wurden dann noch jeweils die beiden in Abschnitt 5.2.2 beschriebenen Bodenbeläge (ein Laminat- und ein Teppichboden) nacheinander auf den Estrich aufgelegt und die Trittschallmessungen wiederholt.

Für jede der achtzehn untersuchten Schüttungen ergaben sich auf diese Weise neun verschiedene Messwerte (für drei verschiedene schwimmende Estriche, jeweils ohne Bodenbelag sowie mit Laminat- und Teppichboden). Zusammen mit den Messungen an den Deckenaufbauten ohne Schüttung umfassten die Untersuchungen somit insgesamt etwa 170 Trittschallmessungen. In Abb. 45 ist die durchgeführte Messreihe im Überblick dargestellt:



**Abb. 45:** Überblick über die an gebundenen Schüttungen durchgeführte Messreihe.

## 7.2 Beschreibung der Versuchsaufbauten

Im folgenden wird der Aufbau der achtzehn gebundenen Schüttungen, die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersucht wurden, im Detail beschrieben. Da dabei wegen der großen Anzahl unterschiedlicher Konstruktionen die Übersicht leicht verloren gehen kann, wurden die Schüttungen gemäß den Zielen und der Systematik der durchgeführten Messreihe in acht verschiedene Gruppen unterteilt:

Kurzbezeichnung	Merkmale der Gruppe
Referenz	lose Schüttung ohne Bindemittel
marktübliche Bindemittel	Schüttung mit marktüblichen Bindemitteln verfestigt
Entdrönmassen	Einsatz von Entdröhn- und Dichtmassen als Bindemittel
Dämpfungsbeläge	Dämpfungsbeläge in loses Schüttgut eingelegt
Vliese	Vlies-Auflage auf gebundener Schüttung
elastische Lagerung	Schüttung mit elastischer Zwischen- oder Unterlage
Korngröße	Variation des Korngröße des Splitts
Elementierung	Elementierung der Schüttung durch vertikale Trennfugen

**Tab. 8:** Unterteilung der untersuchten Schüttungen in Gruppen mit übereinstimmenden Merkmalen. Neben den im folgenden bei der Ergebnisdarstellung zur Gliederung der Messdaten verwendeten Kurzbezeichnungen der Gruppen sind jeweils ihre wichtigsten Merkmale aufgeführt.

Die nachfolgende Beschreibung der untersuchten Schüttungen ist nach den in Tab. 8 beschriebenen Gruppen gegliedert. Neben der Beschaffenheit der Schüttungen sind außerdem die Nummer des Messaufbaus sowie - als unterstrichener Text - die jeweilige Kurzbezeichnung mit angegeben, die bei der Darstellung der Messergebnisse zur Kennzeichnung der verschiedenen Schüttungen dient.

### 1) Referenz

#### 1 Loser Splitt

Als Referenzaufbau zur Beurteilung der akustischen Wirkung der untersuchten Bindemittel wurde eine lose, ungebundene Schüttung aus Basaltsplitt (Körnung 5 - 8 mm) mit einer Dicke von ca. 60 mm und einer flächenbezogenen Masse von 90,2 kg/m<sup>2</sup> verwendet (Kurzbezeichnung loser Splitt). Da nach bisherigem Kenntnisstand eine Verfestigung der Schüttung die Trittschalldämmung der Decke herabsetzt, sollte der für die lose Schüttung gemessene Trittschallpegel bei ansonsten gleichem Aufbau die Untergrenze der für die gebundenen Schüttungen gemessenen Werte bilden.

### 2) Marktübliche Bindemittel

Zur akustischen Erprobung handelsüblicher Bindemittel wurden vier verschiedene Produkte untersucht (technische Daten siehe Tab. 5):

#### 2.1 Splitt mit Köhnke K102

Schüttung durch Zugabe von 1,9 % Köhnke K102 (Latex-Dispersion) gebunden.

#### 2.2 Splitt mit StoPrefa Coll SB organ.

Schüttung durch Zugabe von 1,7 % StoPrefa Coll SB organ. (organische Klebmasse, Zusammensetzung unbekannt) gebunden.

#### 2.3 Splitt mit StoPrefa Coll SB mineral.

Schüttung durch Zugabe von 8,4 % StoPrefa Coll SB mineral. (mineralische Klebmasse, Zusammensetzung unbekannt) gebunden.

#### 2.4 Splitt mit QuickBalance

Schüttung durch Zugabe von 10,3 % Zement und 0,1 % QuickBalance (Erhärtungsbeschleuniger) gebunden.

Während die beiden erstgenannten Bindemittel eine elastische Verbindung zwischen den Körnern der Schüttung bewirkten (beim Anheben der Schüttung am äußeren Rand bog sich die Platte durch, einzelne Körner ließen sich mit geringem Kraftaufwand aus der Schüttung herauslösen), ergab sich bei Verwendung von StoPrefa Coll SB mineral. ein deutlich festeres Gefüge (keine merkliche Durchbiegung beim Anheben). Die mit QuickBalance gebundene Schüttung wies die mit Abstand größte Festigkeit auf und bildete eine harte und steife Platte.

### 3) Entdröhnmassen

Um die innere Dämpfung der Schüttungen zu erhöhen und auf diese Weise die Trittschalldämmung zu verbessern, wurden die oben beschriebenen marktüblichen Bindemittel versuchsweise durch Entdröhn- bzw. Dichtmassen ersetzt (die technischen Daten

sind gleichfalls in Tab. 5 aufgeführt). Da eine hinreichende innere Dämpfung des Schüttgutes eine ausreichende Menge an Entdröhnmasse erfordert, kam bei der Herstellung eine entsprechend große Menge an Material zum Einsatz:

#### 3.1 Splitt mit Antiphon

Schüttung durch Zugabe von 12,5 % Antiphon (Entdröhnmasse auf Basis einer Kunstharzdispersion) gebunden.

#### 3.2 Splitt mit Terophon

Schüttung durch Zugabe von 8,3 % Terophon (Entdröhnmasse auf Basis einer Kunstharzdispersion) gebunden.

#### 3.3 Splitt mit Combidic

Schüttung durch Zugabe von 20,5 % Combidic (zweikomponentige Bitumendickbeschichtung zur Abdichtung von Bauwerken) gebunden.

Beim Einsatz von Antiphon und Terophon als Bindemittel entstand zwischen den Körnern des Schüttguts eine feste Verbindung, die allerdings eine erhebliche geringere Steifigkeit als bei einer zementgebundenen Schüttung (QuickBalance) aufwies. Hierbei war bei Antiphon im Vergleich zu Terophon eine deutlich höhere Festigkeit zu verzeichnen. Bei Verwendung von Combidic ergab sich demgegenüber eine zwar stabile aber dennoch elastische Konsistenz der Schüttung. Da die verwendeten Entdröhn- und Dichtmassen eigentlich für den Einsatz im Fahrzeug- und Maschinenbau und nicht für die Bindung von Schüttgut vorgesehen sind, härteten sie nur langsam aus und sind deshalb - zumindest in ihrer derzeitigen Form - für den praktischen Einsatz als Bindemittel im Holzbau nur bedingt geeignet.

### **4) Dämpfungsbeläge**

Eine weitere Möglichkeit, um die innere Dämpfung von Schüttungen zu erhöhen, besteht darin, Dämpfungsbeläge mit hohem Verlustfaktor in das Schüttgut integrieren. Im vorliegenden Fall kam eine 5,6 mm dicke Bitumenfolie der Steinbach AG mit der Bezeichnung Sonit BS 100 (technische Daten siehe Tab. 6) zum Einsatz, die vollflächig in bzw. unter dem Splittbett verlegt wurde:

#### 4.1 BS 100, einlagig, mittig in loseem Splitt

Dämpfungsbelag BS 100 einlagig mittig in ungebundener Schüttung (loser Splitt ohne Bindemittel) verlegt.

#### 4.2 BS 100, zweilagig, unter loseem Splitt

Dämpfungsbelag BS 100 zweilagig auf Rohdecke als Unterlage für ungebundene Schüttung verlegt.

Um das Eigengewicht der Dämpfungsbeläge von ca. 10 kg/m<sup>2</sup> je Lage auszugleichen und die Gesamtmasse der Schüttung nicht zu verändern, wurde bei der Herstellung eine entsprechend verringerte Menge an Schüttgut verwendet.

## 5) Vliese

Bei den beiden untersuchten Vliesen (btf-Flüstermatte und Schutzvlies der Wolf Bavaria GmbH) handelte es sich um 3 - 4 mm dicke Matten, die trotz ihrer geringen Dicke eine verhältnismäßig niedrige dynamische Steifigkeit aufwiesen. Eine kurze Beschreibung ist in Tab. 6 enthalten. Der Einsatz der Vliese wurde von den beteiligten Industriepartnern vorgeschlagen, die sich davon deutliche akustische Verbesserungen versprachen. Der Einbau erfolgte gemäß Herstellerangabe vollflächig zwischen Schüttung und schwimmendem Estrich. Das Vlies wurden hierbei lose auf die Schüttung aufgelegt. Anschließend wurde dann der schwimmende Estrich aufgebracht, so dass sich das Vlies zwischen Trittschall-Dämmplatte und Schüttung befand.

### 5.1 Flüstermatte auf Splitt mit Köhnke K102

Flüstermatte zwischen gebundene Schüttung (Bindemittel Köhnke K102) und schwimmendem Estrich eingelegt.

### 5.2 Schutzvlies auf Splitt mit Köhnke K102

Schutzvlies zwischen gebundene Schüttung (Bindemittel Köhnke K102) und schwimmendem Estrich eingelegt.

## 6) Elastische Lagerung

Obleich der schwimmende Estrich bereits elastisch gelagert ist, kann eine weitere elastische Lagerung unter der Schüttung unter Umständen akustische Vorteile bringen. Um dies zu untersuchen, wurden drei verschiedene Varianten betrachtet, bei denen zwischen Rohdecke und Schüttung jeweils ein Vlies bzw. eine Trittschall-Dämmplatte eingelegt wurde.

### 6.1 Flüstermatte, vier Trennlagen, in losem Splitt

Elastische Lagerung aus vier Vlies-Lagen (btf-Flüstermatte). Hierbei befand sich je eine Lage des Vlieses unter- und oberhalb der Schüttung, die aus losem Splitt ohne Bindemittel bestand. Die beiden übrigen Lagen wurden so in das Schüttgut eingelegt, dass sich drei separate Schichten aus Splitt mit einer Höhe von je 20 mm ergaben.

### 6.2 EP 3, einlagig, unter Splitt mit Terophon

Gebundene Schüttung (Entdröhnmasse Terophon 118 als Bindemittel) mit Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3,  $d = 12 \text{ mm}$ ,  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ) unterlegt.

### 6.3 EP 3, einlagig, unter losem Splitt

Lose Schüttung mit Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3,  $d = 12 \text{ mm}$ ,  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ) unterlegt.

Unter Verwendung der Flüstermatte ergab sich eine äußerst weiche Lagerung, die sich schon mit verhältnismäßig geringem Kraftaufwand von Hand zusammendrücken ließ. Daher wäre eine Anwendung in der baulichen Praxis mit diesem Aufbau im Normalfall nicht möglich. Die Lagerung der Schüttung auf Dämmplatten aus Steinwolle (EP 3) war demgegenüber erheblich steifer (keine merkliche Einsenkung unter Last), so dass sie als anwendungstaugliche Lösung anzusehen ist.

## 7) Korngröße

### 7 Splitt (Körnung 1 - 3 mm) mit Köhnke K102

Um zu untersuchen, ob die Korngröße des Schüttgutes Einfluss auf die Trittschalldämmung der Decke hat, wurde der ansonsten bei allen anderen Messungen verwendete Splitt (Basaltsplitt mit Körnung 5 - 8 mm) durch feineren Basaltsplitt mit der Korngröße 1 - 3 mm ersetzt. Abgesehen von der Korngröße des Schüttgutes stimmte die untersuchte Konstruktion in allen anderen Punkten mit dem Messaufbau Nr. 2.1 (gebundene Schüttung mit Bindemittel Köhnke K102) überein, so dass sich die Ergebnisse der beiden Messungen direkt miteinander vergleichen lassen.

## 8) Elementierung

Da die Elementierung schwingender Platten (d. h. die Unterteilung der Platten in einzelne, unabhängig voneinander schwingende Teilflächen durch Trennschnitte) vielfach eine Verbesserung der Schalldämmung bewirkt, liegt es nahe, dieses Prinzip auch auf Schüttungen zu übertragen. Hierzu wurden vor dem Aufbringen der Schüttung auf der Oberseite der Rohdecke (bzw. auf der darauf befindlichen dünnen Abdeckfolie) quadratische Waben aus Pappe mit den Maßen  $L \times B \times H = 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$  angebracht. In diese Waben wurde dann die mit dem Bindemittel (Köhnke K102) versetzte Splitt-Schüttung eingefüllt, wobei die Pappe in der Art einer verlorenen Schalung auch nach dem Aushärten des Bindemittels in der Schüttung verblieb (siehe Abb. 23). Da die Streifen aus Pappe nur 50 mm hoch waren, während die Schüttung eine Höhe von ca. 60 mm aufwies, waren die einzelnen Segmente der Waben nicht vollständig, sondern nur teilweise voneinander getrennt. Als Vergleichskonstruktion mit - abgesehen von der Elementierung - gleichartigem Aufbau diente die Schüttung Nr. 2.1.

Als alternative Form der Elementierung wurde die Schüttung in einem zweiten Versuchsaufbau durch Betonplatten (Maße  $L \times B \times H = 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ ) ersetzt, die ohne Unterlage lose auf der Rohdecke auflagen und bei lückenloser Verlegung und entsprechend zugeschnittenen Randelementen mit 91,5 kg nahezu die gleiche Gesamtmasse wie die untersuchten Schüttungen aufwiesen. Da die Beschwerung von Holzbalkendecken mit Betonplatten in der Vergangenheit vielfach üblich war, ließen sich aus den durchgeführten Untersuchungen Aussagen über die Schallschutzwirkung der früher gebräuchlichen Bauweise im Vergleich zur heute üblichen Verwendung von Schüttungen ableiten.

### 8.1 Splitt mit Köhnke K102, elementiert

Gebundene Schüttung (Bindemittel Köhnke K102) mit 60 mm Höhe, durch eingelegte 3 mm dicke und 50 mm hohe Streifen aus Pappe in 20 cm x 20 cm große Felder unterteilt.

### 8.2 Betonplatten, 30 cm x 30 cm, lose verlegt

Beschwerung der Decke durch lückenlos lose verlegte Betonplatten ( $L \times B \times H = 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ ) an Stelle der bislang untersuchten Schüttungen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die achtzehn untersuchten Schüttungen im Hinblick auf ihre Systematik und Nomenklatur in kurzer Form zusammengefasst. Die gleiche

Nomenklatur wird anschließend auch in den Diagrammen mit den ermittelten Messergebnissen verwendet.

Gruppe	Nr.	Kurzbezeichnung
Referenz	1	loser Splitt
marktübliche Bindemittel	2.1	Splitt mit Köhnke K102
	2.2	Splitt mit StoPrefa Coll SB organ.
	2.3	Splitt mit StoPrefa Coll SB mineral.
	2.4	Splitt mit QuickBalance
Entdröhnmassen	3.1	Splitt mit Antiphon
	3.2	Splitt mit Terophon
	3.3	Splitt mit Combidic
Dämpfungsbeläge	4.1	BS 100, einlagig, mittig in losem Splitt
	4.2	BS 100, zweilagig, unter losem Splitt
Vliese	5.1	Flüstermatte auf Splitt mit Köhnke K102
	5.2	Schutzvlies auf Splitt mit Köhnke K102
elastische Lagerung	6.1	Flüstermatte, vier Trennlagen, in losem Splitt
	6.2	EP 3, einlagig, unter Splitt mit Terophon
	6.3	EP 3, einlagig, unter losem Splitt
Korngröße	7	Splitt (Körnung 1 - 3 mm) mit Köhnke K102
Elementierung	8.1	Splitt mit Köhnke K102, elementiert
	8.2	Betonplatten, 30 cm x 30 cm, lose verlegt

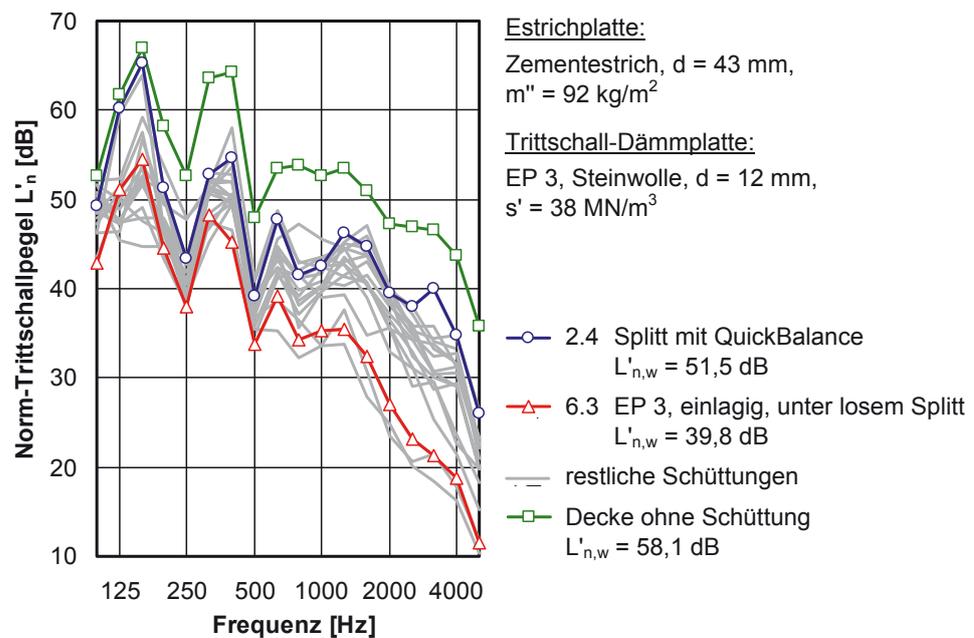
**Tab. 9:** Übersicht über die achtzehn untersuchten Schüttungen mit Einteilung in Gruppen verwandter Konstruktionen, Nummer der Schüttung und Kurzbezeichnung des Messaufbaus.

### 7.3 Messergebnisse

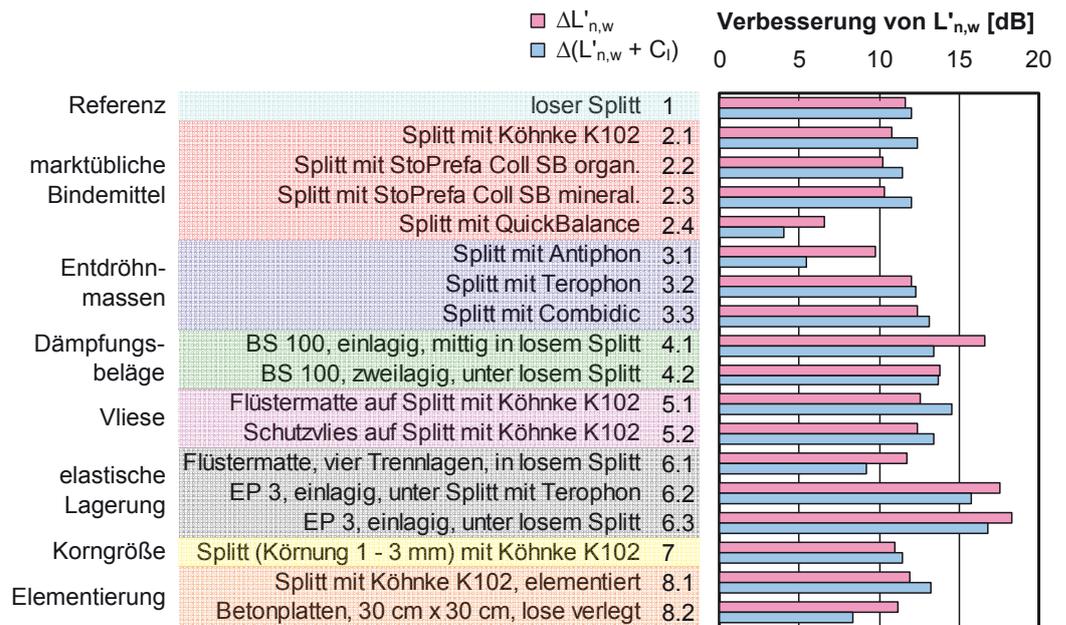
Die an Schüttungen durchgeführten Untersuchungen umfassten Messungen an achtzehn verschiedenen Konstruktionsvarianten, deren Ergebnisse nachfolgend beschrieben und diskutiert werden. Da zu jeder Schüttung neun Messkurven vorhanden sind (für Trittschallmessungen in Verbindung mit drei verschiedenen schwimmenden Estrichen, die jeweils ohne Bodenbelag sowie mit Laminat- und Teppichboden erfolgten), ergibt sich insgesamt eine so große Datenmenge, dass die Darstellung aller Werte hier nicht sinnvoll erscheint. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich deshalb vor allem auf die Messungen, die ohne Bodenbelag (d. h. mit dem Hammerwerk direkt auf der Estrichplatte) durchgeführt wurden. Diese Messungen haben für die Praxis die größte Bedeutung, da sie als Grundlage für den Nachweis der gesetzlichen Schallschutzanforderungen dienen (austauschbare Bodenbeläge, wie Laminat- und Teppichböden, sind beim Schallschutznachweis nach DIN 4109 nicht anrechnungsfähig).

Erfolgt die Anregung auf einem trittschallmindernden Bodenbelag, so ergibt sich zwar - insbesondere bei hohen Frequenzen - ein deutlich geringerer Schallpegel, im Hinblick auf die akustische Verbesserungswirkung von Schüttungen fallen die Unterschiede zwischen den mit und ohne Belag gemessenen Werten jedoch erheblich geringer aus. Von den Messungen auf Laminat- und Teppichboden sind deshalb vor allem Informationen über die Wechselwirkung zwischen Belag und Estrich, aber keine wesentlichen neuen Erkenntnisse für das Forschungsvorhaben zu erwarten. Die entsprechenden Messergebnisse sind im Anhang dokumentiert (Abbildungen A.4.4 bis A.4.15), werden im folgenden aber nicht genauer diskutiert.

Um einen Eindruck über den Einfluss von Schüttungen auf die Trittschalldämmung von Holzbalkendecken zu gewinnen, ist es am günstigsten, zunächst nur Messungen zu betrachten, die am gleichen Estrich durchgeführt wurden. Ein geeignetes Beispiel hierfür sind die in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellten Ergebnisse, die für den Estrich Nr.1 (Zementestrich auf Trittschall-Dämmplatte Isover Akustic EP 3, technische Daten siehe Tab. 7) ermittelt wurden. Der Frequenzverlauf des gemessenen Trittschallpegels ist in Abb. 46 dargestellt, die zugehörigen Einzulangaben sind Abb. 47 zu entnehmen.



**Abb. 46:** Norm-Trittschallpegel der Decke in Abhängigkeit von der Frequenz für die achtzehn in Abschnitt 7.2 beschriebenen Schüttungen. Die Messungen erfolgten in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich in mineralischer Bauweise (Angaben zum Estrich sind in der Legende aufgeführt). Die Schüttung mit dem höchsten Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  (also die akustisch ungünstigste Variante) ist als blaue Kurve, die Schüttung mit dem niedrigsten Wert als rote Kurve dargestellt (Nummer und Kurzbezeichnung der beiden Schüttungen sind der Legende zu entnehmen). Die Messkurven für alle übrigen Schüttungen sind ohne Beschriftung als graue Linien eingezeichnet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel für die Decke ohne Schüttung wiedergegeben (grüne Kurve).



**Abb. 47:** Einzahlangaben zu den in Abb. 46 dargestellten Messkurven. Neben der Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , ist außerdem die auf die Summe  $L'_{n,w} + C_1$  bezogene Verbesserung dargestellt (hierbei bezeichnet  $C_1$  den Spektrum-Anpassungswert für den Trittschallpegel nach DIN EN ISO 717-2). In der Achsenbeschriftung sind von links nach rechts die Bauteilgruppe nach Tab. 8 sowie die Kurzbezeichnung und die Nummer der jeweiligen Schüttung aufgeführt.

Wie sich den beiden obigen Abbildungen entnehmen lässt, weisen zwar alle Messkurven einen ähnlichen Frequenzverlauf auf, hinsichtlich der Höhe des Trittschallpegels besteht jedoch große Unterschiede. Die starken Schwankungen im Verlauf der Kurven, die besonders bei tiefen Frequenzen in Erscheinung treten und gleichermaßen in fast allen Messungen sichtbar sind, werden durch Eigenschwingungen der Estrichplatte hervorgerufen, die in Zusammenhang mit den kleinen Abmessungen der Platte (1,0 m x 1,0 m) stehen. Die hier verwendete Estrichplatte aus Zement ist wegen ihrer Steifigkeit, ihrer hohen Masse und der geringen inneren Dämpfung besonders anfällig für Eigenschwingungen, während der Effekt bei dem untersuchten Trockenestrich gemäß den in Abb. 50 dargestellten Messergebnissen eine deutlich geringere Rolle spielt. Da der Einfluss der Eigenschwingungen in allen Messungen vorhanden ist, hebt er sich bei der Berechnung der akustischen Verbesserung, die sich aus der Differenz der Messwerte ohne und mit Schüttung ergibt, größtenteils wieder auf, so dass die Aussagefähigkeit der ermittelten Ergebnisse kaum beeinträchtigt wird.

Des weiteren fällt auf, dass zwischen der Verbesserung des Norm-Trittschallpegels  $\Delta L'_{n,w}$  und der Verbesserung  $\Delta(L'_{n,w} + C_1)$ , die zur Anpassung der Messwerte an die Trittschallanregung durch gehende Personen mit in die Auswertung aufgenommen wurde, zumeist nur verhältnismäßig geringe Unterschiede bestehen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Spektrum-Anpassungswert  $C_1$  aus den in Abschnitt 5.2.1 beschriebenen messtechnischen Gründen nur für den Frequenzbereich von 100 - 2500 Hz gebildet werden konnte. Würde man die Frequenzen unter 100 Hz mit einbeziehen, was

wegen der geringen Messgenauigkeit in diesem Frequenzbereich im vorliegenden Fall nicht möglich war, würden die Unterschiede zwischen  $\Delta L'_{n,w}$  und  $\Delta(L'_{n,w} + C_i)$  erheblich größer ausfallen.

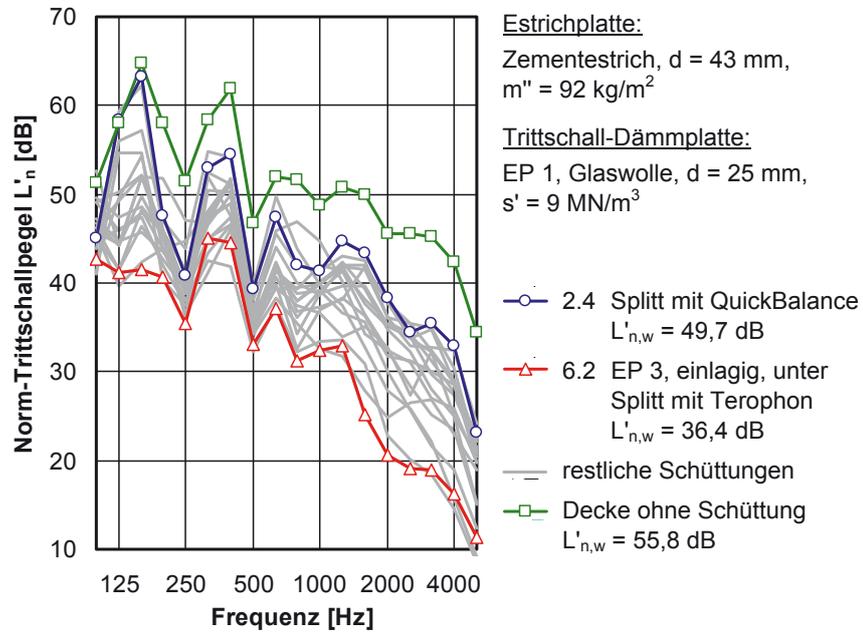
Die beschriebenen messtechnischen Besonderheiten sind bei der Interpretation der ermittelten Ergebnisse zu berücksichtigen. Ausgehend davon ergeben sich aus den in den beiden obigen Abbildungen dargestellten Messwerten wichtige Aussagen über die akustischen Eigenschaften von Schüttungen. Da die Aussagen in ähnlicher Form - wenn auch zahlenmäßig mit teilweise etwas unterschiedlichen Werten - ebenso für die Messungen an den übrigen untersuchten Aufbauten gelten, stellen sie ein zentrales Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen dar:

- Schüttungen - gleichgültig ob in loser oder gebundener Form - bewirken immer eine Verbesserung der Trittschalldämmung. Allerdings kann die Verbesserung bei gleicher Gesamtmasse abhängig vom Aufbau der Schüttung sehr unterschiedlich ausfallen und hängt außerdem auch von der Frequenz ab. In Abb. 46 sind die Zusammenhänge deutlich zu erkennen: die Messwerte aller untersuchten Schüttungen liegen im gesamten Frequenzbereich unter der grünen Kurve, die den Vergleichszustand ohne Schüttung repräsentiert (hierbei lag der schwimmende Estrich ohne Schüttung direkt auf der Holzbalken-Rohdecke auf). Für die resultierende Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung ergeben sich gemäß Abb. 47 Werte zwischen  $\Delta L'_{n,w} = 6,6$  dB (Schüttung Nr. 2.4, Splitt mit QuickBalance) und  $\Delta L'_{n,w} = 18,3$  dB (Schüttung Nr. 6.3, EP 3 einlagig unter losem Splitt).
- Bei marktüblichen Bindemitteln bestehen zwischen den verschiedenen Produkten in akustischer Hinsicht kaum Unterschiede, sofern das gebundene Schüttgut eine ausreichende Elastizität bewahrt. Das akustische Verhalten derartiger Schüttungen entspricht weitgehend den Eigenschaften von losem ungebundenem Schüttgut.
- Im Gegensatz zu elastisch gebundenen Schüttungen erweist sich der Einsatz von Zement als Bindemittel (z. B. unter Verwendung des Erhärtungsbeschleunigers QuickBalance) als akustisch ungünstig. Aus dem Schüttgut entsteht eine steife Platte, die in starkem Maße schwingen kann, was die Schallschutzwirkung erheblich herabsetzt. Im Vergleich zu einer losen Schüttung fällt die Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels dadurch etwa 5 - 7 dB niedriger aus. Allerdings gilt dies nur dann, wenn sich auf der Schüttung ein schwimmender Estrich in mineralischer Bauweise befindet. Handelt es sich dabei um einen Trockenestrich, hat die Versteifung des Schüttgutes bei Verwendung zementöser Bindemittel hingegen kaum negative akustische Auswirkungen.
- Werden Materialien mit hoher innerer Dämpfung (wie z. B. geeignete Entdröhn- oder Dichtmassen) als Bindemittel verwendet, so ist gegenüber losem Schüttgut eine geringfügige Verbesserung der Trittschalldämmung von maximal etwa 1 dB zu verzeichnen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass dabei eine elastische Bindung des Schüttgutes erfolgt. Versteift das Bindemittel die Schüttung in zu starkem Maße (wie z. B. bei Antiphon der Fall), überwiegt der negative Einfluss der Versteifung den positiven Einfluss der Dämpfung, so dass sich die akustische Wirkung um etwa 2 - 3 dB vermindert. Da Entdröhn- und Dichtmassen im Ver-

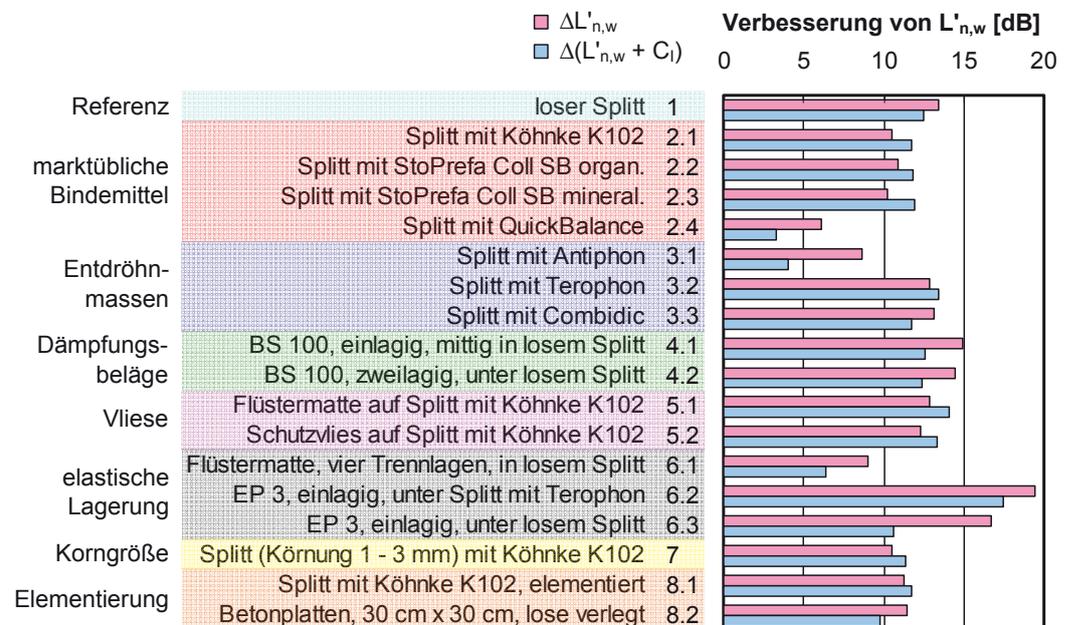
gleich zu herkömmlichen Bindemitteln hinsichtlich der praktischen Anwendung überdies erhebliche Nachteile aufweisen (hohe Kosten, schwierige Verarbeitung, lange Trocknungszeiten, etc.), lohnt sich der Einsatz bei Schüttungen im Holzbau in der Regel nicht.

- Das Einlegen von Dämpfungsbelägen in oder unter loses Schüttgut beeinflusst die Trittschalldämmung der Decke in der Regel nur geringfügig (der für die Schüttung Nr. 4.1 (BS 100, einlagig, mittig in losem Splitt) in Abb. 47 angegebene Wert stellt in dieser Beziehung ein Ausnahme dar, die sich stark von den übrigen Messungen unterscheidet). Die geringe Wirkung der Dämpfungsbeläge ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass zwischen Schüttung und Belag kein vollflächiger kraftschlüssiger Kontakt besteht. Die Verfestigung der Schüttung durch Bindemittel würde den Kontakt möglicherweise verbessern; dies konnte im Rahmen des Forschungsvorhabens jedoch nicht mehr untersucht werden.
- Schallschutz-Vliese, die gemäß der Empfehlung des Herstellers auf die Oberseite der gebundenen Schüttung aufgelegt werden, haben gleichfalls nur geringe akustische Wirkung, die abhängig vom darüber befindlichen schwimmenden Estrich sowohl positiv als auch negativ ausfallen kann. Eine wirksame Maßnahme zur akustischen Verbesserung von Schüttungen stellen die Vliese im Gegensatz zu den entsprechenden Aussagen der Hersteller jedenfalls nicht dar.
- Durch elastische Lagerung der Schüttung lässt sich die Trittschalldämmung der Decke den durchgeführten Untersuchungen zufolge merklich verbessern. Gegenüber einer losen Schüttung mit gleicher flächenbezogener Masse ergibt sich auf diese Weise eine Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels um etwa 5 - 6 dB. Dies wird erreicht, indem die Schüttung mit einer geeigneten Trittschalldämmplatte unterlegt wird, deren dynamische Steifigkeit nicht zu klein sein sollte. Wird die Lagerung zu weich ausgeführt, so tritt statt der gewünschten Verbesserung eine Verschlechterung der Trittschalldämmung ein. Dies ist z. B. bei der Schüttung Nr. 6.1 (Flüstermatte, vier Trennlagen, in losem Splitt) der Fall, bei der das Schüttgut nach dem Prinzip einer mehrstufigen elastischen Lagerung mit integrierten elastischen Zwischenschichten versehen wurde.
- Die Korngröße des Schüttgutes hat bei gleichbleibendem Gesamtgewicht der Schüttung soweit ersichtlich keinen merklichen Einfluss auf die Trittschalldämmung. Dies gilt zumindest für die in dem Forschungsvorhaben untersuchten Korngrößen von 5 - 8 mm und 1 - 3 mm.
- Die Elementierung der Schüttung (d. h. die Unterteilung des Schüttgutes in einzelne Segmente durch trennende Waben) hat gleichfalls nur geringen akustischen Einfluss. Abgesehen davon, dass die Messungen an einer gebundenen Schüttung erfolgten, entsprach die Vorgehensweise dem Einsatz handelsüblicher Wabenplatten, die auf die Decke aufgelegt und mit losem Splitt befüllt werden, wobei die Waben das Schüttgut auf der Decke fixieren. Wird die Schüttung hingegen durch lose verlegte Betonplatten mit gleicher flächenbezogener Masse ersetzt, tritt eine Verschlechterung der Trittschalldämmung ein, die mit etwa 1 - 2 dB im Vergleich zu einer losen Schüttung allerdings nur verhältnismäßig gering ausfällt.

Der zweite schwimmende Estrich, der bei den Messungen untersucht wurde, unterschied sich von dem oben beschriebenen Estrich lediglich durch eine Trittschall-Dämmplatte mit geringerer dynamischer Steifigkeit (Estrich Nr. 2 in Tab. 7). Infolgedessen ergeben sich für diesen Estrich zwar etwas niedrigere Trittschallpegel, hinsichtlich des akustischen Einflusses von Schüttungen bestehen jedoch gemäß den in Abb. 48 und Abb. 49 dargestellten Ergebnissen nur verhältnismäßig geringe Unterschiede.



**Abb. 48:** Gleiche Darstellung wie in Abb. 46, jedoch für einen anderen Estrich (die Angaben zum Estrich sind der Legende zu entnehmen).

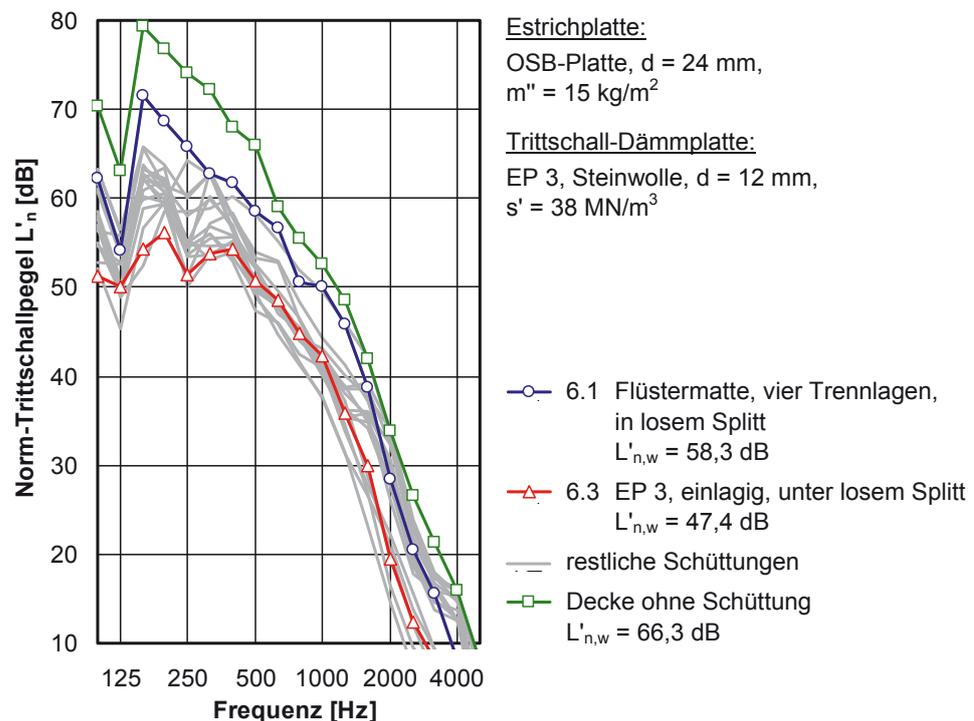


**Abb. 49:** Einzalangaben zu den in Abb. 48 dargestellten Messkurven. Ansonsten gleiche Darstellungsweise wie in Abb. 47.

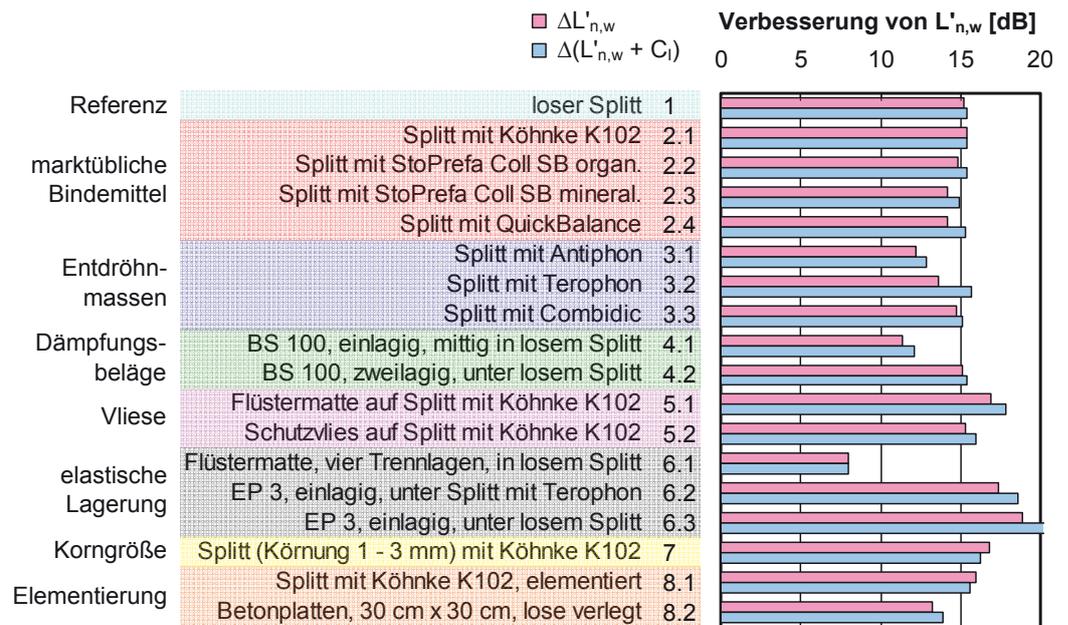
Bei dem dritten untersuchten Estrich handelte es sich um einen Trockenestrich, dessen Resonanzfrequenz aufgrund der verhältnismäßig geringen Masse der Estrichplatte mit ca. 275 Hz deutlich höher als bei den beiden zuvor beschriebenen mineralischen Estrichen lag. Die für den Trockenestrich ermittelten Messergebnisse sind nachfolgend in Abb. 50 und Abb. 51 wiedergegeben.

Im Vergleich zu den beiden mineralischen Estrichen weist die Trittschalldämmung des Trockenestrichs eine deutlich stärkere Frequenzabhängigkeit auf. Dies gilt auch für die Verbesserung der Trittschalldämmung durch die Schüttung, die im tieffrequenten Bereich erheblich größere Werte als bei hohen Frequenzen erreicht. Auch hinsichtlich des bewerteten Norm-Trittschallpegels fällt die Verbesserung beim Trockenestrich gegenüber den mineralischen Estrichen in der Regel deutlich höher aus (im Mittel beträgt der Unterschied etwas mehr als 3 dB). Dies liegt vermutlich vor allem daran, dass die Schüttung die Gesamtmasse der Decke bei einem leichten Trockenestrich im Verhältnis deutlich stärker erhöht als dies bei einem schweren mineralischen Estrich der Fall ist.

Abgesehen davon, dass die Verbesserung der Schalldämmung insgesamt etwas höher liegt und die Unterschiede zwischen den verschiedenen Schüttungen geringer ausfallen, ergeben sich für den Trockenestrich im Wesentlichen die gleichen akustischen Kernaussagen wie bei den mineralischen Estrichen. Dies wird z. B. ersichtlich, wenn man die in Abb. 49 und 51 dargestellten Ergebnisse miteinander vergleicht (auf die Unterschiede bei zementgebundenen Estrichen wurde oben bereits hingewiesen).



**Abb. 50:** Gleiche Darstellung wie in Abb. 46, jedoch für einen anderen Estrich (die Angaben zum Estrich sind der Legende zu entnehmen). Im Gegensatz zu den vorangehenden Abbildungen, die sich auf Estriche in mineralischer Bauweise bezogen, handelt es sich hier um einen Trockenestrich.



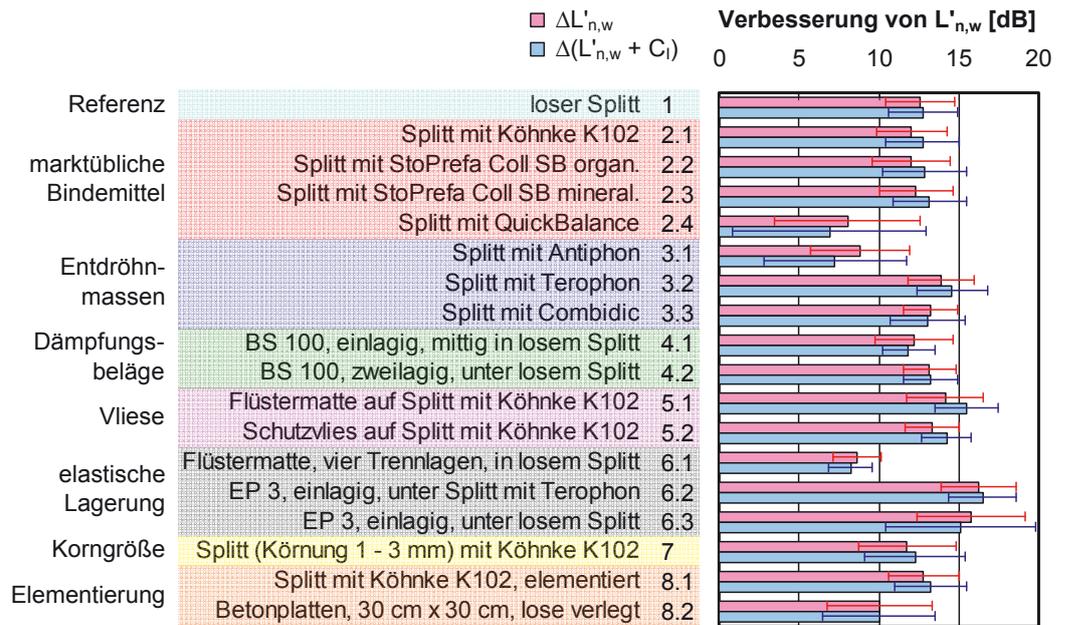
**Abb. 51:** Einzahlangaben zu den in Abb. 50 dargestellten Messkurven. Ansonsten gleiche Darstellungsweise wie in Abb. 47.

Ogleich statistische Aussagen im vorliegenden Fall, wegen der großen Unterschiede zwischen den untersuchten Konstruktionen, mit erheblicher Vorsicht zu bewerten sind, kann eine statistische Auswertung der vorhandenen Messdaten dennoch nützliche Erkenntnisse liefern. Deshalb wurde für jede Schüttung der Mittelwert über alle hierfür vorhandenen Messwerte (d. h. über alle verwendeten Estriche und Bodenbeläge) gebildet und in Abb. 52 aufgetragen. Die Auftragung bestätigt im Grunde die schon vorher zur akustischen Wirkung von Schüttungen getroffenen Aussagen, auch wenn die Unterschiede zwischen den verschiedenen Schüttungen durch die Mittelung weniger deutlich zutage treten. Aus den in der Abbildung eingezeichneten Fehlerbalken (die Länge der Balken entspricht der zweifachen Standardabweichung der Messdaten) geht hervor, dass sich für die akustische Wirkung von Schüttungen abhängig vom Deckenaufbau teilweise beträchtliche Unterschiede ergeben. Wenn man davon ausgeht, dass die Messdaten einer statistischen Normalverteilung unterliegen (was in Wirklichkeit zwar vermutlich nicht der ganz Fall ist, aber zur Orientierung näherungsweise angenommen werden kann), umfasst der von den Fehlerbalken aufgespannte Wertebereich ca. 68 % der gemessenen Werte.

Eine genauere statistische Untersuchung der Daten (z. B. durch Zusammenfassung der Messwerte für die verschiedenen Bodenbeläge) liefert unter anderem folgende Ergebnisse:

- Erfolgt die Trittschallanregung auf dem Laminatboden, fällt die Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , im Mittel etwa 1,5 dB höher aus als auf dem Teppichboden. Ohne Bodenbelag (hierbei steht das Hammerwerk direkt auf dem Estrich) steigt die Verbesserung dann nochmals um 0,5 dB auf insgesamt etwa 13 dB an.

- Für die beiden untersuchten Estriche in mineralischer Bauweise ergibt sich für die Verbesserung im Mittel der gleiche Wert von  $\Delta L'_{n,w} \cong 11$  dB. Im Vergleich dazu fällt die mittlere Verbesserung für den Trockenestrich mit  $\Delta L'_{n,w} \cong 14,5$  dB deutlich höher aus.
- Bei Mittelung über alle durchgeführten Messungen (Schüttungen, Estriche und Bodenbeläge) beträgt der für die Verbesserung berechnete Mittelwert  $\Delta L'_{n,w} = 12,3$  dB. Der vorhandene Wertebereich reicht von  $\Delta L'_{n,w} = 2,4$  dB (Schüttung Nr. 2.4 auf Zementestrich Nr.1 mit Teppichboden) bis  $\Delta L'_{n,w} = 19,5$  dB (Schüttung Nr. 6.3 auf Trockenestrich mit Laminatboden).



**Abb. 52:** Statistische Auswertung aller durchgeführten Messungen. Die für die verschiedenen Schüttungen dargestellten Werte - Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , sowie die unter Einbeziehung des Spektrum-Anpassungswertes  $C_i$  ermittelte Verbesserung  $\Delta(L'_{n,w} + C_i)$  - wurden durch Mittelung über alle für die jeweilige Schüttung vorhandenen Messdaten (d. h. alle verwendeten Estriche und Bodenbeläge) gebildet. Die Länge der eingezeichneten Fehlerbalken entspricht der zweifachen Standardabweichung der Messdaten.

## 8 Zusammenfassung

Gebäude in Holz- und Leichtbauweise weisen in ökonomischer und ökologischer Hinsicht zahlreiche Vorteile auf, beim baulichen Schallschutz bestehen jedoch systembedingt häufig Probleme. Den größten Schwachpunkt hierbei bilden Holzbalkendecken. Ziel des durchgeführten Forschungsvorhabens war deshalb, neuartige Lösungen zur Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzbalkendecken zu entwickeln. Dabei wurden vor allem zwei Themenfelder betrachtet:

- Entwicklung verbesserter Deckenauflagen für den Bereich der Altbausanierung, die bei gleicher Bauhöhe eine höhere Trittschallminderung als herkömmliche Trockenestriche erreichen. Die hierzu durchgeführten Untersuchungen konzentrierten sich vor allem auf schwimmende Estriche mit teilflächiger elastischer Lagerung sowie die zusätzliche Bedämpfung und Beschwerung der Estrichplatte durch geeignete schwingungsdämpfende Beläge.
- In der Praxis ist vielfach die Beschwerung von Holzbalkendecken durch gebundene Schüttungen gebräuchlich. Es wurde untersucht, wie sich die Schüttungen akustisch optimieren lassen, um auf diese Weise Schüttgut einzusparen und die erforderliche Gesamtmasse der Decke herabzusetzen. Die Untersuchungen beschäftigten sich zum einen mit dem akustischen Einfluss des zur Fixierung des Schüttgutes verwendeten Bindemittels, zum anderen wurden alternative Maßnahmen, wie z. B. elastische Auflagen und Trennschnitte, erprobt.

Die Untersuchungen erfolgten auf experimenteller Basis durch Trittschallmessungen in bauakustischen Prüfständen. Um den baulichen Aufwand zur Herstellung der untersuchten Decken zu reduzieren, wurden die Messungen an verkleinerten Aufbauten vorgenommen, bei denen geeignete Ausschnitte aus bauüblichen Decken- und Estrichkonstruktionen betrachtet wurden. Die Aussagefähigkeit der Messergebnisse unterlag trotz der verhältnismäßig geringen Prüffläche keinen Beeinträchtigungen, da die hierzu durchgeführten Vergleichsmessungen eine gute Übereinstimmung mit vollflächigen Holzbalkendecken ergaben.

Die wichtigsten Ergebnisse der an Trockenestrichen durchgeführten Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die teilflächige elastische Lagerung der Estrichplatte bringt bei Holzdecken gegenüber der vollflächigen Verlegung auf Trittschall-Dämmplatten bei gleicher dynamischer Steifigkeit in der Regel keine akustischen Vorteile. Die teilflächige Lagerung ermöglicht es jedoch, die resultierende Steifigkeit der Dämmschicht unter Beibehaltung der vorhandenen Bauhöhe beträchtlich herabzusetzen. Dies führt zu einer Absenkung der Resonanzfrequenz und damit im Normalfall zu einer Verminderung des Trittschallpegels.
- Mit zunehmender Dicke der Dämmschicht steigt die Trittschalldämmung bei gleicher dynamischer Steifigkeit vor allem bei mittleren und hohen Frequenzen beträchtlich an. Dies gilt insbesondere für Dämmstoffe aus Mineralfaser. Praktische Anwendungen für diesen Effekt sind derzeit jedoch nicht erkennbar, da für schwimmende Estriche am Bau normalerweise eine möglichst geringe Einbauhöhe angestrebt wird.
- Im Gegensatz zur teilflächigen elastischen Lagerung stellt die zusätzliche Bedämpfung der Estrichplatte, die beispielsweise durch aufgeklebte Beläge aus Bitumen erfolgen kann, eine wirkungsvolle Maßnahme zur Verbesserung der Trittschalldämmung dar. Allerdings ist die Maßnahme nur bei Trockenestrichen und nicht bei mineralischen Estriichen anwendbar.

- Wegen ihrer nicht unbeträchtlichen Masse ist die akustische Wirkung von Dämpfungsbelägen auf eine Kombination von Bedämpfung und Beschwerung zurückzuführen. Je mehr Masse der Belag im Verhältnis zur Estrichplatte aufweist, desto besser ist die Wirkung. Als besonders vorteilhaft erweist es sich, die dämpfende Schicht in die Estrichplatte zu integrieren (Sandwichkonstruktion aus zwei steifen Außenschalen und einem weichen Dämpfungskern). Mit dieser Bauweise wurde bei den durchgeführten Versuchen bei etwa gleicher Masse von Außenschalen und Kern eine Verminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels von etwa 7 dB erreicht, wobei die Verbesserung allerdings weniger im besonders problembehafteten Bereich tiefer Frequenzen, sondern eher bei mittleren und hohen Frequenzen erfolgte.
- Die an der untersuchten Holzbalkendecke unter Verwendung von Dämpfungsbelägen gemessenen Verbesserungen lassen sich näherungsweise auch auf andere Deckenkonstruktionen übertragen. Allerdings gilt dies nur teilweise und nicht für Einzahlangaben, wie z. B. den bewerteten Norm-Trittschallpegel. Auch beim Einsatz der Beläge am Bau, wo im Gegensatz zum Prüfstand eine zusätzliche Übertragung von Trittschall über die flankierenden Wände erfolgt, bleibt die akustische Wirkung weitgehend erhalten, sofern der Einbau des schwimmenden Estrichs fachgerecht ohne Körperschallbrücken im Randbereich erfolgt.

Die an gebundenen Schüttungen durchgeführten Untersuchungen erbrachten gleichfalls viele neue Erkenntnisse. Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse sind nachfolgend in kurzer Form beschrieben:

- Bei der Beschwerung von Holzbalkendecken durch Schüttungen - gleichgültig ob in loser oder gebundener Form - erfolgt immer eine Verbesserung der Trittschalldämmung. Allerdings kann die Verbesserung abhängig vom Aufbau der Decke und der Beschaffenheit der Schüttung im Einzelfall sehr unterschiedlich ausfallen. Bei Messungen, die an unterschiedlichen Schüttungen mit einer flächenbezogenen Masse von jeweils  $90 \text{ kg/m}^2$  durchgeführt wurden, ergaben sich für die Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels Werte im Bereich von etwa 2 - 20 dB.
- Handelsübliche Bindemittel für Schüttungen unterscheiden sich in akustischer Hinsicht nur unwesentlich, sofern sie eine ausreichende Elastizität des gebundenen Schüttgutes gewährleisten. Von einer Ausnahme abgesehen, war dies bei allen untersuchten Produkten der Fall. Die Schallschutzwirkung elastisch gebundener Schüttungen entspricht bei gleicher Masse weitgehend der Wirkung von losem Schüttgut.
- Im Gegensatz zu elastischen Bindemitteln ist bei zementgebundenen Schüttungen, bei denen das Schüttgut eine steife schwingungsfähige Platte bildet, mit einer deutlichen Beeinträchtigung der akustischen Wirkung zu rechnen. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich auf der Schüttung ein schwimmender Estrich in mineralischer Bauweise befindet. Im Vergleich zu einer losen Schüttung kann der bewertete Norm-Trittschallpegel hier etwa 5 - 7 dB niedriger ausfallen.
- Die meisten der in dem Forschungsvorhaben untersuchten Maßnahmen zur akustischen Optimierung von Schüttungen, wie z. B. Bindemittel mit erhöhter innerer

Dämpfung, Dämpfungsbeläge oder Trennschnitte, erwiesen sich als wenig wirksam. Eine erhebliche Verbesserung der Trittschalldämmung wurde jedoch erreicht, indem zwischen Rohdecke und Schüttung zusätzlich eine elastische Unterlage eingebracht wurde. Mit der bei den Versuchen verwendeten Unterlage (handelsübliche Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle mit 12 mm Dicke und einer dynamischen Steifigkeit von etwa  $40 \text{ MN/m}^3$ ) ergab sich gegenüber dem direkten Aufbringen des Schüttgutes auf die Rohdecke eine Absenkung des bewerteten Norm-Trittschallpegels um etwa 5 - 6 dB.

- Die früher übliche Bauweise, bei der die Beschwerung der Decke mit lose aufgelegten Betonplatten erfolgte, ist akustisch nicht ganz so wirksam wie der Einsatz von Schüttungen. Im Vergleich zu einer losen Schüttung mit der gleichen flächenbezogenen Masse vermindert sich die Trittschalldämmung bei Verwendung von Betonplatten um etwa 1 - 2 dB.
- Den durchgeführten Untersuchungen zufolge hat die Korngröße des für die Schüttung verwendeten Splitts zumindest in dem untersuchten Bereich (Körnung 5 - 8 mm und 1 - 3 mm) keinen erkennbaren Einfluss auf die Trittschalldämmung.

Aus den durchgeführten Untersuchungen ergaben sich zahlreiche neue Erkenntnisse, die den Wissensstand über das akustische Verhalten von Holzbalkendecken, Deckenauflagen und Schüttungen beträchtlich erweitern. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten Schallschutzmaßnahmen stellen darüber hinaus einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzbalkendecken sowohl im Bereich der Altbausanierung als auch im Fertighausbau dar. Da die praktische Anwendung am Bau keine weiteren Entwicklungs- oder Planungsschritte erfordert und mit verhältnismäßig geringem finanziellen und technischen Aufwand möglich ist, steht der direkten Umsetzung der entwickelten Verbesserungsmaßnahmen durch Hersteller und Bauunternehmen nichts im Wege.

## 9 Anwendung der Forschungsergebnisse

Die wichtigste Zielgruppe für die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind die im Holzbau tätigen Bauunternehmen sowie die Hersteller von Fertighäusern in Holz- und Leichtbauweise. Doch auch für Planer, Bauingenieure und Architekten sind die Ergebnisse von erheblichem Interesse. Für die praktische Anwendung der entwickelten Schallschutzmaßnahmen sind weder spezielle Berechnungswerkzeuge noch besondere akustische Fachkenntnisse erforderlich. Abgesehen von der erforderlichen Anpassung an die jeweilige Bausituation kann die Umsetzung in gleicher Weise erfolgen, wie dies im Forschungsbericht beschrieben ist, so dass die Maßnahmen nach entsprechender Mitteilung an die Anwender direkten Eingang in die bauliche Praxis finden können.

Die Information der Anwender erfolgt in erster Linie über Fachveranstaltungen, Schulungen sowie Veröffentlichungen in Fachzeitschriften. Dabei werden Zeitschriften bevorzugt, die über einen engen praktischen Bezug verfügen und deren Leserschaft sich vor allem aus den oben genannten Personengruppen zusammensetzt. Auch mit den zuständigen Normungsgremien, wie z. B. dem DIN-Normenausschuss Bauwesen (NA-Bau) besteht Kontakt, so dass die Ergebnisse zumindest teilweise auch in die Normung

Eingang finden können. Gleiches gilt auch für den Bereich der bauaufsichtlichen Zulassung, der über die Mitarbeit im DIBt-Sachverständigenausschuss B2 "Schalldämmung und Schalldämmstoffe" eingebunden ist.

Da die als Industriepartner an dem Forschungsvorhaben beteiligten Fertighaushersteller die Forschungsergebnisse bereits kennen, ist zu erwarten, dass sie als erste mit der praktischen Umsetzung der entwickelten Maßnahmen beginnen werden. Wenn die anderen Hersteller hiervon Kenntnis erhalten und die akustischen Vorteile erkennen, werden sie voraussichtlich nach kurzer Zeit folgen, so dass auch auf diesem Weg mit einer raschen Verbreitung der Forschungsergebnisse zu rechnen ist.

## 10 Literatur

- [1] DIN 4109-1: Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen (2016).
- [2] Sipari, P.: Sound Insulation of Multi-Storey Houses - A summary of Finnish Impact Sound Insulation Results. *Building Acoustics* 7 (1) 2000, S. 15 - 30.
- [3] Kühn, B.; Blickle, R.: Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immissionen von Geschossdecken aus Holz. *wksb*, H. 52 (2004), S. 7 - 14.
- [4] Hagberg, K.: Evaluating Field Measurements of Impact Sound. *Building Acoustics* 17 (2) 2010, S. 105 - 128.
- [5] Weber, L.; Leistner, P.; Richter, B.: Untersuchung der akustischen Wechselwirkungen zwischen Holzdecke und Deckenaufgabe zur Entwicklung neuartiger Schallschutzmaßnahmen, Teilbericht IBP: Übertragungswege und Optimierung. IBP-Bericht B-BA 1/2009, Fraunhofer Institut für Bauphysik (2009).
- [6] Brandstetter, D.; Leistner, P.: Patent DE 102 27 327 B4 "Geschossdecke". Fraunhofer-Gesellschaft (2011).
- [7] DIN EN ISO 10140-5: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen (2014).
- [8] DIN EN ISO 10140-3: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 3: Messung der Trittschalldämmung (2015).
- [9] Veres, E.: Entwicklung von Holzbalkendecken mit hoher Trittschalldämmung. IBP-Bericht B-BA 1/1992, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (1992).
- [10] Holtz, F.; Rabold, A.; Buschbacher, H. P.; Hessinger, J.: Optimierung der Trittschalleigenschaften von Holzbalkendecken zum Einsatz im mehrgeschossigen Holzhausbau. Forschungsbericht des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik Stephanskirchen im Auftrag der DGfH (1999).
- [11] Holtz, F.; Hessinger, J.; Buschbacher, H.-P.; Rabold, A.: Informationsdienst Holz - Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken. *Holzbau Handbuch*, Reihe 3, Teil 3, Folge 3. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH), München (1999).
- [12] Gösele, K.: Verbesserung des Schallschutzes von Holzbauteilen durch Schwingungstilger ("akustische Blutegel"). *Bauphysik* 24 (2002), S. 93 - 101.

- [13] Wuyts, D.; Crispin, C.; Ingelaere, B.; Van Damme, M.: Laboratory Sound Insulation Measurements of Improved Timber Floor Constructions: A Parametric Survey. *Building Acoustics* 13 Nr. 4 (2006), S. 311 - 325.
- [14] Scheck, J.; Drechsler, A.; Fischer, H.-M.: Holztreppen werden leiser - Innovative Lösungen zur schalltechnischen Simulation und Optimierung leichter Treppen. *horizonte* 29 (2006), S. 60 - 64.
- [15] Rabold, A.; Bacher, S.; Hessinger, J.: Holzbalkendecken in der Altbausanierung. Forschungsbericht des ift Rosenheim im Auftrag der DGfH (2008).
- [16] Scholl, W.: Trittschallverbesserung von Holzbalkendecken durch Trockenestriche. *Bauhandwerk* 15, H. 4, S. 185 - 192 (1993).
- [17] Scholl, W.: Auf leisen Sohlen - Nachträglicher Schallschutz bei Holzbalkendecken. *db* 1/94, S. 79 - 86 (1994).
- [18] Boddenberg, R.: Hartes Holz und weicher Schall. *Trockenbau* 5/96, S. 33 - 37 (1996).
- [19] Gösele, K.: Hochschalldämmende Trockenestriche - Bedeutung der Biegesteifigkeit bei schwimmenden Estrichen. *Bauphysik* 22, H. 1, S.19 - 27 (2000).
- [20] Huber, W.: Leise Sohlen auf lautem Holz. *Trockenbau* 11/02, S. 58 - 63 (2002).
- [21] Schupp, G.: Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes von Fußbodenaufbauten zum Einsatz auf Holzbalken-Rohdecken. IBP-Bericht B-BA 6/1993, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (1993).
- [22] Gösele, K.: Warum schwimmende Estriche auf Holzbalkendecken schalltechnisch nur halb so wirksam sind. *Bauphysik* 21, H. 2, S. 49 - 53 (1999).
- [23] Lang, J.: Luft- und Trittschallschutz von Holzdecken und die Verbesserung des Trittschallschutzes durch Fußböden auf Holzdecken. *wksb* 49, H. 52, S. 6 - 14 (2004).
- [24] Krämer, G.: Altes Holz auf neuestem Stand, Teil 2. *Trockenbau Akustik* 10/06, S. 40 - 48 (2006).
- [25] Scholl, W.; Maysenhölder, W.: Impact sound insulation of timber floors: Interaction between source, floor coverings and load bearing floor. *Building Acoustics* 6 (1999) Nr. 1, S. 43 - 61.
- [26] Maysenhölder, W.; Scholl, W.: Untersuchung des Trittschallverhaltens von Deckenaufbauten auf verschiedene Decken für unterschiedliche Anregungen. IBP-Bericht B-BA 1/2000, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2000).
- [27] Maysenhölder, W.; Scholl, W.: Untersuchung des Trittschallverhaltens von Deckenaufbauten auf verschiedene Decken für unterschiedliche Anregungen, Teil II. IBP-Bericht B-BA 3/2001, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2001).
- [28] Scholl, W.: Impact sound insulation: The standard tapping machine shall learn to walk! *Building Acoustics* 8 (2001) Nr. 4, S. 245 - 256.

- [29] Rabold, A.; Schanda, U.; Kollmannsberger, S.; Rank, E.: Schallschutz im mehrgeschossigen Holzbau - Luft- und Trittschalldämmung von Trenndecken. Bauingenieur 89, Nr.9 (2014), S. 370 - 381.
- [30] Rasmussen, B.; Rindel, J. H.: Sound insulation of dwellings - Legal requirements in Europe and subjective evaluation of acoustical comfort. Fortschritte der Akustik - DAGA 2003, S. 118 - 121 (2003).
- [31] Lang, J.: Schallschutz im Wohnungsbau. Forschungsbericht IFIP, Technische Universität Wien (2006).
- [32] Appel, S.; Biskup, M.: Elastische Lagerung von Gebäuden zum Schutz vor Einwirkungen aus Schienenverkehr. Bautechnik 91 (2014), Heft 7, S. 472 - 480.
- [33] Wertsteigerung durch elastische Gebäudeabschirmung. Technische Broschüre der Getzner Werkstoffe GmbH (2015), <https://www.getzner.com/de/downloads>.
- [34] Verbesserung des Schallschutzes von Wohngebäuden im Bestand. Info-Blatt Nr. 8.4 des BBSR, Kompetenzzentrum der Initiative "Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen" (2006).
- [35] Rabold, A.; Bacher, S.; Hessinger, J.: Schalltechnische Sanierung - Holzbalkendecken gezielt auf Vordermann bringen. mikado plus 3/2008, S. 2 - 15.
- [36] Schallschutz im Holzbau. Technische Broschüre der Getzner Werkstoffe GmbH (2015), <https://www.getzner.com/de/downloads>.
- [37] VDI 3727 Blatt 1: Schallschutz durch Körperschalldämpfung - Physikalische Grundlagen und Abschätzungsverfahren (1984).
- [38] VDI 3727 Blatt 2: Schallschutz durch Körperschalldämpfung - Anwendungshinweise (1984).
- [39] Köhnke, E.-U.: Trittschallschutz, Teil 1 - Holzbalkendecken im Griff. mikado 3/2006, S. 12 -15.
- [40] Teibinger, M.: Bauphysikalische Eigenschaften von Brettsperrholz. Forum Holz Bau Energie, Köln (2010), S. 1 - 12.
- [41] Köhnke, E.-U.: Schallschutztechnische Ausführungsfehler an Holzdecken. 4. HolzBauSpezial Akustik & Brandschutz 2013, S. 1 - 16.
- [42] Ferk, H.: Schallschutz von Holzbalkendecken: Gebundene Beschüttung kann zu erhöhtem Trittschallpegel führen. Bauphysiker-Treffen 2014, OFI, Wien, 02.10.2014, S. 30 - 35.
- [43] Teibinger, M.: Bauphysik leicht gemacht - Planungshilfe für die Brettsperrholzbauweise. Holzbau - die neue quadriga 1/2014, S. 27 - 29.
- [44] Köhnke, E.-U.: Schallschutz - Schüttungen ungebunden? Anmerkung zum Artikel "Bauphysik leicht gemacht" von Martin Teibinger in der Holzbau - die neue quadriga 1/2014. Holzbau - die neue quadriga 3/2014, S. 47.
- [45] DIN 18560-2: Estriche im Bauwesen - Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche) (2004).

- [46] Köhnke, E.-U.: Schallschutz-Verbesserung bei Holzbalkendecken - mit System K101 / K102 (System Köhnke), genial einfach - einfach genial, Ing. Büro Köhnke GmbH (2016), <http://www.eu-koehnke.de/index.php/schallschutzsysteme-fuer-holzbalkendecken>.
- [47] Köhnke, E.-U.: Hinweise zum Einbau der gebundenen Splittschüttung mit K102. Ing. Büro Köhnke GmbH (2016), <http://www.eu-koehnke.de/index.php/schallschutzsysteme-fuer-holzbalkendecken>.
- [48] Köhnke, E.-U.: SicherheitsdatenblattHinweise zum Einbau der gebundenen Splittschüttung mit K102. Ing. Büro Köhnke GmbH(2016), <http://www.eu-koehnke.de/index.php/schallschutzsysteme-fuer-holzbalkendecken>.
- [49] De Vos, J.: Körperschalldämpfung bei plattenförmigen Bauteilen aus unterschiedlichem Material. MSc-Thesis an Universität Stuttgart, TU Berlin und Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2013).
- [50] DIN EN ISO 16283-2: Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau - Teil 2: Trittschalldämmung (2016).
- [51] DIN EN ISO 10140-4: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 4: Messverfahren und Anforderungen (2010).
- [52] DIN 4109-2: Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen (2016)
- [53] DIN EN ISO 10140-1: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte (2014).
- [54] DIN EN ISO 717-2: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung (2013).
- [55] Weber, L., Koch, S.: Anwendung von Spektrum-Anpassungswerten, Teil 1: Luftschalldämmung, Teil 2: Trittschalldämmung (Teile A und B). Bauphysik 21 (1999) H. 4, S. 167 - 170 und H. 6, S. 295 - 299 sowie Bauphysik 22 (2000) H. 1, S. 70 - 72.
- [56] Blevins, R. D.: Formulas for natural frequency and mode shape. Krieger Publishing Company, Reprint Edition 2001, S. 48, Tab. 6-2.
- [57] Battermann, W.; Köhler, R.: Elastomere Federung - Elastische Lagerungen, Grundlagen ingenieurmäßiger Berechnung und Konstruktion. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin (1982).
- [58] Payne, A. R.: Shape Factors and Functions in Rubber Engineering. The Engineer, 06.03.1959, S. 368 - 370.
- [59] Becker, G. W.: Über das dynamisch-elastische Verhalten geschäumter Stoffe, Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Acustica Vol. 9 (1959), S. 135 - 143.
- [60] DIN EN 29052-1: Akustik - Bestimmung der dynamischen Steifigkeit - Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden (1992).

- [61] Weber, L.; Müller, S.: Schallschutz bei Wärmedämm-Verbundsystemen. IBP-Bericht B-BA 1/2014, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2015).
- [62] DIN EN 15657-1: Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden - Messung des Luft- und Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand - Teil 1: Vereinfachte Fälle, in denen die Admittanzen der Anlagen wesentlich höher sind als die der Empfänger am Beispiel von Whirlwannen (2009).
- [63] DIN EN ISO 354: Akustik - Messung der Schallabsorption in Hallräumen (2003).
- [64] Schäcke, Christian: Akustisch optimierte Auflagen für Holzbalkendecken. BSc-Thesis, HfT Stuttgart und Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2015).
- [65] DIN EN ISO 6721-3: Kunststoffe - Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften - Teil 3: Biegeschwingung; Resonanzkurven-Verfahren (1996).
- [66] Dietz, David: Akustische Optimierung gebundener Schüttungen zur Beschwerung von Holzbalkendecken. MSc-Thesis, Universität Stuttgart und Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2015).

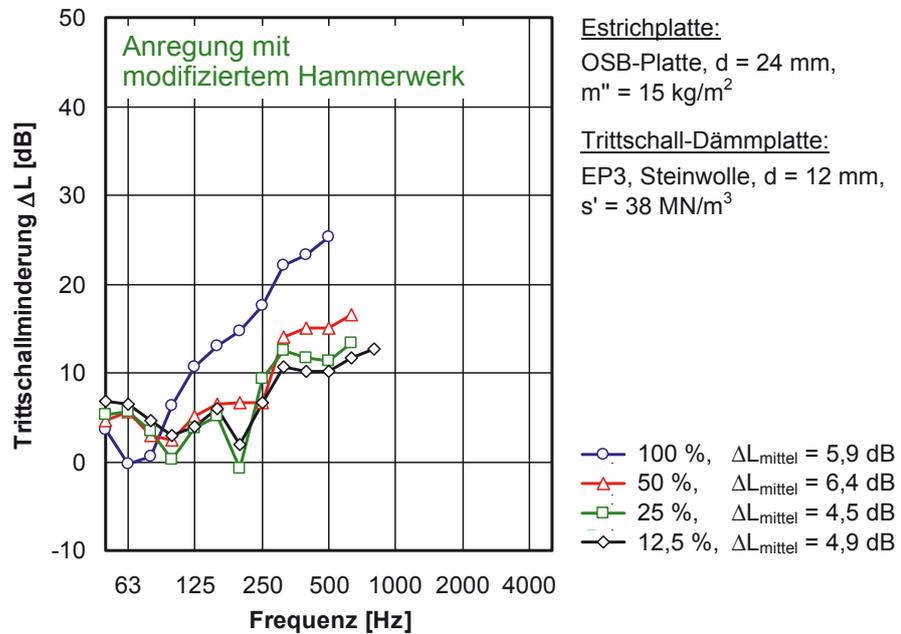
## 11 Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) sowie Hr. Dipl.-Ing. Steffen Kisseler für die finanzielle Förderung und die organisatorische Betreuung des durchgeführten Forschungsvorhabens. Unser Dank gilt außerdem

- den an dem Forschungsvorhaben beteiligten Industriepartnern - der WeberHaus GmbH & Co. KG und der FingerHaus GmbH - für die Herstellung von Prüfaufbauten, die Bereitstellung von Baumaterial sowie technische Beratung,
- Herrn Prof. Dr. Waldemar Maysenhölder und Herrn Prof. Dr. Schew-Ram Mehra für die fachliche Begleitung des Forschungsvorhabens,
- Herrn David Dietz und Herrn Christian Schäcke für wertvolle Beiträge zum durchgeführten Messprogramm.

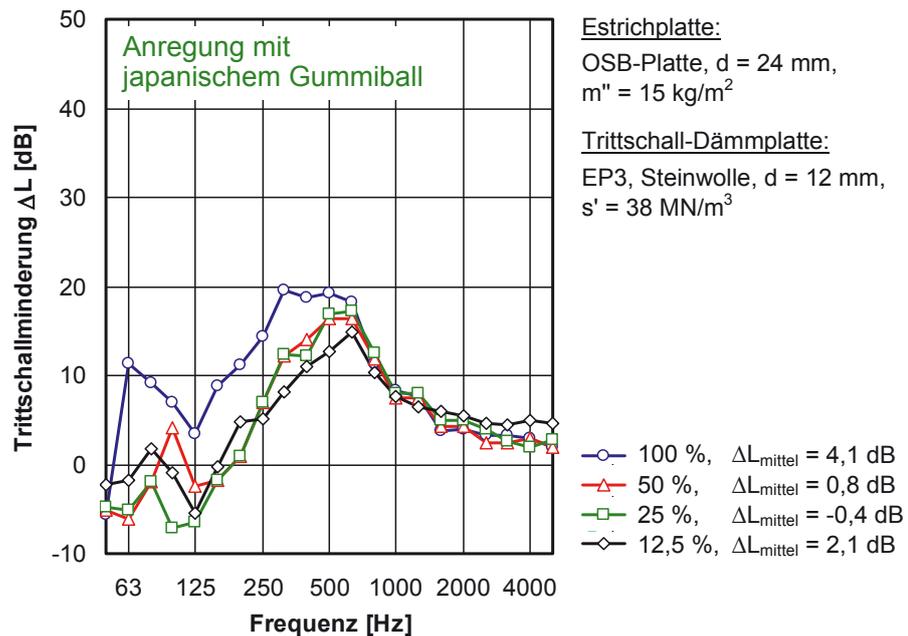
## Anhang

### A.1 Anregung mit modifiziertem Hammerwerk



**Abb. A.1:** Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs mit teilflächiger elastischer Lagerung für unterschiedlich große Auflageflächen zwischen 12,5 % und 100 % der Gesamtfläche. Messaufbau und Vorgehensweise entsprachen der in Abb. 28 dargestellten Situation, wobei die Anregung jedoch mit dem in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen modifizierten Hammerwerk anstatt des Norm-Hammerwerks erfolgte. Da die üblichen Einzahlangaben für die Trittschallminderung nach DIN EN ISO 717-2 (bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$  und Spektrum-Anpassungswert  $C_{i,\Delta}$ ) für das modifizierten Hammerwerk nicht definiert sind, ist in der Legende als Einzahlangabe stattdessen die mittlere Trittschalldämmung  $\Delta L_{\text{mittel}}$  (terzweise energetische Mittelung) angegeben. Da das modifizierte Hammerwerk nur ein verhältnismäßig schwaches Mess-Signal liefert, war bei hohen Frequenzen keine zuverlässige Messung möglich, so dass die entsprechenden Werte im Diagramm fehlen.

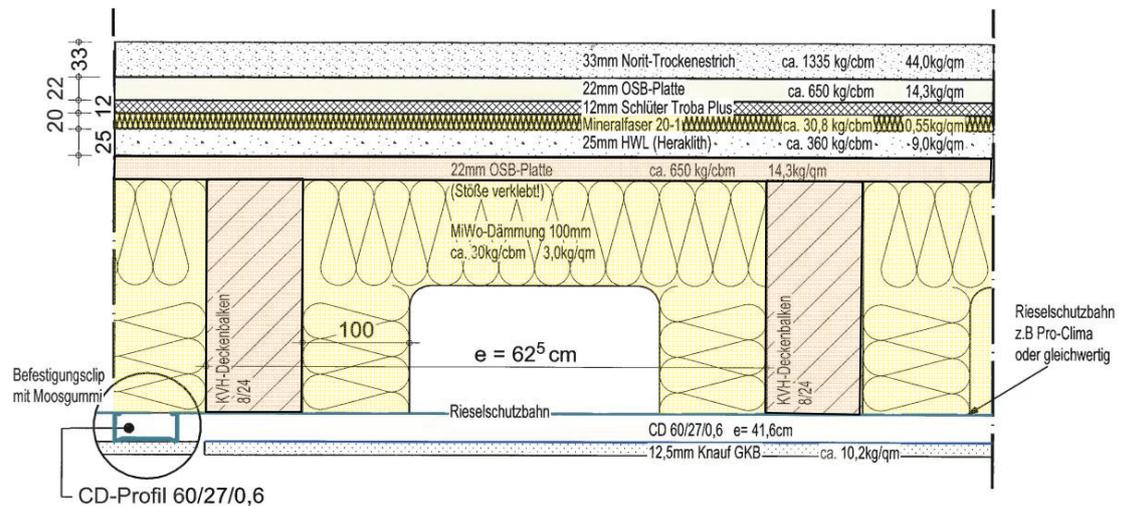
## A.2 Anregung mit japanischem Gummiball



**Abb. A.2:** Trittschallminderung eines schwimmenden Estrichs mit teilflächiger elastischer Lagerung für unterschiedlich große Auflageflächen zwischen 12,5 % und 100 % der Gesamtfläche. Messaufbau und Vorgehensweise entsprachen der in Abb. 28 dargestellten Situation, wobei die Anregung jedoch mit dem in Abschnitt 4.3.3 beschriebenen japanischen Gummiball anstatt des Norm-Hammerwerks erfolgte. Da die üblichen Einzahlangaben für die Trittschallminderung nach DIN EN ISO 717-2 (bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$  und Spektrum-Anpassungswert  $C_{l,\Delta}$ ) für den Gummiball nicht definiert sind, ist in der Legende als Einzahlangabe stattdessen die mittlere Trittschalldämmung  $\Delta L_{\text{mittel}}$  (terzweise energetische Mittelung) angegeben.

## A.3 Weitere Holzbalkendecken

### A.3.1 Aufbau der Decke Nr. 2

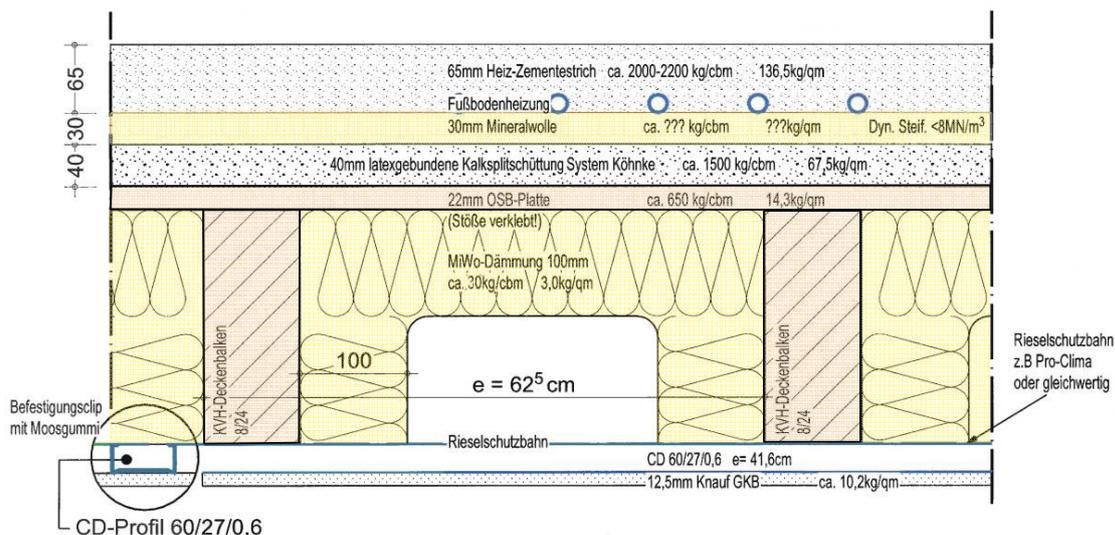


**Abb. A.3.1:** Aufbau der Holzbalkendecke Nr. 2 (alternative Decke zur Überprüfung der Wirksamkeit der entwickelten Verbesserungsmaßnahmen in Verbindung mit unterschiedlichen Deckenkonstruktionen). Der bewertete Norm-Trittschallpegel der dargestellten Decke betrug  $L_{n,w} = 45,1$  dB.

Deckenaufbau (von oben nach unten):

33 mm	Norit Gipsfaser-Bodenplatten
22 mm	OSB Platten
12 mm	Schlüter Troba Plus Noppenmatten
20 mm	Trittschall-Dämmplatten aus Mineralwolle
25 mm	Heraklith-Platten
22 mm	OSB-Platten
240 mm	Holzbalken 8/24
	Knauf CD Profile mit Profilabhängern
12,5 mm	GKB-Platten

### A.3.2 Aufbau der Decke Nr. 3

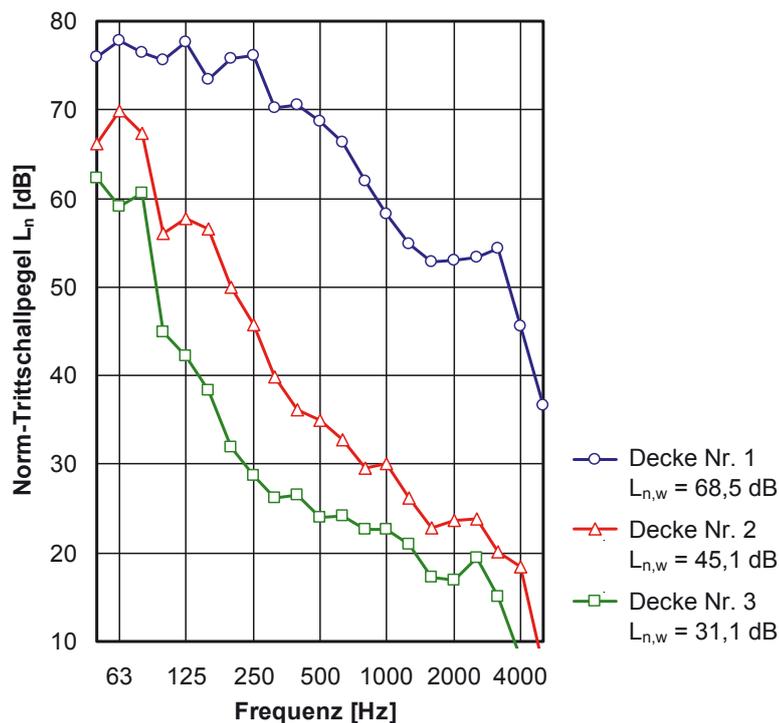


**Abb. A.3.2:** Aufbau der Holzbalkendecke Nr. 3 (alternative Decke zur Überprüfung der Wirksamkeit der entwickelten Verbesserungsmaßnahmen in Verbindung mit unterschiedlichen Deckenkonstruktionen). Der bewertete Norm-Trittschallpegel der dargestellten Decke betrug  $L_{n,w} = 31,1$  dB.

Deckenaufbau (von oben nach unten):

- 65 mm Zementestrich mit Heizungsrohren
- 30 mm Trittschall-Dämmplatten aus Mineralwolle
- 40 mm gebundene Kalksplittschüttung
- 22 mm OSB-Platten
- 240 mm Holzbalken 8/24
- Knauf CD Profile mit Profilabhängern
- 12,5 mm GKB-Platten

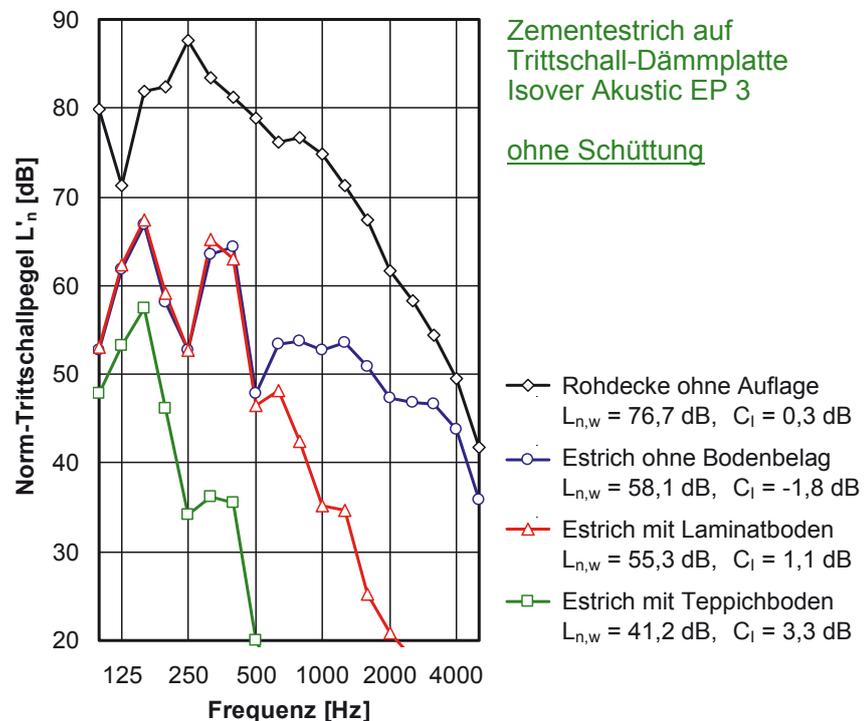
### A.3.3 Trittschalldämmung der Decken Nr. 2 und 3



**Abb. A.3.3:** Trittschalldämmung der beiden in den Abbildungen A.3.1 und A.3.2 dargestellten Holzbalkendecken (Decken Nr. 2 und 3). Die Trittschallmessungen an den beiden Decken erfolgten in einem bauakustischen Prüfstand nach DIN EN ISO 10140-5 mit einer Einbaufäche von  $L \times B = 5,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m}$ . Zum Vergleich sind außerdem die Messergebnisse für die Holzbalken-Rohdecke aus Abb. 12 mit eingezeichnet, an der die meisten an schwimmenden Estrichen durchgeführten Untersuchungen stattfanden (Decke Nr. 1).

## A.4 Weitere Ergebnisse für gebundene Schüttungen

### A.4.1 Zementestrich auf EP 3, ohne Schüttung



**Abb. A.4.1:** Trittschalldämmung von Deckenaufbauten ohne Schüttung. Die dargestellten Ergebnisse dienen als Vergleichswerte für Messungen, die an ansonsten gleichartigen Aufbauten mit Schüttung durchgeführt wurden. Die Grundlage der dargestellten Aufbauten (genaue Beschreibung siehe unten) bildete ein auf einer Trittschall-Dämmplatte vom Typ EP 3 gelagerter Zementestrich. Zum Vergleich ist außerdem die Messkurve für die Rohdecke ohne Auflage eingezeichnet.

#### Technische Angaben zu den untersuchten Aufbauten:

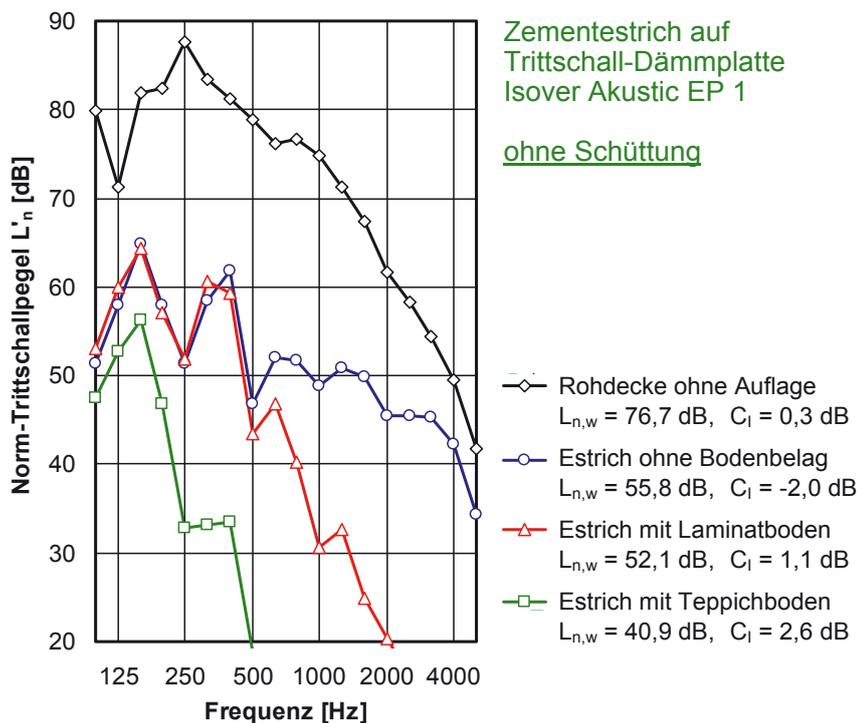
Rohdecke: Ausschnitt ( $L \times B = 1,5 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$ ) aus der in Abb. 24 dargestellten Holzbalken-Rohdecke,

Estrich: Zementestrich mit  $d = 43 \text{ mm}$  und  $m'' = 92 \text{ kg/m}^2$  auf Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3,  $d = 12 \text{ mm}$ ,  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ),

Laminatboden: HARO Tritty 75 3-Stab,  $d = 7 \text{ mm}$ , auf 3 mm PE-Schaum verlegt,  $\Delta L_w = 20 \text{ dB}$  (Herstellerangabe für Massivdecke),

Teppichboden: Congress 1000 (Flor aus Polyamid, mit Textilrücken),  $d = 6,5 \text{ mm}$ ,  $\Delta L_w = 29 \text{ dB}$  (Herstellerangabe für Massivdecke).

## A.4.2 Zementestrich auf EP 1, ohne Schüttung

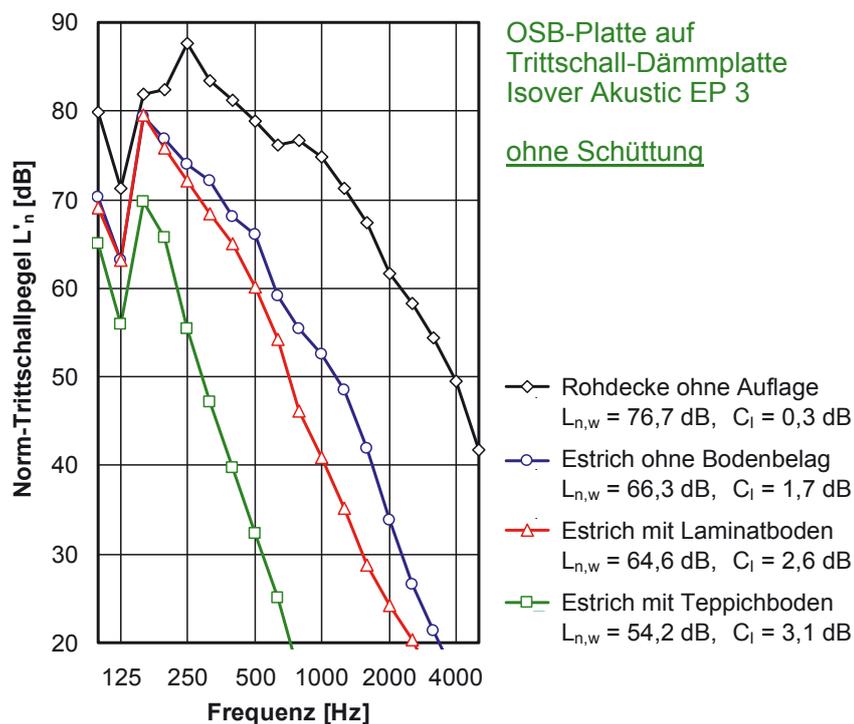


**Abb. A.4.2:** Trittschalldämmung von Deckenaufbauten ohne Schüttung. Die dargestellten Ergebnisse dienen als Vergleichswerte für Messungen, die an ansonsten gleichartigen Aufbauten mit Schüttung durchgeführt wurden. Die Grundlage der dargestellten Aufbauten (genaue Beschreibung siehe unten) bildete ein auf einer Trittschall-Dämmplatte vom Typ EP 1 gelagerter Zementestrich. Zum Vergleich ist außerdem die Messkurve für die Rohdecke ohne Auflage eingezeichnet.

### Technische Angaben zu den untersuchten Aufbauten:

- Rohdecke: Ausschnitt ( $L \times B = 1,5 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$ ) aus der in Abb. 24 dargestellten Holzbalken-Rohdecke,
- Estrich: Zementestrich mit  $d = 43 \text{ mm}$  und  $m'' = 92 \text{ kg/m}^2$  auf Trittschall-Dämmplatte aus Glaswolle (Isover Akustic EP 1,  $d = 25 \text{ mm}$ ,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ ),
- Laminatboden: HARO Tritty 75 3-Stab,  $d = 7 \text{ mm}$ , auf 3 mm PE-Schaum verlegt,  $\Delta L_w = 20 \text{ dB}$  (Herstellerangabe für Massivdecke),
- Teppichboden: Congress 1000 (Flor aus Polyamid, mit Textilrücken),  $d = 6,5 \text{ mm}$ ,  $\Delta L_w = 29 \text{ dB}$  (Herstellerangabe für Massivdecke).

### A.4.3 OSB-Platte auf EP 3, ohne Schüttung

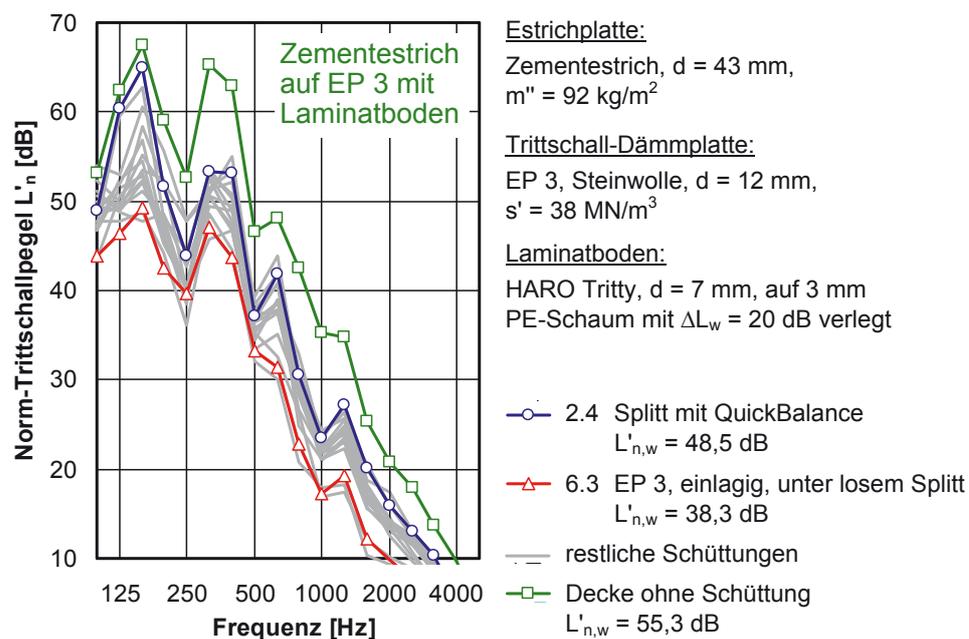


**Abb. A.4.3:** Trittschalldämmung von Deckenaufbauten ohne Schüttung. Die dargestellten Ergebnisse dienen als Vergleichswerte für Messungen, die an ansonsten gleichartigen Aufbauten mit Schüttung durchgeführt wurden. Die Grundlage der dargestellten Aufbauten (genaue Beschreibung siehe unten) bildete ein auf einer Trittschall-Dämmplatte vom Typ EP 3 gelagerte OSB-Platte (Trockenestrich). Zum Vergleich ist außerdem die Messkurve für die Rohdecke ohne Auflage eingezeichnet.

#### Technische Angaben zu den untersuchten Aufbauten:

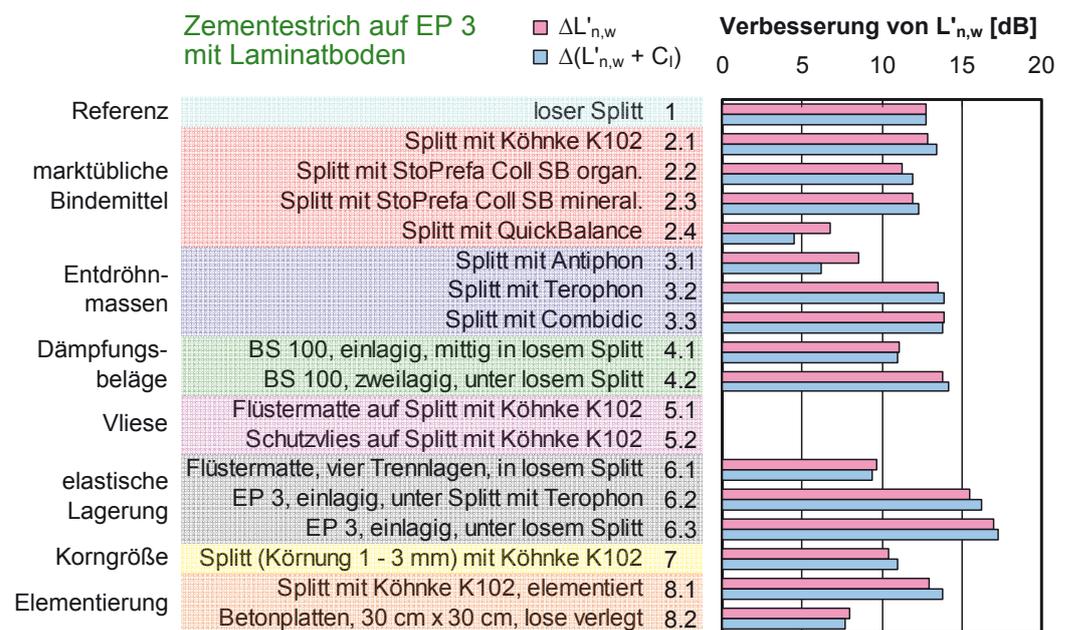
- Rohdecke: Ausschnitt ( $L \times B = 1,5 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$ ) aus der in Abb. 24 dargestellten Holzbalken-Rohdecke,
- Estrich: OSB-Platte mit  $d = 24 \text{ mm}$  und  $m'' = 15 \text{ kg/m}^2$  auf Trittschall-Dämmplatte aus Steinwolle (Isover Akustic EP 3,  $d = 12 \text{ mm}$ ,  $s' = 38 \text{ MN/m}^3$ ),
- Laminatboden: HARO Tritten 75 3-Stab,  $d = 7 \text{ mm}$ , auf 3 mm PE-Schaum verlegt,  $\Delta L_w = 20 \text{ dB}$  (Herstellerangabe für Massivdecke),
- Teppichboden: Congress 1000 (Flor aus Polyamid, mit Textilrücken),  $d = 6,5 \text{ mm}$ ,  $\Delta L_w = 29 \text{ dB}$  (Herstellerangabe für Massivdecke).

#### A.4.4 Zementestrich auf EP 3 mit Laminat (Frequenzverlauf)



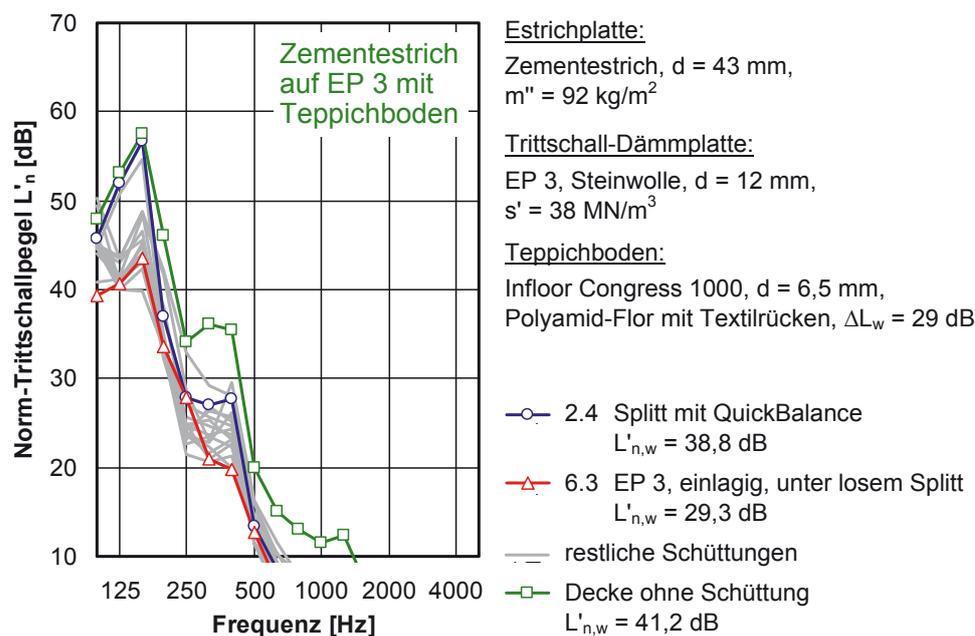
**Abb. A.4.4:** Norm-Trittschallpegel der Decke in Abhängigkeit von der Frequenz für die achtzehn in Abschnitt 7.2 beschriebenen Schüttungen. Die Messungen erfolgten in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich in mineralischer Bauweise, auf dem ein Laminatboden verlegt war (Angaben zu Estrich und Laminatboden sind in der Legende aufgeführt). Die Schüttung mit dem höchsten Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  (also die akustisch ungünstigste Variante) ist als blaue Kurve, die Schüttung mit dem niedrigsten Wert als rote Kurve dargestellt (Nummer und Kurzbezeichnung der beiden Schüttungen sind der Legende zu entnehmen). Die Messkurven für alle übrigen Schüttungen sind ohne Beschriftung als graue Linien eingezeichnet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel für die Decke ohne Schüttung wiedergegeben (grüne Kurve). Bei dem in der Legende für den Laminatboden genannten Wert von  $\Delta L_w$  handelt es sich um eine Herstellerangabe, die sich auf die Verlegung auf einer massiven Rohdecke bezieht.

## A.4.5 Zementestrich auf EP 3 mit Laminat (Einzahlangaben)



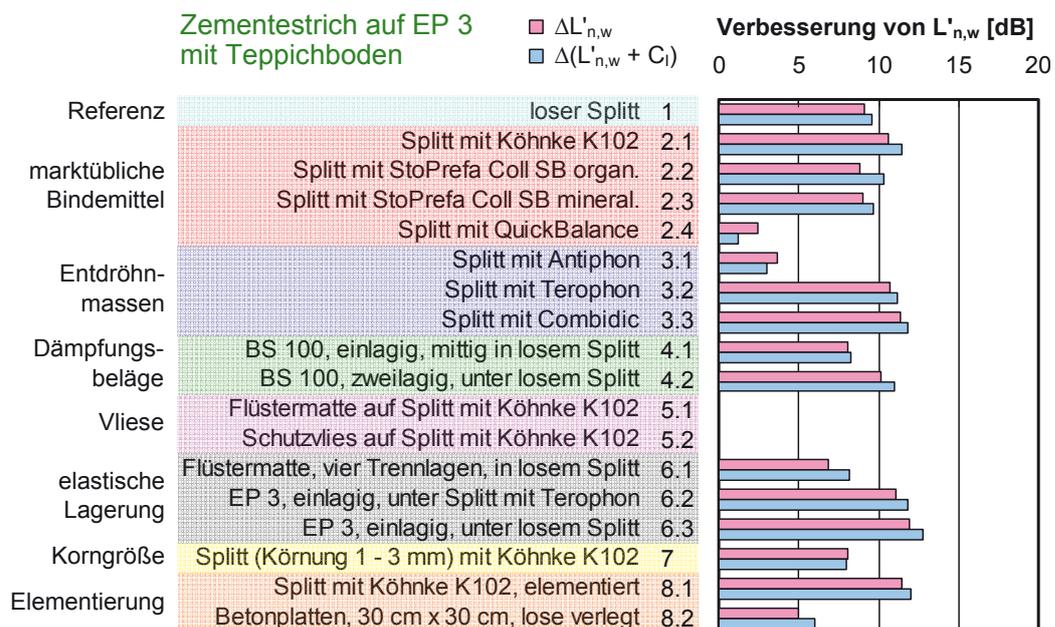
**Abb. A.4.5:** Einzahlangaben zu den in Abb. A.4.4 dargestellten Messkurven. Neben der Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , ist außerdem die auf die Summe  $L'_{n,w} + C_i$  bezogene Verbesserung dargestellt (hierbei bezeichnet  $C_i$  den Spektrum-Anpassungswert für den Trittschallpegel nach DIN EN ISO 717-2). In der Achsenbeschriftung sind von links nach rechts die Bauteilgruppe nach Tab. 8 sowie die Kurzbezeichnung und die Nummer der jeweiligen Schüttung aufgeführt. Da für die Schüttungen Nr. 5.1 und 5.2 (Gruppe Vliese) keine Messungen in Verbindung mit dem Laminatboden durchgeführt wurden, sind hierfür keine Werte angegeben.

#### A.4.6 Zementestrich auf EP 3 mit Teppich (Frequenzverlauf)



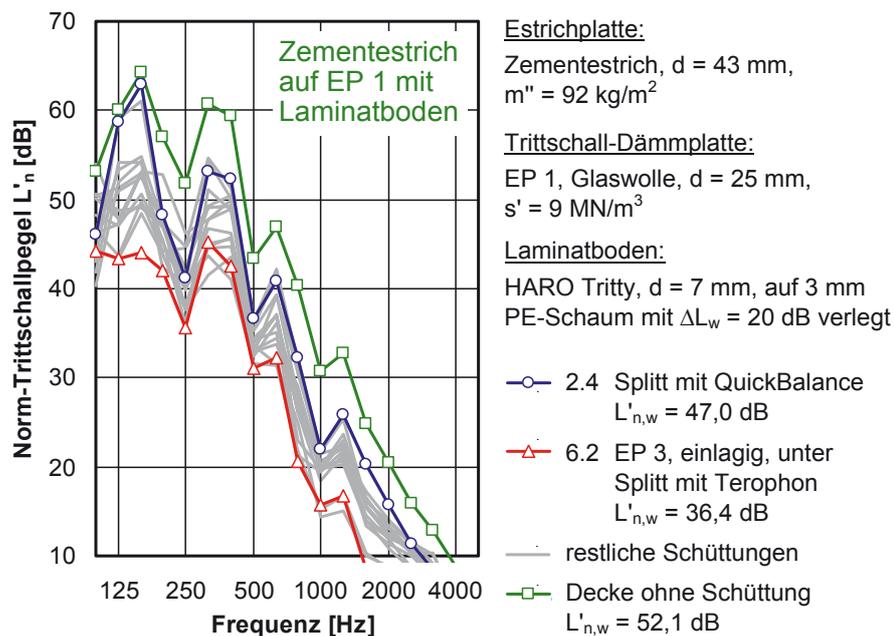
**Abb. A.4.6:** Norm-Trittschallpegel der Decke in Abhängigkeit von der Frequenz für die achtzehn in Abschnitt 7.2 beschriebenen Schüttungen. Die Messungen erfolgten in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich in mineralischer Bauweise, auf dem ein Teppichboden verlegt war (Angaben zu Estrich und Teppichboden sind in der Legende aufgeführt). Die Schüttung mit dem höchsten Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  (also die akustisch ungünstigste Variante) ist als blaue Kurve, die Schüttung mit dem niedrigsten Wert als rote Kurve dargestellt (Nummer und Kurzbezeichnung der beiden Schüttungen sind der Legende zu entnehmen). Die Messkurven für alle übrigen Schüttungen sind ohne Beschriftung als graue Linien eingezeichnet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel für die Decke ohne Schüttung wiedergegeben (grüne Kurve). Bei dem in der Legende für den Teppichboden genannten Wert von  $\Delta L_w$  handelt es sich um eine Herstellerangabe, die sich auf die Verlegung auf einer massiven Rohdecke bezieht.

## A.4.7 Zementestrich auf EP 3 mit Teppich (Einzahlangaben)



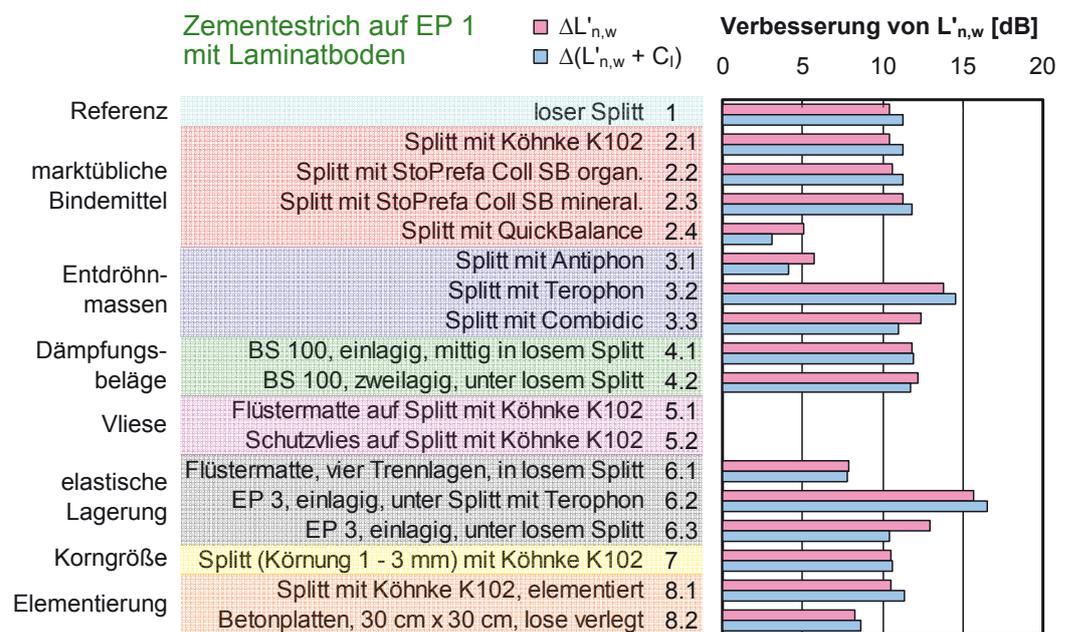
**Abb. A.4.7:** Einzahlangaben zu den in Abb. A.4.6 dargestellten Messkurven. Neben der Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , ist außerdem die auf die Summe  $L'_{n,w} + C_i$  bezogene Verbesserung dargestellt (hierbei bezeichnet  $C_i$  den Spektrum-Anpassungswert für den Trittschallpegel nach DIN EN ISO 717-2). In der Achsenbeschriftung sind von links nach rechts die Bauteilgruppe nach Tab. 8 sowie die Kurzbezeichnung und die Nummer der jeweiligen Schüttung aufgeführt. Da für die Schüttungen Nr. 5.1 und 5.2 (Gruppe Vliese) keine Messungen in Verbindung mit dem Teppichboden durchgeführt wurden, sind hierfür keine Werte angegeben.

#### A.4.8 Zementestrich auf EP 1 mit Laminat (Frequenzverlauf)



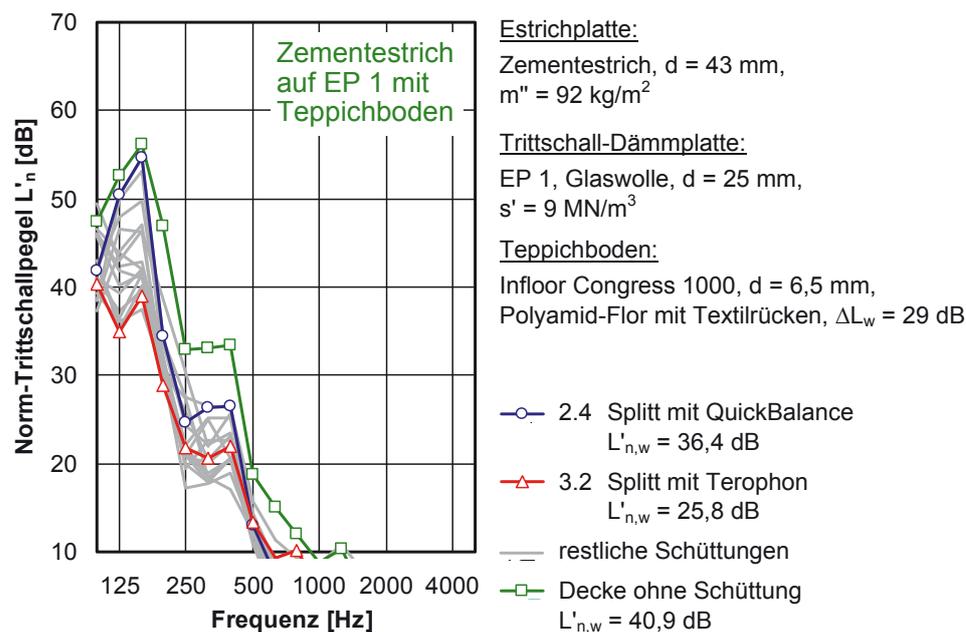
**Abb. A.4.8:** Norm-Trittschallpegel der Decke in Abhängigkeit von der Frequenz für die achtzehn in Abschnitt 7.2 beschriebenen Schüttungen. Die Messungen erfolgten in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich in mineralischer Bauweise, auf dem ein Laminatboden verlegt war (Angaben zu Estrich und Laminatboden sind in der Legende aufgeführt). Die Schüttung mit dem höchsten Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  (also die akustisch ungünstigste Variante) ist als blaue Kurve, die Schüttung mit dem niedrigsten Wert als rote Kurve dargestellt (Nummer und Kurzbezeichnung der beiden Schüttungen sind der Legende zu entnehmen). Die Messkurven für alle übrigen Schüttungen sind ohne Beschriftung als graue Linien eingezeichnet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel für die Decke ohne Schüttung wiedergegeben (grüne Kurve). Bei dem in der Legende für den Laminatboden genannten Wert von  $\Delta L_w$  handelt es sich um eine Herstellerangabe, die sich auf die Verlegung auf einer massiven Rohdecke bezieht.

## A.4.9 Zementestrich auf EP 1 mit Laminat (Einzahlangaben)



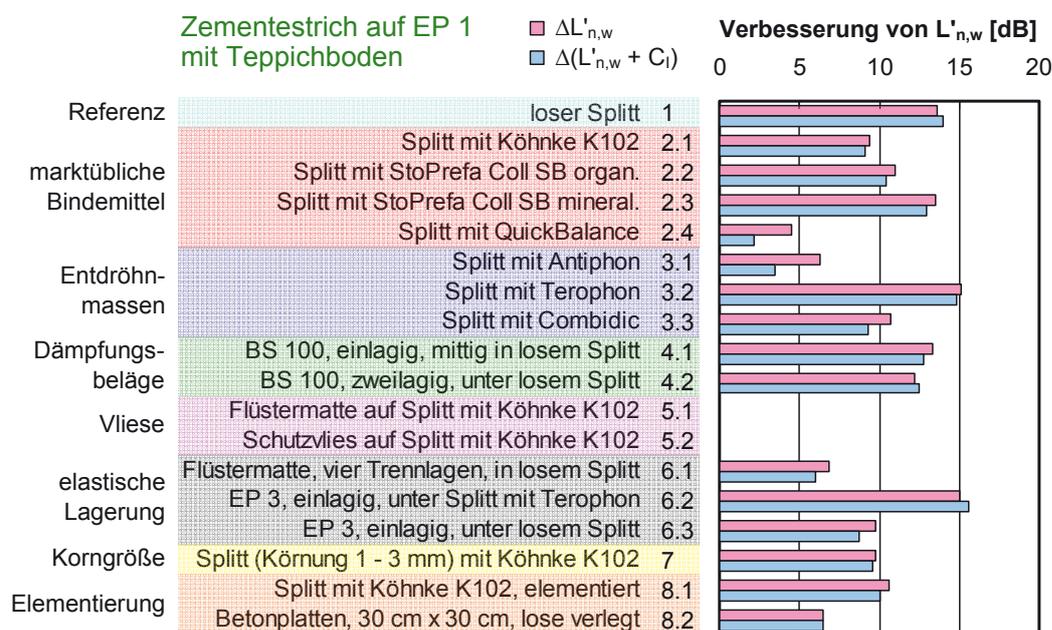
**Abb. A.4.9:** Einzahlangaben zu den in Abb. A.4.8 dargestellten Messkurven. Neben der Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , ist außerdem die auf die Summe  $L'_{n,w} + C_i$  bezogene Verbesserung dargestellt (hierbei bezeichnet  $C_i$  den Spektrum-Anpassungswert für den Trittschallpegel nach DIN EN ISO 717-2). In der Achsenbeschriftung sind von links nach rechts die Bauteilgruppe nach Tab. 8 sowie die Kurzbezeichnung und die Nummer der jeweiligen Schüttung aufgeführt. Da für die Schüttungen Nr. 5.1 und 5.2 (Gruppe Vliese) keine Messungen in Verbindung mit dem Laminatboden durchgeführt wurden, sind hierfür keine Werte angegeben.

#### A.4.10 Zementestrich auf EP 1 mit Teppich (Frequenzverlauf)



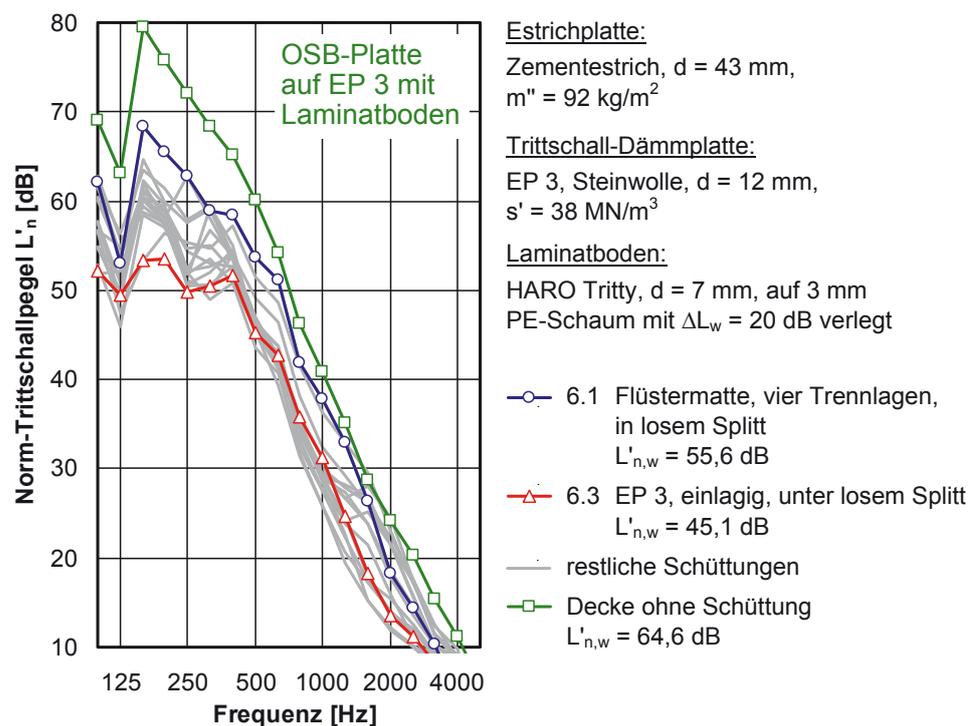
**Abb. A.4.10:** Norm-Trittschallpegel der Decke in Abhängigkeit von der Frequenz für die achtzehn in Abschnitt 7.2 beschriebenen Schüttungen. Die Messungen erfolgten in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich in mineralischer Bauweise, auf dem ein Teppichboden verlegt war (Angaben zu Estrich und Teppichboden sind in der Legende aufgeführt). Die Schüttung mit dem höchsten Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  (also die akustisch ungünstigste Variante) ist als blaue Kurve, die Schüttung mit dem niedrigsten Wert als rote Kurve dargestellt (Nummer und Kurzbezeichnung der beiden Schüttungen sind der Legende zu entnehmen). Die Messkurven für alle übrigen Schüttungen sind ohne Beschriftung als graue Linien eingezeichnet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel für die Decke ohne Schüttung wiedergegeben (grüne Kurve). Bei dem in der Legende für den Teppichboden genannten Wert von  $\Delta L_w$  handelt es sich um eine Herstellerangabe, die sich auf die Verlegung auf einer massiven Rohdecke bezieht.

### A.4.11 Zementestrich auf EP 1 mit Teppich (Einzahlangaben)



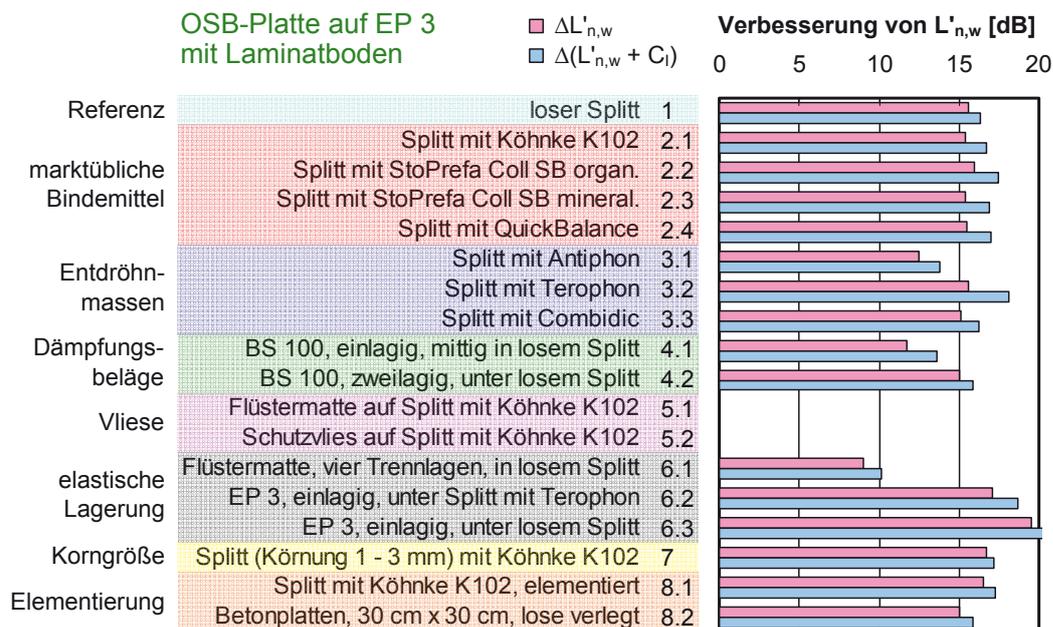
**Abb. A.4.11:** Einzahlangaben zu den in Abb. A.4.10 dargestellten Messkurven. Neben der Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , ist außerdem die auf die Summe  $L'_{n,w} + C_1$  bezogene Verbesserung dargestellt (hierbei bezeichnet  $C_1$  den Spektrum-Anpassungswert für den Trittschallpegel nach DIN EN ISO 717-2). In der Achsenbeschriftung sind von links nach rechts die Bauteilgruppe nach Tab. 8 sowie die Kurzbezeichnung und die Nummer der jeweiligen Schüttung aufgeführt. Da für die Schüttungen Nr. 5.1 und 5.2 (Gruppe Vliese) keine Messungen in Verbindung mit dem Teppichboden durchgeführt wurden, sind hierfür keine Werte angegeben.

#### A.4.12 OSB-Platte auf EP 3 mit Laminat (Frequenzverlauf)



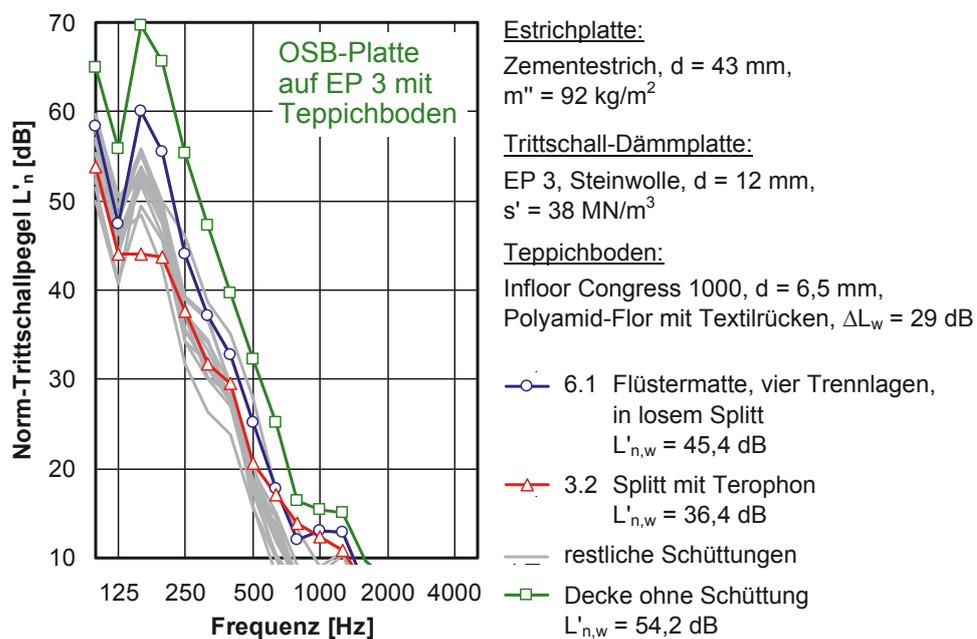
**Abb. A.4.12:** Norm-Trittschallpegel der Decke in Abhängigkeit von der Frequenz für die achtzehn in Abschnitt 7.2 beschriebenen Schüttungen. Die Messungen erfolgten in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich in mineralischer Bauweise, auf dem ein Laminatboden verlegt war (Angaben zu Estrich und Laminatboden sind in der Legende aufgeführt). Die Schüttung mit dem höchsten Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  (also die akustisch ungünstigste Variante) ist als blaue Kurve, die Schüttung mit dem niedrigsten Wert als rote Kurve dargestellt (Nummer und Kurzbezeichnung der beiden Schüttungen sind der Legende zu entnehmen). Die Messkurven für alle übrigen Schüttungen sind ohne Beschriftung als graue Linien eingezeichnet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel für die Decke ohne Schüttung wiedergegeben (grüne Kurve). Bei dem in der Legende für den Laminatboden genannten Wert von  $\Delta L_w$  handelt es sich um eine Herstellerangabe, die sich auf die Verlegung auf einer massiven Rohdecke bezieht.

### A.4.13 OSB-Platte auf EP 3 mit Laminat (Einzahlangaben)



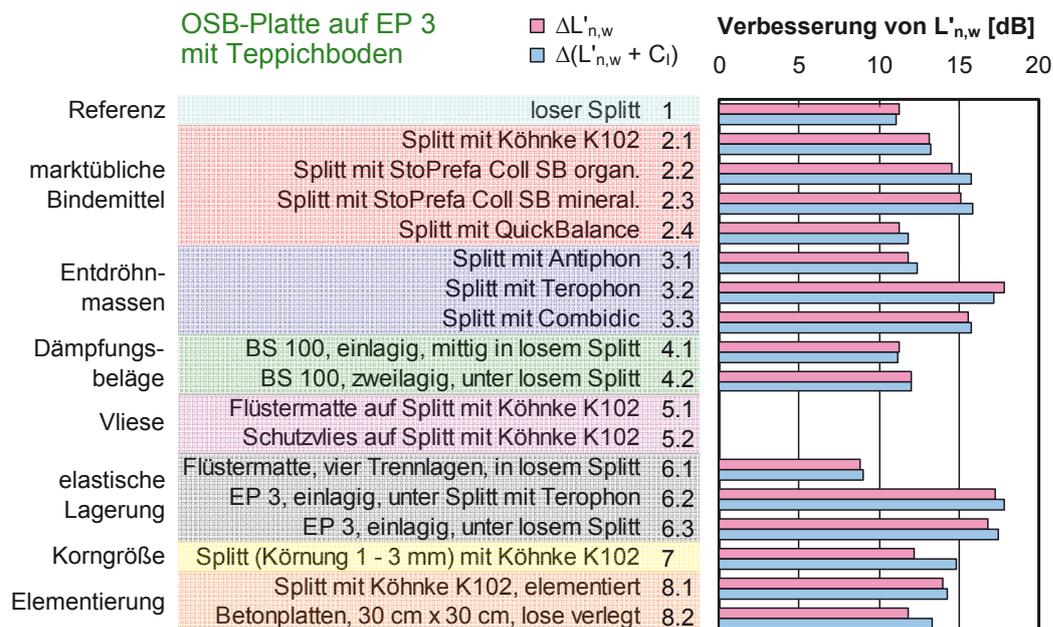
**Abb. A.4.13:** Einzahlangaben zu den in Abb. A.4.12 dargestellten Messkurven. Neben der Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , ist außerdem die auf die Summe  $L'_{n,w} + C_1$  bezogene Verbesserung dargestellt (hierbei bezeichnet  $C_1$  den Spektrum-Anpassungswert für den Trittschallpegel nach DIN EN ISO 717-2). In der Achsenbeschriftung sind von links nach rechts die Bauteilgruppe nach Tab. 8 sowie die Kurzbezeichnung und die Nummer der jeweiligen Schüttung aufgeführt. Da für die Schüttungen Nr. 5.1 und 5.2 (Gruppe Vliese) keine Messungen in Verbindung mit dem Laminatboden durchgeführt wurden, sind hierfür keine Werte angegeben.

#### A.4.14 OSB-Platte auf EP 3 mit Teppich (Frequenzverlauf)



**Abb. A.4.14:** Norm-Trittschallpegel der Decke in Abhängigkeit von der Frequenz für die achtzehn in Abschnitt 7.2 beschriebenen Schüttungen. Die Messungen erfolgten in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich in mineralischer Bauweise, auf dem ein Teppichboden verlegt war (Angaben zu Estrich und Teppichboden sind in der Legende aufgeführt). Die Schüttung mit dem höchsten Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  (also die akustisch ungünstigste Variante) ist als blaue Kurve, die Schüttung mit dem niedrigsten Wert als rote Kurve dargestellt (Nummer und Kurzbezeichnung der beiden Schüttungen sind der Legende zu entnehmen). Die Messkurven für alle übrigen Schüttungen sind ohne Beschriftung als graue Linien eingezeichnet. Zum Vergleich ist außerdem der Trittschallpegel für die Decke ohne Schüttung wiedergegeben (grüne Kurve). Bei dem in der Legende für den Teppichboden genannten Wert von  $\Delta L_w$  handelt es sich um eine Herstellerangabe, die sich auf die Verlegung auf einer massiven Rohdecke bezieht.

### A.4.15 OSB-Platte auf EP 3 mit Teppich (Einzahlangaben)



**Abb. A.4.15:** Einzahlangaben zu den in Abb. A.4.14 dargestellten Messkurven. Neben der Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Schüttung,  $\Delta L'_{n,w}$ , ist außerdem die auf die Summe  $L'_{n,w} + C_i$  bezogene Verbesserung dargestellt (hierbei bezeichnet  $C_i$  den Spektrum-Anpassungswert für den Trittschallpegel nach DIN EN ISO 717-2). In der Achsenbeschriftung sind von links nach rechts die Bauteilgruppe nach Tab. 8 sowie die Kurzbezeichnung und die Nummer der jeweiligen Schüttung aufgeführt. Da für die Schüttungen Nr. 5.1 und 5.2 (Gruppe Vliese) keine Messungen in Verbindung mit dem Teppichboden durchgeführt wurden, sind hierfür keine Werte angegeben.