



Fachbereich Holztechnik  
Studiengang Holzbau und Ausbau

WS 2003/2004

Diplomarbeit  
Philipp Meistring

---

## Schalltechnische Entwicklung von Fußbodenaufbauten auf Massivholzdecken

---

In Zusammenarbeit mit

**MERK**

Erstprüfer: Prof. Dr. U. Schanda

Zweitprüfer: Prof. K. Galliläa

Rosenheim, März 2004

# Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit schalltechnischen Untersuchungen an Deckenkonstruktionen auf Basis des Holzbausystems LenoTec® der Firma MERK. Auf Grundlage der Vorgaben, die sich aus dem Einsatzgebiet der Deckenkonstruktion in Wohngebäuden ergeben, werden zunächst geeignete Fußbodenkonstruktionen zusammengestellt. Im Vordergrund stehen dabei die Anforderungen und Empfehlungen an die schallschutztechnischen Eigenschaften der fertigen Decke.

Die ausgewählten Aufbauten werden im Labor für Schallmesstechnik der FH Rosenheim geprüft. Neben der Ermittlung der Kennwerte, die für die normgerechte bauakustische Einordnung notwendig sind, werden weitere Untersuchungen durchgeführt. Dazu zählen zum einen Schwingungsanalysen an der Prüfdecke. Zum anderen werden begleitende Schwingungsmessungen an einer kleinen Testdecke durchgeführt. Ziel ist eventuelle Zusammenhänge der bauakustischen Kennlinien der Prüfdecke und dem Schwingungsverhalten der Testdecke aufzuzeigen.

Vorbereitend für die Prüfung der Deckenkonstruktionen wird der Prüfstand auf Einhaltung der Vorgaben der DIN EN ISO 140 überprüft. Die Einmessung und Überprüfung der erforderlichen Merkmale ist deshalb in einem Kapitel dieser Arbeit beschrieben.

## Stichworte:

Decke

Deckenprüfstand

Fußbodenaufbau

LenoTec

Massivholzdecke

Norm-Trittschallpegel

Schalldämm-Maß

Trittschallmessung

<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>2</b>
<b>1 EINFÜHRUNG .....</b>	<b>6</b>
<b>2 AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>8</b>
<b>3 GRUNDLAGEN .....</b>	<b>10</b>
3.1 BEGRIFFE UND FORMELZEICHEN .....	10
3.2 BERECHNUNGSGRUNDLAGEN .....	16
<b>4 DECKENKONSTRUKTIONEN.....</b>	<b>18</b>
4.1 ANFORDERUNGEN AN DIE DECKE .....	18
4.1.1 Konstruktive Vorgaben .....	19
4.1.2 Vorgaben aus bauablauftechnischer Sicht .....	22
4.1.3 Vorgaben aus schallschutztechnischer Sicht .....	23
4.1.4 Finanzielle Vorgaben .....	25
4.1.5 Gewichtung der Kriterien .....	26
4.2 BESTANDTEILE EINES FUßBODENAUFBAUS .....	27
4.2.1 Rohdeckenbeschwerung/ Ausgleichsschicht .....	29
4.2.2 Trittschalldämmung .....	31
4.2.3 Estrich .....	32
4.2.4 Bodenbelag .....	34
4.3 MATERIALÜBERSICHT.....	36
<b>5 BERECHENBARKEIT BAUAKUSTISCHER KENNWERTE .....</b>	<b>38</b>
<b>6 LENOTEC®-ROHDECKE .....</b>	<b>44</b>
6.1 BESCHREIBUNG DES WERKSTOFFES .....	44
6.2 LENOtec®-DECKEN AUS SCHALLTECHNISCHER SICHT .....	45
6.2.1 Flächenbezogene Masse $m'$ bzw. Dichte $\rho$ des Rohdeckenmaterials .....	46
6.2.2 Einschaligkeit der Rohdecke .....	47
6.2.3 Biegesteifigkeit $B'$ .....	49
6.2.4 Verlustfaktor $\eta$ .....	50
6.2.5 Charakteristischen Frequenzen .....	51
6.3 PRÜFROHDECKE.....	58
6.3.1 Abmessungen und technische Daten .....	58
6.3.2 Charakteristische Frequenzen .....	59
6.3.3 Bauakustische Größen .....	61
<b>7 FUßBODENAUFBAUTEN .....</b>	<b>63</b>
7.1 AUSWIRKUNG AUF SCHALLTECHNISCH RELEVANTE EIGENSCHAFTEN DER DECKENKONSTRUKTION .....	63
7.1.1 Flächenbezogene Masse $m'$ .....	63
7.1.2 Mehrschaligkeit .....	64
7.1.3 Biegesteifigkeit der Konstruktion .....	67
7.1.4 Verlustfaktor $\eta$ .....	69
7.1.5 Charakteristische Frequenzen .....	70
7.2 VORGEHENSWEISE BEI DER AUSWAHL DER PRÜFAUFBAUTEN .....	73
7.3 PRÜFAUFBAUTEN.....	75
7.3.1 LowBudget .....	76
7.3.2 Fermacell .....	79
7.3.3 Best2 .....	84
7.3.4 Best1 .....	89
<b>8 DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG DER PRÜFUNGEN .....</b>	<b>92</b>
8.1 VORGESCHRIEBENE PRÜFUNGEN FÜR BAUTEILMESSUNGEN .....	92
8.2 ZUSÄTZLICHE UNTERSUCHUNGEN IM DECKENPRÜFSTAND .....	93
8.3 ENTWICKLUNG EINES TESTPRÜFSTANDES .....	96

<b>9</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>97</b>
9.1	ROHDECKE .....	98
9.1.1	Luftschall.....	98
9.1.2	Trittschall.....	100
9.1.3	Schwingungsmessungen an der Prüfdecke .....	103
9.1.4	Vergleich der Messungen .....	105
9.2	LOWBUDGET-AUFBAU .....	106
9.2.1	Luftschall.....	106
9.2.2	Trittschall.....	108
9.2.3	Schwingungsmessungen an der Prüfdecke .....	111
9.2.4	Vergleich der Messungen .....	113
9.3	AUFBAU FERMACELL.....	114
9.3.1	Luftschall.....	114
9.3.2	Trittschall.....	116
9.3.3	Schwingungsmessungen an der Prüfdecke .....	119
9.3.4	Vergleich der Messungen .....	121
9.4	AUFBAU BEST2 .....	123
9.4.1	Luftschall.....	123
9.4.2	Trittschall.....	125
9.4.3	Schwingungsmessungen an der Prüfdecke .....	128
9.4.4	Vergleich der Messungen .....	130
9.5	AUFBAU BEST 1.....	132
9.5.1	Luftschall.....	132
9.5.2	Trittschall.....	134
9.5.3	Schwingungsmessungen an der Prüfdecke .....	137
9.5.4	Vergleich der Messungen .....	139
9.6	VERGLEICHE DER AUFBAUTEN.....	141
9.6.1	Luftschall.....	141
9.6.2	Trittschall.....	144
9.6.3	Schwingungen .....	150
9.7	UNTERSUCHUNGEN IM TESTPRÜFSTAND („m <sup>2</sup> -PRÜFSTAND“) .....	151
9.7.1	Erste Messergebnisse .....	152
9.7.2	Berechnung der Trittschallkurve des Best1-Aufbaus .....	155
9.7.3	Prüfung von Sandwichaufbauten im m <sup>2</sup> -Prüfstand .....	158
<b>10</b>	<b>AUSBLICKE .....</b>	<b>165</b>
10.1	UNTERSUCHUNG VON LENOtec ALS SYSTEM .....	165
10.2	SCHWINGUNGSUNTERSUCHUNGEN BEI ANDEREN SPANNWEITEN/ ROHDECKENSTÄRKEN .....	166
10.3	VERTIEFUNG UND WEITERFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN MIT DEM TESTPRÜFSTAND.....	167
<b>11</b>	<b>LITERATURNACHWEIS .....</b>	<b>168</b>
<b>12</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>172</b>
<b>A</b>	<b>PRÜFSTAND.....</b>	<b>A1</b>
A.1	LABOR FÜR SCHALLMESSTECHNIK (LASM) AN DER FH ROSENHEIM .....	A1
A.2	ÖRTLICHE GEGEBENHEITEN .....	A2
A.3	ANFORDERUNGEN AN DEN PRÜFSTAND NACH DIN EN ISO 140.....	A5
A.3.1	Flankenübertragung.....	A5
A.3.2	Prüfräume, Prüföffnung und Prüfgegenstand.....	A11
A.3.3	Messgeräte .....	A13
A.3.4	Festlegen von Mikrofonpositionen .....	A14
A.3.5	Festlegen von Lautsprecherpositionen.....	A16
A.3.6	Festlegen von Hammerwerkspositionen .....	A21
A.3.7	Nachhallzeit im Empfangsraum.....	A22

<b>B</b>	<b>MESSUNG UND BEWERTUNG DES SCHALLDÄMM-MAßES</b> .....	<b>B1</b>
B.1	PRÜFVORSCHRIFTEN .....	B2
B.2	MESS-EQUIPMENT .....	B3
B.3	MESSANORDNUNG .....	B4
B.4	VORBEREITUNGEN .....	B5
B.5	PRÜFABLAUF .....	B6
B.6	AUSWERTEVERFAHREN .....	B8
<b>C</b>	<b>MESSUNG UND BEWERTUNG DES TRITTSCHALLPEGELS</b> .....	<b>C1</b>
C.1	PRÜFVORSCHRIFTEN .....	C2
C.2	MESS-EQUIPMENT .....	C4
C.3	MESSANORDNUNG .....	C5
C.4	VORBEREITUNGEN .....	C7
C.5	PRÜFABLAUF .....	C8
C.6	AUSWERTEVERFAHREN .....	C9
<b>D</b>	<b>MESSUNG VON BESCHLEUNIGUNGSPEGELN IM DECKENPRÜFSTAND</b> .....	<b>D1</b>
D.1	MESS-EQUIPMENT .....	D1
D.2	MESSANORDNUNG .....	D2
D.3	VORBEREITUNGEN .....	D4
D.4	PRÜFABLAUF .....	D5
D.5	AUSWERTUNG .....	D6
<b>E</b>	<b>MESSUNG VON BESCHLEUNIGUNGSPEGELN IM TESTPRÜFSTAND (M<sup>2</sup>-PRÜFSTAND)</b> .....	<b>E1</b>
E.1	MESS-EQUIPMENT .....	E1
E.2	MESSANORDNUNG .....	E2
E.3	VORBEREITUNGEN .....	E3
E.4	PRÜFABLAUF .....	E4
E.5	AUSWERTUNG .....	E5
<b>F</b>	<b>SCHALLPEGELSPEKTREN ZUR BERECHNUNG DER SPEKTRUMSANPASSUNGSWERTE</b> .....	<b>F1</b>
<b>G</b>	<b>MATERIALÜBERSICHT</b> .....	<b>G1</b>
<b>H</b>	<b>FORMBLÄTTER</b> .....	<b>H1</b>
H.1	ROHDECKE .....	H2
H.2	<i>LOWBUDGET</i> .....	H6
H.3	<i>FERMACELL</i> .....	H8
H.4	<i>BEST2</i> .....	H10
H.5	<i>BEST1</i> .....	H12

# 1 Einführung

Ein eigenes Haus ist nach wie vor für die meisten Menschen in unserem Wirtschaftsraum das höchste materielle Ziel. Bei der gedanklichen Umsetzung des eigenen Hauses stehen früh Wünsche und Detaillösungen für viele Bereiche fest. So gehört zum Beispiel ein Kachelofen oder ein „offener“ Kamin sehr oft zur Mindestausstattung. Ebenso ist die Bauweise häufig bereits zu einem Zeitpunkt festgelegt, bei dem noch nicht einmal an die Finanzierung des Grundstückes zu denken ist. Gerade bei der Wahl der Bauweise beziehungsweise des Werkstoffes für den Rohbau sind vielfach ideologische Überlegungen ausschlaggebend. Natürlich spielen aber auch die technischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Möglichkeiten für Bauwillige eine entscheidende Rolle.

Der Holzbaubranche ist es in den letzten Jahren gelungen, die Vorteile des Holzbaus im Ein- und Mehrfamilienhausbau immer mehr in der Öffentlichkeit bekannt zu machen und die bekannten Probleme und somit die Nachteile weiter zu reduzieren. Dadurch konnten viele Bauwillige von einer Holzbauweise überzeugt werden.

Dabei muss sich der Kunde nicht mehr nur für ein Holzhaus entscheiden. Auf dem Markt sind mittlerweile die verschiedensten Holzbausysteme. Die unterschiedlichen Konstruktionsvarianten mit Holzriegeln als Grundelement die sich ab den 80er Jahren in Deutschland verbreitet haben (Holzständer-, Holztafel-, Holzrahmen-, Holzskelettbauweise) und der traditionell vertretene und in den letzten Jahren technisch verfeinerte Holzblockbau werden heute durch etliche Holzbausysteme aus zusammengesetzten oder massiven Holzquerschnitten ergänzt [1].

Um potenzielle Kunden von seinem Produkt überzeugen zu können, muss der Hersteller von Systembaustoffen möglichst schnell bauvorhabenbezogen alle planungsrelevanten Teilaspekte bereithalten. So sollte der Kunde bereits in der Akquirierungsphase mit Details bezüglich Dimensionierung/ Bemessung, bauphysikalischen Konzepten oder möglicher haustechnischer Ausstattungsvarianten versorgt werden können. Abgesehen davon ist selbstverständlich die Ausarbeitung, Prüfung und Kenntnis dieser Aspekte

Grundvoraussetzung für reibungslose Zulassungen, Baugenehmigungen und Bauabläufe, sowie für ein dauerhaftes, schadfreies Produkt.

Dazu ist für einen Systemhersteller ein sehr hoher Forschungsaufwand notwendig. Dies beginnt mit der Entwicklung des Systems, setzt sich über die Zulassung fort und ist in der Regel auch bei der Markteinführung nicht vollständig abgeschlossen. Deshalb kommt es immer wieder vor, dass für bestimmte Anwendungen keine Daten oder Detaillösungen zur Verfügung stehen.

Im Holzbau ist der Schallschutz eines der Themen, bei dem der Planer oft ohne ausreichende Kennwerte auskommen und auf Schätzungen zurückgreifen muss. Dies hängt zum einen damit zusammen, dass der Schallschutz im Holzbau ein problematisches Feld darstellt und somit nur ungern aufgegriffen wird. Zum anderen sind auch in keinem planungsrelevanten Bereich Vorausberechnungen so schwer durchzuführen wie im Schallschutz. Nicht zuletzt enthalten die einschlägigen Normen für Holzbauweisen nur sehr wenige Rechenwerte zu bauakustischen Problemstellungen. Deshalb sind für jedes System und jeden Anwendungsfall eigene Untersuchungen anzustellen und als Folge dessen entsteht ein besonders hoher Forschungs- und Prüfungsaufwand für den Hersteller.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema Schallschutz im Holzbau. Das Holzbausystem LenoTec® der Firma MERK GmbH in Aichach soll für die Anwendung als Deckenelement für den Ein- und Mehrfamilienhausbau aus schalltechnischer Sicht untersucht werden. Es werden Deckenaufbauten zusammengestellt, getestet und empfohlen die die Anforderungen nach den anzuwendenden Normen erfüllen. Darüber hinaus sollen auch Eigenschaften untersucht werden, die für die Normen nicht relevant sind, die die schalltechnische Qualität des Holzbausystems aber trotzdem beeinflussen.

## 2 Aufgabenstellung

Die Ausarbeitung der Diplomarbeit erfolgt im Auftrag der Firma MERK GmbH in Aichach, Deutschland. Das Thema „Schalltechnische Entwicklung von Fußbodenaufbauten auf Massivholzdecken“ umfasst in erster Linie die schalltechnische Einordnung verschiedener Fußbodenaufbauten auf LenoTec®-Deckenelementen der Firma MERK.



**Abbildung 1** Logo Firma MERK<sup>1</sup> (links), LenoTec®-135 (rechts)

Dazu ist zunächst festzulegen, welche Anforderungen an die Aufbauten sowohl aus schalltechnischer als auch aus konstruktiver, statischer und anwendungstechnischer Sicht zu stellen sind. Aus diesen Anforderungen werden im nächsten Schritt entsprechende Aufbauten entwickelt beziehungsweise zusammengestellt. Diese werden dann mit Hilfe von Labormessungen auf die schalltechnischen Eigenschaften hin untersucht und mit den Anforderungen verglichen.

Mit der im Juli 2002 abgeschlossenen Diplomarbeit von Herrn Christian Off [3] sind bereits Vorarbeiten zu diesem Thema geleistet worden. Hier sind zunächst Baumessungen ausgewählter Fußbodenaufbauten auf LenoTec®-Decken ausgeführt worden. Darauf aufbauend hat der Autor LenoTec®-Deckenaufbauten für verschiedene Anforderungsprofile entwickelt. Die Berechnung der schalltechnisch relevanten Kennwerte ist hier mit Hilfe der Methoden aus dem Holzbauhandbuch „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“ [3] erfolgt. Die Ergebnisse der vorgenannten Arbeit sind hinsichtlich eventuell neuer Erkenntnisse und weiterer Varianten zu untersuchen und gegebenenfalls entsprechend zu ergänzen.

---

<sup>1</sup> entnommen aus [27]

Für eine gute Vergleichbarkeit mit anderen Deckensystemen ist auf die Einhaltung der einschlägigen Normen zur Prüfung von Decken und Deckenaufbauten zu achten. Zusätzlich sollen aber geeignete Messmethoden ausgewählt werden um detailliertere Erkenntnisse über Eigenschaften der Testaufbauten vor allem im tieffrequenten Bereich gewinnen zu können. Die Betrachtung der Bauteileigenschaften in tiefen Frequenzen ist angebracht da Holzbauteile gerade im Bereich unter 100 Hz aufgrund der relativ geringen Masse Probleme aufweisen können. Der bauakustisch relevante Bereich reicht von 100Hz bis 3,15kHz. Bei der Bewertung mit Spektrumsanpassungswerten werden Frequenzen bis minimal 50 Hz herab berücksichtigt. Der Hörbereich des menschlichen Ohres reicht aber von 16Hz bis 20kHz ([7], S.16). Sehr tiefe Frequenzen fließen also bei der normgerechten Bewertung der Bauteile nicht mit ein, obwohl sie durchaus im menschlichen Wahrnehmungsbereich liegen und zudem als dumpfes Dröhnen sehr störend empfunden werden.

Die Durchführung der erforderlichen Prüfungen erfolgt im Labor für Schallmesstechnik (LaSM) an der Fachhochschule Rosenheim. Da hier seit der letzten Messung umfangreiche Umbauten vorgenommen worden sind, beschäftigt sich ein zusätzlicher Abschnitt der Arbeit mit dem Prüfstand (Anhang A). Insbesondere soll beschrieben werden, welche Anforderungen die einschlägigen Normen an den Prüfstand stellen und unter welchen Bedingungen die eigentlichen Messungen zu erfolgen haben. Darauf aufbauend wird die Einmessung des Prüfstandes vorgenommen.

# 3 Grundlagen

## 3.1 Begriffe und Formelzeichen

### Luftschall:

„Mechanische Schwingungen und Wellen, die im Übertragungsmedium Luft erfolgen“ ([6], S.207). Luftschall entsteht durch Anregung von Schwankungen der Luftdichte. Diese Anregung wird durch schwingende feste Körper ausgelöst, die mit der Luft in Berührung stehen. Luftschall pflanzt sich in Form von longitudinalen Wellen fort. Messgrößen für den Luftschall sind Schalldruck und Schallschnelle, die üblicherweise als Pegel in Dezibel (dB) angegeben werden (siehe Tabelle 1). Bei der Ausbreitung des Luftschalls in der Luft wird in Abhängigkeit von Temperatur, Luftfeuchte und Frequenz ein Teil der Schallenergie in Wärme umgewandelt (Luftabsorption). Mit zunehmender Ausbreitungsstrecke nimmt also der Schalldruckpegel ab (Luftschalldämpfung).

### Körperschall:

Mechanische Schwingungen und Wellen, die in festen Körpern übertragen werden. ([6], S.179). Körperschall wird durch mechanische Einwirkung (z.B. Stoß) oder durch die Einwirkung von Luftschall auf den festen Körper angeregt. Die Übertragung erfolgt neben Längswellen auch über transversale Wellen. So können bei der Körperschallausbreitung auch BiegeWellen entstehen. Körperschall wird mit Hilfe von Schwingungsaufnehmern gemessen. Dabei werden Schwingbeschleunigung, Schwingweg oder Schwinggeschwindigkeit gemessen. Die Darstellung der entsprechenden Größen erfolgt in Pegelschreibweise (siehe Tabelle 1). Bei der Ausbreitung von Körperschall wird in Abhängigkeit von Frequenz und Materialzusammensetzung ein Teil der Schallenergie in Wärme umgewandelt (innere Dämpfung).

### Schallübertragung:

Im Bauwesen sind verschiedene Schallübertragungswege relevant:

- **Luftschall – Körperschall – Luftschall**

Luftschallenergie wird beim Auftreffen auf feste Körper in Abhängigkeit der Oberflächenbeschaffenheit teilweise reflektiert. Darüber hinaus regt der

Luftschall den festen Körper zu Körperschallschwingung an. Der durch Luftschall angeregte Körper regt an seinen Oberflächen in der umgebenden Luft wiederum Luftschall an. Im Bauwesen tritt dieser Übertragungsweg beispielsweise bei benachbarten Räumen auf, die durch ein Bauteil (z.B. Wand) voneinander getrennt sind. Ein Maß für die Schallenergie, die bei der Übertragung durch das Bauteil von dem einen in den anderen Raum verloren geht, ist das Schalldämm-Maß  $R$  dieses Bauteiles (siehe Anhang B).

▪ **Mechanische Einwirkung – Körperschall – Luftschall**

Durch mechanische Einwirkung auf einen Körper (z.B. Gehen) wird in diesem Körperschall angeregt. An seinen Oberflächen regt der schwingende Körper in der umgebenden Luft Luftschall an. Ein Qualitätsmerkmal für Decken ist, wie hoch der entstehende Luftschallpegel bei einer bestimmten mechanischen Anregung ist. Ein genormtes Verfahren für eine diesbezügliche Einstufung ist die Ermittlung des Norm-Trittschallpegels (siehe Anhang C)

▪ **Körperschall – Körperschall**

Sind Bauteile miteinander verbunden, wird Körperschallenergie von dem einen Bauteil auf das andere übertragen. Dabei hängt das Ausmaß der Übertragung stark von der Ausbildung des Bauteilstoßes ab. In der Baupraxis ist dieser Übertragungsweg ursächlich für die Flankenschallübertragung von einem Raum in den anderen.

Biegewellen:

Biegewellen sind bestimmte Formen von Körperschallwellen. Sie treten in Abhängigkeit von Steifigkeit und Dicke bei dünnen Platten, Stäben und gekrümmten Schalen auf ([6], S.54). Die Bewegung von Biegewellen führt zu einer direkten Schallabstrahlung des Körpers an die umgebende Luft. Sie tragen also entscheidend zur Schallabstrahlung von Platten bei und sind deshalb wichtig für die schalltechnischen Eigenschaften der Platte als Bauteil. Bei Platten führen Biegewellen zu Resonanzen und stehenden Wellen. So ist der Koinzidenzeffekt auf Resonanzeffekte zwischen auftreffenden Luftschallwellen und Biegewellen der Platte zurückzuführen. Für die schalltechnische Einordnung von Bauteilen spielt die

Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  (Frequenz oberhalb der mit Koinzidenzeffekten zu rechnen ist) eine entscheidende Rolle, da das Schalldämm-Maß  $R$  oberhalb von  $f_c$  deutlich zurückgeht (siehe 6.2.5).

Weitere Begriffe und Zusammenhänge, die in dieser Arbeit gebraucht werden, sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst oder bei der Anwendung im entsprechenden Kapitel erklärt.

Tabelle 1 allgemeine schalltechnische Begriffe und Zusammenhänge

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit	Zusammenhang/ Konstante
f	Frequenz	Hz	$f = \frac{c_0}{\lambda}$
c <sub>0</sub>	Schallgeschwindigkeit in Luft	m/s	bei 20°C c <sub>0</sub> =344m/s
λ	Wellenlänge	m	
L <sub>p</sub>	Schalldruckpegel	dB	$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$
p	Schalldruck	Pa	
p <sub>0</sub>	Bezugswert des Schalldruckes (Hörschwelle)	Pa	p <sub>0</sub> =20μPa
L <sub>v</sub>	Schnellepegel	dB	$L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0}$
v	Schallschnelle	m/s	
v <sub>0</sub>	Bezugswert der Schallschnelle	m/s	v <sub>0</sub> =50nm/s
L <sub>w</sub>	Schalleistungspegel	dB	$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}$
W	Schalleistung	W	
W <sub>0</sub>	Bezugswert der Schalleistung	W	1 pW
L <sub>a</sub>	Beschleunigungspegel	dB	$L_a = 20 \lg \frac{\tilde{a}}{a_0}$
ã	Effektivwert der Beschleunigung	m/s <sup>2</sup>	
a <sub>0</sub>	Bezugsbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	i.d.R. a <sub>0</sub> =10 <sup>-3</sup> m/s <sup>2</sup>
I	Schallintensität	W/m <sup>2</sup>	$I = p \cdot v$
L <sub>eq</sub>	äquivalenter Dauerschallpegel	dB	
σ	Abstrahlgrad	--	unterhalb von f <sub>c</sub> : σ≪1 bei f <sub>c</sub> : σ»1 oberhalb von f <sub>c</sub> : σ=1
α	Schallabsorptionsgrad	--	$\alpha = \frac{W_{abs}}{W_1}$ W <sub>abs</sub> : absorbierte Schalleistung W <sub>1</sub> : auftreffende Schalleistung

Tabelle 2 Kennwerte von Bauteilen und Materialien

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit	Zusammenhang/ Konstante
$m'$	Flächenbezogene Masse	kg/m <sup>2</sup>	$m' = \rho \cdot t$
$\rho$	Rohdichte des Materials	kg/m <sup>3</sup>	
$t$ (teilweise auch $d$ )	Dicke des Bauteils	m	
$E$	Biege-E-Modul	N/mm <sup>2</sup>	
$B'$	Biegesteifigkeit eines Bauteils	Nm	nach Kapitel 6.2, Gleichung 4
$I$	Flächenträgheitsmoment	m <sup>4</sup>	nach Kapitel 6.2
$\sigma$	Abstrahlgrad	--	unterhalb von $f_c$ : $\sigma \ll 1$ bei $f_c$ : $\sigma \gg 1$ oberhalb von $f_c$ : $\sigma = 1$
$\alpha$	Schallabsorptionsgrad	--	$\alpha = \frac{W_{abs}}{W_1}$ $W_{abs}$ : absorbierte Schalleistung $W_1$ : auftreffende Schalleistung
$f_c$	Koinzidenzgrenzfrequenz	Hz	nach Kapitel 5
$f_n$	Eigenfrequenz der n-ten Mode	Hz	
$f_0$	Eigenfrequenz der Grundschiwingung	Hz	
$f_0$	Resonanzfrequenz eines Masse-Feder-Masse-Systems	Hz	
$\eta_{int}$	innerer Verlustfaktor	--	nach Kapitel 6.2

**Tabelle 3 Kennwerte zur Beschreibung schalltechnischer Eigenschaften von Bauteilen (Decken)**

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit	Zusammenhang
$R_f$	Schalldämm-Maß bei der Frequenz $f$	dB	
$R_W$	bewertetes Schalldämm-Maß	dB	Bewertung nach DIN EN ISO 717-1
$R'_W$	bewertetes Schalldämm-Maß eines Bauteils im eingebauten Zustand	dB	
$L_{SR}$	Schalldruckpegel im Senderraum	dB	bei der Messung mit bewegten Mikrofonen wird hier der entsprechende $L_{eq}$ ermittelt
$L_{ER}$	Schalldruckpegel im Empfangsraum	dB	
$L_{n,f}$	Norm-Trittschallpegel bei der Frequenz $f$	dB	$L_{ER}$ bei Trittschallmessung, normiert nach DIN EN ISO 140-6
$L_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel	dB	Bewertung nach DIN EN ISO 717-2
$L'_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel eines Bauteils im eingebauten Zustand	dB	Bewertung nach DIN EN ISO 717-2
$L_{n,eq,0,w}$	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel einer Rohdecke	dB	
$L_{n,eq,H,w}$	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel einer Holz-Rohdecke	dB	nach [2]
$\Delta L_W$	bewertete Trittschallminderung einer Deckenauflage	dB	
$\Delta L_{W,H}$	bewertete Trittschallminderung einer Deckenauflage auf einer Holzrohdecke	dB	nach [2]
$S$	Fläche des Bauteils	m <sup>2</sup>	
$I$	Flächenträgheitsmoment	m <sup>4</sup>	nach Kapitel 6.2
$\sigma$	Abstrahlgrad	--	unterhalb von $f_c$ : $\sigma \ll 1$ bei $f_c$ : $\sigma \gg 1$ oberhalb von $f_c$ : $\sigma = 1$
$\alpha$	Schallabsorptionsgrad	--	$\alpha = \frac{W_{abs}}{W_1}$ $W_{abs}$ : absorbierte Schalleistung $W_1$ : auftreffende Schalleistung

**Tabelle 4 Kennwerte und Begriffe für die Beschreibung von Prüfständen, Prüfräumen und Prüfgegenständen**

Begriff	Bedeutung	Einheit	Zusammenhang/ Konstante
ER	Empfangsraum	--	
SR	Senderraum	--	
S	Fläche des Prüfgegenstandes	m <sup>2</sup>	
$V_{ER}$	Volumen des Empfangsraumes	m <sup>3</sup>	
$V_{SR}$	Volumen des Senderraumes	m <sup>3</sup>	
$A_f$	äquivalente Schallabsorptionsfläche bei der Frequenz $f$	m <sup>2</sup>	$A_f = \frac{0,163 \cdot V}{T_f}$
$T_f$	Nachhallzeit bei der Frequenz $f$	s	
$A_0$	Bezugsabsorptionsfläche	m <sup>2</sup>	i.d.R. $A_0 = 10 \text{ m}^2$
S	Fläche des Bauteils		

## 3.2 Berechnungsgrundlagen

Untergliederung des Frequenzspektrums:

Bandbreite	Frequenzschritte	untere Frequenzgrenze $f_u$	obere Frequenzgrenze $f_o$
Oktaven	jeweils Verdoppelung der Frequenz	$f_u = \frac{f_m}{\sqrt{2}}$	$f_o = f_m \cdot \sqrt{2}$
Terz	1/3 Oktave	$f_u = \frac{f_m}{\sqrt[3]{2}}$	$f_o = f_m \cdot \sqrt[3]{2}$

$f_m$  = Mittenfrequenz

**Tabelle 5 Untergliederung des Frequenzspektrums<sup>2</sup>**

Oktaven			Terzen		
$f_{\text{unten}}$	$f_{\text{Mitte}}$	$f_{\text{oben}}$	$f_{\text{unten}}$	$f_{\text{Mitte}}$	$f_{\text{oben}}$
0,71	1,00	1,41	0,89	1,00	1,12
1,41	2,00	2,83	1,11	1,25	1,40
2,83	4,00	5,66	1,43	1,60	1,80
5,66	8,00	11,3	1,78	2,00	2,24
11,3	16,0	22,6	2,23	2,50	2,81
22,3	31,5	44,5	2,81	3,15	3,54
44,5	63,0	89,1	3,56	4,00	4,49
88,4	125	176,8	4,45	5,00	5,61
176,8	250	353,6	5,61	6,30	7,07
353,6	500	707,1	7,13	8,00	8,98
707,1	1000	1414,2	8,9	10,0	11,2
1414,2	2000	2828,4	11,1	12,5	14,0
2828,4	4000	5656,9	14,3	16,0	18,0
5657	8000	11314	17,8	20,0	22,4
11314	16000	22627	22,3	25,0	28,1
			28,1	31,5	35,4
			35,6	40,0	44,9
			44,5	50,0	56,1
			56,1	63,0	70,7
			71,3	80,0	89,8
			89	100,0	112
			111	125,0	140
			143	160,0	180
			178	200,0	224
			223	250,0	281
			281	315,0	354
			356	400,0	449
			445	500,0	561
			561	630,0	707
			713	800,0	898
			891	1000,0	1122
			1114	1250,0	1403
			1425	1600,0	1796
			1782	2000,0	2245
			2227	2500,0	2806
			2806	3150,0	3536
			3564	4000,0	4490
			4454	5000,0	5612
			5613	6300	7072
			7127	8000	8980
			8909	10000	11225

<sup>2</sup> entnommen aus [4], die orange unterlegten Bereiche kennzeichnen den bauakustisch bewerteten Bereich

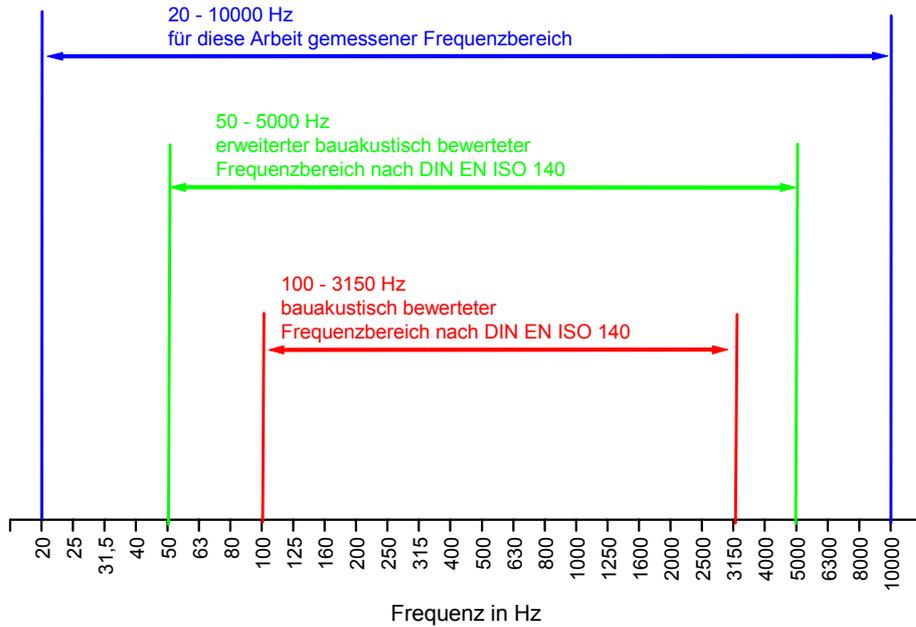


Abbildung 2 Bewertete Frequenzbereiche bei Messung in Terzbändern

### Energetische Mittelung von Pegeln:

$$\bar{L} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m 10^{0,1 \cdot L_i} \right)$$

$\bar{L}$  energetischer Mittelwert in dB

m Anzahl der zu mittelnden Pegel

$L_i$  i-ter Pegel in dB

### Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{T} \cdot \sum_0^T 10^{0,1 \cdot L_p(t)} dt \right)$$

$L_{eq}$  äquivalenter Dauerschallpegel in dB

T Mittelungszeit in s

$L_p(t)$  zeitabhängiger Schalldruckpegel

## 4 Deckenkonstruktionen

Unabhängig von der Bauweise bestehen Decken in der Regel aus Rohdecke und Fußbodenaufbau. Aus ästhetischen, bauphysikalischen oder gebäudetechnischen Gründen sind unterhalb der Rohdecke häufig zusätzliche Schichten angeordnet („abgehängte Unterdecke“). Entscheidend für die Anforderungen, die an die Decke gestellt werden, ist primär ihr Einsatzgebiet. Daraus leitet sich die notwendige Beschaffenheit der gesamten Konstruktion und speziell des Fußbodenaufbaus ab.

### 4.1 Anforderungen an die Decke

Eine fertige Decke muss Anforderungen aus vielen verschiedenen Sichtweisen erfüllen. Das Produkt LenoTec® kommt häufig in Gebäuden für Wohnzwecke zum Einsatz. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen deshalb Fußbodenaufbauten vor allem für diesen Anwendungsfall zusammengestellt werden. Daraus ergeben sich die Anforderungen, die an die Deckenkonstruktion zu stellen sind.

Die Eignung von Bauteilen für den Einsatz in Büro- und anderen Arbeitsbereichen stellt erhöhte Anforderungen in vielerlei Hinsicht. Da dieses Einsatzgebiet von LenoTec® hier nicht näher ausgeführt werden soll, wird an verschiedenen Stellen auf die entsprechenden Anforderungen verwiesen, ohne diese bei der Auslegung der Fußbodenaufbauten zu berücksichtigen.

Nachfolgend sind die Vorgaben für die Zusammenstellung der Fußbodenaufbauten aus verschiedenen Sichtweisen dargestellt.

### 4.1.1 Konstruktive Vorgaben

Aus den Erfahrungen der Firma MERK bezüglich häufiger Kundenwünsche und baupraktischer Aspekte, entstehen folgende konstruktive Vorgaben.

- Ein häufiger Kundenwunsch ist eine sichtbar ausgeführte Untersicht des LenoTec®-Deckenelementes. Eine abgehängte Unterdecke, die sich schalltechnisch günstig auswirken würde, ist deshalb nicht vorzusehen.
- Die kontrollierte Wohnraumlüftung zählt heute wegen der hohen Anforderungen an den Wärmeschutz und der damit verbundenen Notwendigkeit der Wärmerückgewinnung zur Standardausstattung eines modernen Neubaus. Für die Verlegung dafür benötigter Kanäle und anderer Ver- und Entsorgungsleitungen steht bei Massivholzdecken kein Raum im Fachbereich zur Verfügung (wie z.B. bei Holzbalkendecken). Im Fußbodenaufbau sollte deshalb Platz für diese haustechnischen Leitungen vorhanden sein. Für Lüftungsleitungen bietet sich bei geringen Aufbauhöhen ein Flachkanalsystem an, bei dem von einer Aufbauhöhe von ca. 54mm auszugehen ist<sup>3</sup>. Alle anderen Leitungen wie Elektrokabel, Frischwasser- und Heizungsrohre oder eventuell kleinere Abwasserrohre<sup>4</sup> haben in der Regel geringere Querschnitte.
- Der Holzbau bietet den Vorteil einer trockenen Bauweise. Lange Trocknungszeiten wie sie etwa beim konventionellen Massivbau auftreten, sind deshalb nicht notwendig. Dieser Vorteil geht verloren, wenn z.B. beim Fußbodenaufbau Materialien mit hohem Wasseranteil verwendet werden. Trockene Systeme sind deshalb auch hier vorzuziehen.

---

<sup>3</sup> Abmessungen beispielhaft für Flachkanalsystem 100 der Firma VTS [28]

<sup>4</sup> Abwasserrohre mit großen Querschnitten werden nur selten in der Decke verzogen; die Auslegung der Fußbodenaufbauten auf derartige Ausnahmefälle erscheint deshalb nicht sinnvoll

Daneben leiten sich aus verschiedenen Normen und Regelblättern konstruktive Anforderungen an die Deckenkonstruktion ab. Die wichtigsten werden nachfolgend aufgeführt:

- **DIN 1055 Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten, Ausgabe 2002-10**

In DIN 1055-3 [16] sind nach der Nutzung verschiedene Kategorien mit entsprechenden lotrechten Nutzlasten (Verkehrslasten) zugeordnet. Für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Decke nach DIN 1052 muss neben dieser Verkehrslast<sup>5</sup> zusätzlich das Eigengewicht der Decke (inkl. Fußbodenaufbau) und ein Zuschlag für leichte Trennwände berücksichtigt werden. Selbstverständlich ist nicht nur die Rohdecke auf ihre Gebrauchstauglichkeit zu prüfen. Auch der Fußbodenaufbau muss für die entsprechende Flächenbelastung geeignet sein. Die Nutzlasten nach Tabelle 6 sind deshalb bei der Zusammenstellung der Prüfaufbauten zu berücksichtigen.

**Tabelle 6 Lotrechte Nutzlasten für Decken<sup>6</sup>**

Nutzung	Beispiele	Kategorie	Verkehrslast $q_K$ in kN/m <sup>2</sup>	Punktbelastung $Q_K$ in kN
Spitzböden	für Wohnzwecke nicht geeigneter, aber zugänglicher Dachraum bis 1,80m lichter Höhe	A1	1,0	1,0
Wohn- und Aufenthaltsräume	Räume mit ausreichender Querverteilung der Lasten: Räume und Flure in Wohngebäuden, Hotelzimmern inkl. zugehöriger Bäder	A2	1,5	--
	wie A2, ohne ausreichende Querverteilung der Lasten	A3	2,0	1,0
Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	Flure in Bürogebäuden, Büroflächen, Arztpraxen (inkl. Aufenthaltsräume und Flure),	B1	2,0	2,0
Verkaufsräume	Flächen von Verkaufsräumen bis 50 m <sup>2</sup> Grundfläche in Wohn-, Büro-, und vergleichbaren Gebäuden	D1	2,0	2,0

<sup>5</sup> eventuell um Faktor  $\alpha_a$  abgemindert nach DIN 1055-3, Ausg. 2001-10 Gleichungen 1-3 [16]

<sup>6</sup> Auszug aus DIN 1055-3, Ausgabe 2002-10, Tab. 1 [16]

- **DIN 1052 (neu) bzw. Eurocode5**

Nach [10] wird der Gebrauchstauglichkeitsnachweis von Holzdecken mit der Einführung der DIN 1052 neu Anforderungen an das Schwingungsverhalten stellen. Es ist noch nicht vollständig geklärt, welche Kriterien bei diesem Nachweis berücksichtigt werden. In Anlehnung an den im Eurocode 5 (ENV 1995-1) beschriebenen Nachweis, soll auf jeden Fall eine Anforderung an die erste Eigenfrequenz  $f_1$  der Deckenkonstruktion gestellt werden. Für Wohnungsdecken mit üblicher Nutzung muss danach das Kriterium  $f_1 > 8\text{Hz}$  sichergestellt werden.

- **Artikel 32 Bayerische Bauordnung (BayBO)**

Im Artikel 32 der BayBO sind Bestimmungen bezüglich der Feuerwiderstandsdauer von Decken verankert<sup>7</sup>. Für die hier betrachteten Anwendungsfälle (Wohngebäude) bestehen diesbezüglich keine Anforderungen sofern nicht mehr als zwei Wohnungen vorhanden und keine Aufenthaltsräume über dem zweitem Vollgeschoss angeordnet sind. Eine tiefer gehende brandschutztechnische Betrachtung soll hier infolgedessen nicht vorgenommen werden.

---

<sup>7</sup> Bestimmungen anderer Landesbauordnungen können von denen der BayBO abweichen

#### 4.1.2 Vorgaben aus bauablauftechnischer Sicht

Um eine schnelle und somit wirtschaftliche Bauabwicklung zu garantieren sollten möglichst Materialien mit folgenden Eigenschaften zum Einsatz kommen:

- kurze Trocknungszeiten und somit schnelle Belagsreife
- leichte und schnelle Verlegbarkeit
- hoher Vorfertigungsgrad, also die Anlieferung in möglichst großen Elementen (Grenzen setzen dabei die Größen der zum Zeitpunkt von Ausbauarbeiten noch zur Verfügung stehenden Bauöffnungen und die Manipulierbarkeit von Bauelementen innerhalb des Rohbaus)

Vor allem für mehrgeschossige Bauwerke ist entscheidend, in welcher Form die Baumaterialien auf die Baustelle geliefert werden, beziehungsweise wie und wann sie zum Einbauort transportiert werden können. Das logistische Konzept des Baustoffherstellers ist deshalb im Auge zu behalten.

### 4.1.3 Vorgaben aus schallschutztechnischer Sicht

In DIN 4109, 1989-11 mit Beiblatt 2, 1989-11 [15] sind die Anforderungen an Decken aus schallschutztechnischer Sicht geregelt. Zu beachten ist, dass Anforderungen an den Schallschutz nur bei Decken zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen gestellt werden. Sehr häufig haben Bauherren aber auch im eigenen Wohnbereich bestimmte Ansprüche an den Schallschutz. Hierzu finden sich in Beiblatt 2 zur DIN 4109 Empfehlungen für den Schallschutz von Decken im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich unterschieden nach „normalem“ und „erhöhtem“ Schallschutz. Darüber hinaus sind hier auch Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz für Decken zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen enthalten. Tabelle 7 fasst die einschlägigen Anforderungen und Empfehlungen zusammen.

**Tabelle 7 Anforderungen/ Empfehlungen an den Schallschutz von Decken<sup>8</sup>**

Anwendungsfall	Qualität	Anforderung/ Empfehlung nach	Anforderung		Empfehlung	
			$L'_{n,w}$	$R'_w$	$L'_{n,w}$	$R'_w$
Decken im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich	Normaler Schallschutz	DIN 4109, Beiblatt2, Tab.3	-	-	$\leq 56$ dB	$\geq 50$ dB
	Erhöhter Schallschutz	DIN 4109, Beiblatt2, Tab.3	-	-	$\leq 46$ dB	$\geq 55$ dB
Decken zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen (Wohnungstrenndecken)	Normaler Schallschutz	DIN 4109, Tab.3	$\leq 53$ dB	$\geq 54$ dB	-	-
	Erhöhter Schallschutz	DIN 4109, Beiblatt2, Tab.2	-	-	$\leq 46$ dB	$\geq 55$ dB

Im Entwurfsstadium befindet sich die DIN 4109, Teil 10. Sie soll das Beiblatt2 der DIN4109 (1989-11) ersetzen, also Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz geben. In Anlehnung an VDI4100 [25] unterscheidet E DIN 4109-10 (2000-06) [26] für den Schallschutz zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen drei Schallschutzstufen (SSt).

<sup>8</sup> Auszug aus DIN 4109 (1989-11), Tab. 3 und DIN 4109, Beiblatt 2 (1989-11), Tab. 2 + 3

- SSt I stimmt mit Anforderungen der DIN 4109 überein („normaler Schallschutz“); „unzumutbare Belästigungen werden vermieden“
- SSt II „die Bewohner finden im allgemeinen Ruhe“
- SSt III „die Bewohner finden ein hohes Maß an Ruhe“

Darüber hinaus gibt E DIN 4109-10 Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich (EW).

Tabelle 8 fasst die für diese Arbeit relevanten Werte der E DIN 4109-10 zusammen.

**Tabelle 8 Empfehlung an den Schallschutz von Decken nach E DIN 4109-10 /VDI 4100 (Angaben in dB)**

Anwendungsfall	kennzeichnende Größe nach DIN 4109	Bauteile zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen			Bauteile im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich
		SSt I <sup>9</sup>	SSt II	SSt III	EW
Decken zwischen Aufenthaltsräumen von Wohnungen	$R'_{w}$	≥54	≥57	≥60	≥40
	$L'_{n,w}$	≤53	≤46	≤39	≤53 <sup>10</sup>
Decken zwischen fremden Treppenhäusern und Wohnungen	$R'_{w}$	≥54	≥56	≥59	--
	$L'_{n,w}$	≤53	≤53	≤46	--

<sup>9</sup> nach DIN 4109, 1989-11

<sup>10</sup> weichfedernde Bodenbeläge dürfen angerechnet werden

#### 4.1.4 Finanzielle Vorgaben

Der finanzielle Aufwand ist selbstverständlich ein sehr wichtiger, oft der wichtigste Faktor bei der Entscheidung für eine Ausführungsvariante. Um nicht Gefahr zu laufen, Fußbodenaufbauten zu testen, die dann aus finanziellen Gründen praktisch keine Anwendung finden, sollen im Rahmen dieser Arbeit die Material- und Einbaukosten nicht außer Acht gelassen werden. Eine realistische und marktübliche Preisauskunft ist für Einkaufsabteilungen sehr viel leichter einzuholen als für einen Diplomanden. Deshalb umfasst diese Arbeit keinen Preisvergleich. Bei der Auswahl der Deckenaufbauten fließen vielmehr Erfahrungen der Firma MERK und konkrete Preisanfragen durch deren Einkaufsabteilung ein.

### 4.1.5 Gewichtung der Kriterien

Die Vorgaben für die Zusammenstellung der Deckenkonstruktion werden sich von Bauvorhaben zu Bauvorhaben verändern. Wie bereits in der Diplomarbeit von Christian Off [3] soll sich die Zusammenstellung der Fußbodenaufbauten zunächst an schallschutztechnischen Gesichtspunkten orientieren. Der Normtrittschallpegel  $L'_{n,w}$  ist dabei das wichtigste Kriterium, da im Holzbau allgemein davon auszugehen ist, dass bei Erfüllung der Anforderung/ Empfehlung von erf. $L'_{n,w}$  auch das Luftschalldämm-Maß erf. $R'_w$  eingehalten wird ([2], Kap. 6.1, S.13). In Anlehnung an Tabelle 7 und Tabelle 8 sind daher drei Deckenaufbauten mit folgenden Werten für  $L'_{n,w}$  zusammenzustellen und zu prüfen:

1.  $L'_{n,w} \leq 56\text{dB}$       **Empfehlung für normalen Schallschutz bei Decken im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich nach DIN 4109 (1989-11)**
2.  $L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$       **Anforderung an den normalen Schallschutz von Wohnungstrenndecken (Decken zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen) nach DIN 4109 (1989-11) und Empfehlung für Schallschutz von Decken im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich (EW) nach E DIN 4109-10 (2000-09)**
3.  $L'_{n,w} \leq 46\text{dB}$       **Empfehlung für erhöhten Schallschutz bei Decken in eigenen und zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen nach DIN 4109 (1989-11) und Empfehlung für SSt II nach E DIN 4109-10 (2000-09) für Decken zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen**

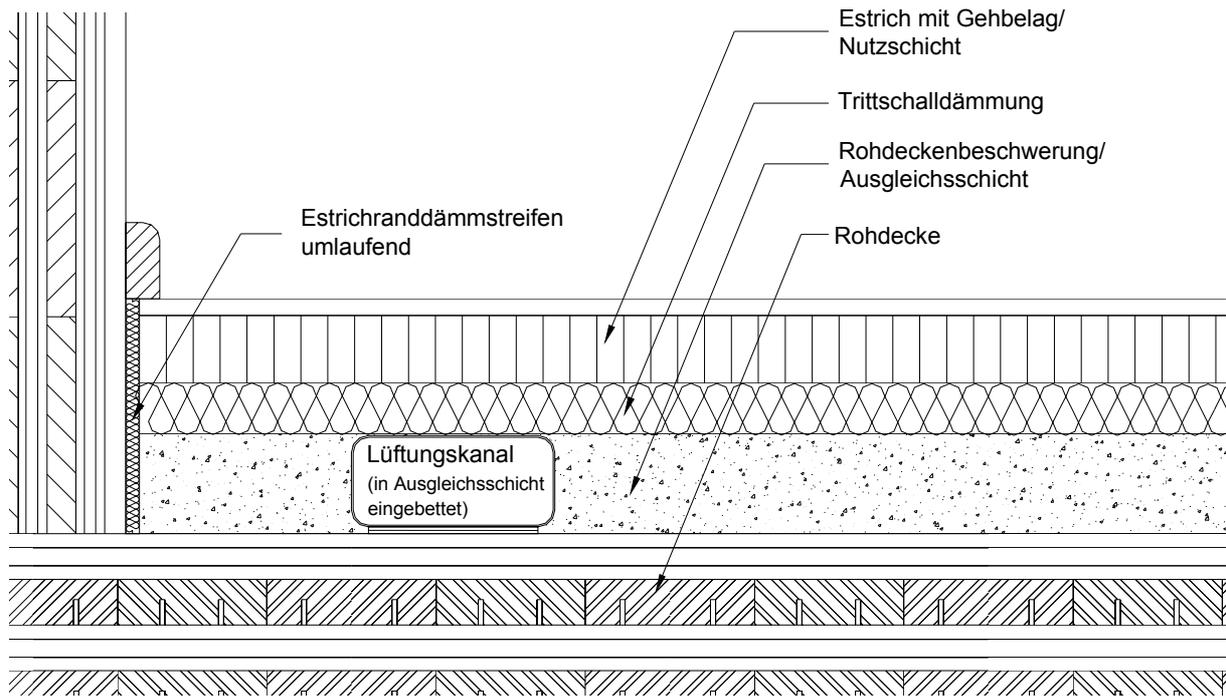
Zusätzlich sind bei allen Aufbauten die Anforderungen aus den anderen Norm- und Regelwerken einzuhalten. Die übrigen Vorgaben sind jeweils in Absprache mit der Firma MERK abzuwägen.

## 4.2 Bestandteile eines Fußbodenaufbaus

In Wohn- und Bürogebäuden kommen dem Fußbodenaufbau folgende Aufgaben zu:

- den Anforderungen entsprechenden Luft- und Trittschallschutz zwischen den getrennten Räumen herstellen (zusammen mit der Rohdecke)
- möglichst gute schalltechnische Entkopplung zwischen Gehbelag und der Rohdecke bzw. den aufgehenden Wänden, um den Körperschalleintrag aus der Geh- und Nutzschrift in die Tragkonstruktion des Bauwerks zu reduzieren
- Aufnahme des Bodenbelages
- Aufnahme von haustechnischen Leitungen, Rohren und Kanälen
- Wärmedämmung bei Decken zwischen Räumen mit sehr unterschiedlichen Raumtemperaturen

Um zum einen die nötige schalltechnische Entkoppelung zwischen Estrich und Bauwerk zu gewährleisten, und zusätzlich Quell- und Schwindbewegungen des Estrichs und der Nutzschrift schadfrei auszugleichen, wird in Wohn- und Bürogebäuden in der Regel eine schwimmende Estrichkonstruktion gemäß DIN18560-2[14] ausgeführt. Das wichtigste Merkmal ist dabei eine Estrichplatte die durch eine Dämmschicht von der darunter liegenden Rohdecke getrennt ist. Der Estrich „schwimmt“ also auf der Dämmschicht. Zusätzlich wird eine direkte Verbindung der Estrichplatte zu den aufgehenden Wänden durch einen umlaufenden Estrichranddämmstreifen verhindert (Anschlussdetail Abbildung 3).



**Abbildung 3 Schema Fußbodenaufbau (schwimmender Estrich) mit Anschluss an aufgehende Wände**

Ein Fußbodenaufbau mit schwimmendem Estrich untergliedert sich von unten nach oben üblicherweise in die Komponenten nach folgender Aufstellung (siehe auch Abbildung 3).

### 4.2.1 Rohdeckenbeschwerung/ Ausgleichsschicht

Wie in Kapitel 6.2 näher erläutert wird, wirkt sich hohe Masse positiv auf die schalldämmende Wirkung von Bauteilen aus. Da Holzdecken hier im Vergleich zu Stahlbetondecken erhebliche Defizite aufweisen, ist es je nach Anforderungen an den Schallschutz sinnvoll, Holzrohdecken durch geeignete Maßnahmen zu beschweren. Die Beschwerung erfolgt dabei entweder mit plattenförmigen Werkstoffen, Steinen oder Schüttungen. Notwendige Eigenschaften der Beschwerung und konstruktive Maßnahmen sind:

- möglichst hohe Rohdichte (um genügend Gewicht bei möglichst geringer Schichtdicke aufbringen zu können)
- Restfeuchte  $u_m < 1,8\%$  (Massenprozent) ([2], S.18); um ein Schülsseln und Aufwölben bei trockenen Estrichen va. aus Holz- und Gipswerkstoffen zu vermeiden
- um eine schalltechnische Bedämpfung der Rohdecke zu erreichen, ist bei Beschwerungen aus Platten und Steinen ein fester Verbund zwischen Rohdecke und der Beschwerung herzustellen (durch geeignete Verklebung) oder eine Lagerung in einem Bett aus Quarzsand (5mm) vorzusehen [2], S.18
- Geeigneten Schutz gegen Wandern einplanen (va. bei Schüttungen)
- Rieselschutz unter der Beschwerung (va. bei Schüttungen)
- Deckendurchbrüche elastisch abdichten um speziell bei Schüttungen das Rieseln zu verhindern

Eventuell zu verlegende Leitungen oder Kanäle können in die Beschwerung eingebettet werden. Je nach Material, Trittfestigkeit und Überdeckung der Kanäle ist vor dem weiteren Fußbodenaufbau eventuell eine lastverteilende Platte (z.B. aus Holzweichfaser) vorzusehen.

Allgemein gilt für die Beschwerung der Grundsatz: Je kleinformatiger, desto besser ist die Wirkung aus schallschutztechnischer Sicht ([2], S.18). Dies erklärt sich zum einen durch die mit der Formatgröße abnehmenden Biegesteifigkeit der Beschwerung beziehungsweise der geringeren Zunahme der Biegesteifigkeit der Rohdecke durch die Beschwerung bei kleinen Formaten. Damit verbundenen sinkt die Koinzidenzgrenzfrequenz der gesamten Rohdecke umso weniger, je kleinformatiger die Beschwerung ist (siehe auch Kapitel 6.2.3).

Zum anderen entsteht mit abnehmender Formatgröße in horizontaler Richtung ein höherer Grenzflächenanteil in der Beschwerung und somit eine erschwerte Schallausbreitung in horizontaler Richtung. Für die Schallausbreitung in vertikaler Richtung ist das Format einer Plattenbeschwerung nicht relevant, da in dieser Richtung keine Veränderung der Grenzflächenanteile auftritt.

Den Idealfall aus schallschutztechnischer Sichtweise stellen geschüttete Rohdeckenbeschwerungen dar. Durch sie wird die Biegesteifigkeit der Rohdecke praktisch nicht erhöht ([7], S.319). Zusätzlich erzielt man mit einer Schüttung eine hohe Bedämpfung ([2], S.18).

### 4.2.2 Trittschalldämmung

Die Trittschalldämmung (TSD) sorgt für eine möglichst hohe Entkopplung des Estrichs (inklusive der Nutzschicht) von der darunter liegenden Rohdecke (eventuell mit Beschwerung). Der „Wirkungsgrad“ der Trittschalldämmung hängt von der dynamischen Steifigkeit  $s'$  (in  $\text{MN/m}^3$ ) ab. Je geringer die Steifigkeit der TSD, desto besser ist die Entkoppelung zwischen den Schalen und desto geringer ist die Übertragung von Körperschall vom Estrich auf die Rohdecke.

Als TSD kommen Faserdämmstoffe nach DIN 18165-2 Ausgabe 1987-03 [12], Holzweichfaserdämmstoffe nach DIN 68755-2 oder Schaumkunststoffe nach DIN 18164-2 Ausg. 2001-09 zum Einsatz. Je nach Zusammendrückbarkeit ist eine TSD dem Typ T (hohe Zusammendrückbarkeit) oder dem Typ TK (geringe Zusammendrückbarkeit) zugeordnet.

Steifigkeit und Zusammendrückbarkeit der TSD ist auf das geplante Estrichsystem und die zu erwartende Flächen- und Punktbelastung nach Tabelle 6 abzustimmen. Entsprechende Kombinationen sind in DIN 18560-2, Schwimmende Estriche [14], Tabelle 1 enthalten oder sind vom Hersteller des Estrichsystems getestet und zugelassen.

### 4.2.3 Estrich

Der Estrich ist primär die Tragschicht für den Geh- und Nutzbelag. Bei der schwimmenden Ausführung des Estrichs dient er als lastverteilende Schicht über der Trittschalldämmung.

In DIN 18560-1 [13] und DIN 18560-2 [14] sind Ausführungsformen, Varianten und Merkmale von schwimmenden Estrichen festgelegt sowie die Anforderungen an die Unterkonstruktion beschrieben (wie z.B. die dynamische Steifigkeit  $s^*$  und Zusammendrückbarkeit der TSD).

Schwimmende Estriche lassen sich nach verschiedenen Merkmalen einteilen:

- nach dem Herstellungsverfahren:
  - je nachdem ob die Estrichmasse erst auf der Baustelle hergestellt und somit nass oder in fertigen Elementen und somit trocken verlegt wird in Nassestrich (=Baustellenestrich) oder Trockenestrich (=Fertigteilestrich)
- nach dem Werkstoff:
  - je nach Hauptbestandteil in Zement (ZE)-, Anhydrit (AE)-, Magnesia (ME)- oder Gussasphaltestrich (GE) und Estriche aus Gips- oder Holzwerkstoffplatten oder Platten aus anderen mineralisch gebundenen Werkstoffen (z.B. Blähschiefer)
- nach besonderen Merkmalen und Einsatzgebieten
  - für Fußbodenheizung (Heizestrich), für (großformatige) keramische Bodenbeläge, für Feuchträume

Aus schalltechnischer Sicht hat ein optimaler Estrich folgende Eigenschaften:

- möglichst hohe Masse
- möglichst biegeweich<sup>11</sup>
- geeignet für Trittschalldämmungen mit möglichst geringer dynamischer Steifigkeit

---

<sup>11</sup> dieser Ansatz gilt für Decken in Massivbauweise; für Holzbalkendecken wird in [11] darauf hingewiesen, dass eher biegesteife Estriche zu einem besseren Ergebnis führen können; dieser Ansatz geht auf die Massenverhältnisse bei Holzbalkendecken zurück: in gleicher Weise wie eine schwere Wand (Estrich) mit einer biegeweichen Vorsatzschale (Holzbalkendecke) sollen die Verbesserungen erzielt werden; für LenoTec®-Rohdecken ist dieser Ansatz aufgrund der höheren flächenbezogenen Masse und hohen Biegesteifigkeit im Vergleich zu einer Holzbalkendecke nicht gültig und soll deshalb hier nicht weiter verfolgt werden

Untersuchungen von E. Veres am Fraunhofer Institut für Bauphysik in Stuttgart haben ergeben, dass sich der Einbau eines elementierten Estrichs positiv auf die Schalldämmeigenschaften der Deckenkonstruktion auswirkt [8]. Ein elementierter Estrich besteht aus einer zusätzlichen Schicht möglichst kleinformatiger Platten, die zwischen der eigentlichen Estrichplatte und der Trittschalldämmung angeordnet ist. Es handelt sich dabei um eine Beschwerung des Estrichs. Um den oben aufgeführten Anforderungen an einen optimalen Estrich möglichst nahe zu kommen, sollten für die Elementierung Platten mit möglichst hoher Masse und möglichst kleinem Format verwendet werden (vergleiche dazu 4.2.1 Rohdeckenbeschwerung). Zudem darf keine kraftschlüssige Verbindung mit der Estrichplatte (z.B. durch Verkleben) hergestellt werden. Grenzen dieser Maßnahme sind durch die Tragfähigkeit der Unterkonstruktion (Rohdecke, Trittschalldämmung) und möglicherweise durch eine begrenzte Aufbauhöhe gesetzt.

#### 4.2.4 Bodenbelag

Die Art des Fußbodenbelages hat entscheidenden Einfluss auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$ . So wird ein Teppich je nach Qualität der Rohdecke und des Estrichs deutliche Verbesserung von  $L_{n,w}$  vor allem in mittleren und hohen Frequenzen verursachen<sup>12</sup>. Nach DIN 4109, Beiblatt1, 4.1.3 darf die Verbesserung eines weichfedernden Bodenbelages aber nicht zusammen mit dem Estrich angerechnet werden. Es ist also nach Norm entweder ein Teppich oder ein Estrich anrechenbar. In dieser Arbeit sollen trotzdem die Auswirkungen eines Teppichs bei Tests sowohl auf der Rohdecke als auch auf den verschiedenen Fußbodenaufbauten untersucht werden. Zu beachten ist dabei die Art des Teppichs. Neben dem Polgewicht (ein Maß für die Webdichte eines Teppichs) ist aus bauakustischer Sicht vor allem der Teppichrücken zu beachten. Unterschieden wird bei heutigen Teppichen zwischen Textilrücken und Vliesrücken. Während der Textilrücken relativ hart ist, wird durch einen Vliesrücken eine zusätzliche weiche Dämmschicht aufgebracht. Das schalltechnische Verhalten (vor allem bei Trittschallanregung) eines mit Vliesrücken ausgestatteten Teppichs wird also besser sein als das eines Teppichs mit Textilrücken.

Andere Fußbodenbeläge können sogar ungünstige Auswirkungen auf die schalltechnischen Eigenschaften einer Decke haben. So führen z.B. großformatige Fliesen, die fest mit dem Estrich verklebt sind im ungünstigsten Fall zu einer Erhöhung des bewerteten Normtrittschallpegels<sup>13</sup>.

Bei der Verlegung des Fußbodenbelages muss darauf geachtet werden, dass die im Bereich des schwimmenden Estrichs sorgsam geschaffene Entkoppelung vom Baukörper nicht wieder zunichte gemacht wird. So darf auch der Fußbodenbelag keinen direkten Kontakt zu aufgehenden Wänden aufweisen. Die entstehende Fuge sollte durch einen dauerelastischen Dichtstoff abgedichtet werden. Auch eventuell zu verlegende Sockelleisten sollten keine direkte Verbindung zwischen Fußbodenbelag und Wand herstellen (z.B. durch

---

<sup>12</sup> Untersuchungen für weichfedernde Bodenbeläge auf Holzrohdecken sind in [8] veröffentlicht; für weichfedernde Bodenbeläge auf Massivdecken finden sich entsprechende Werte in DIN 4109, Beiblatt1, Tabelle 17 und 18 [15]

<sup>13</sup> dies erklärt sich durch eine Erhöhung der Biegesteifigkeit des Estrichs (siehe 6.2.3)

Schrauben, Nägel). Vielmehr ist auch hier mit dauerelastischen Klebstoffen zu arbeiten.

### 4.3 Materialübersicht

Der Markt bietet eine große Vielzahl sowohl an fertigen Systemaufbauten als auch an einzelnen Komponenten für den Fußbodenaufbau. Ziel dieser Arbeit ist es nicht alle Produkte aller Anbieter zu vergleichen. Vielmehr sollen grundsätzliche Möglichkeiten und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt werden. Tabelle 44, Tabelle 45 und Tabelle 46 im Anhang G listen die wichtigsten Varianten der einzelnen Aufbaukomponenten auf. Eine Zusammenfassung dazu bietet Tabelle 9.

**Tabelle 9 Auswahl sinnvoller Kombinationen für Fußbodenaufbauten**

Lfd.-Nr.	Rohdeckenbeschwerung (optional)	Trittschalldämmung		Estrich				
		Material/ Typ	s' in MN/m <sup>3</sup>	Herstellungsverfahren	Material	Estrichstärke in mm <sup>14</sup>		
1	Splitt-Schüttungen (Kalksplitt, Basaltsplitt) gebunden in Estrichwaben <sup>15</sup> oder mit Latexmilch <sup>16</sup>  Sand-Schüttungen gebunden in Sandmatten <sup>17</sup>  Betonwerkstoffplatten auf Rohdecke geklebt oder in Sandbett verlegt	Mineralwolle/ TK nach DIN 18165-2	40	Fertigteilestrichsysteme	Elemente aus Gipsfaserplatten	20 - 25		
2			Holzweichfaser/ TK nach DIN 68755-2			40	Holzwerkstoffplatten	>25mm
						15		>28mm
3			40		Blähschieferplatten <sup>18</sup>	25		
4		Mineralwolle/ T nach DIN 18165-2	5		vorgefertigte Zementestrichplatten <sup>19</sup>	1 x 20		
			15			2 x 20		
5		5	Baustellenestriche	bauseits gefertigter Zementestrich	>45			
6	Mineralwolle/ TK nach DIN 18165-2	20		Guss-Asphalt-Estrich	>20			
	Holzweichfaser/ TK nach DIN 68755-2							

<sup>14</sup> ausgelegt für eine Verkehrslast bis 1,5 kN/m<sup>2</sup> und für die Möglichkeit keramischer Fliesenbeläge

<sup>15</sup> System Fermacell

<sup>16</sup> System Köhnke

<sup>17</sup> Vertrieb durch Firma Okal Holzbau

<sup>18</sup> System Perlite Aquapanel

<sup>19</sup> System Best

Die Auswahl der Materialien für die Testaufbauten dieser Arbeit wird in enger Zusammenarbeit mit der Firma MERK getroffen. So können anwendungstechnische, absatzpolitische und finanzielle Aspekte berücksichtigt werden.

## 5 Berechenbarkeit bauakustischer Kennwerte

Zu Zwecken der Marktpositionierung, Ausschreibung, Leistungsverzeichniserstellung oder Abrechnung wird die schalltechnische Qualität von Decken in der Regel mit den Einzahlwerten *bewerteter Norm-Trittschallpegel*  $L'_{n,w}$  und *bewertetes Schalldämm-Maß*  $R'_w$  beschrieben (siehe 4.1.3). Dabei handelt es sich stets um Werte, die das Bauteil im eingebauten Zustand erbringen muss.

Die Berechnung schalltechnischer Eigenschaften von Bauteilen ist speziell für den eingebauten Zustand nach wie vor als sehr problematisch einzustufen. Gerade bei Decken spielen viele schwer zu verifizierende Einflüsse eine entscheidende Rolle auf ihr schalltechnisches Verhalten. Dazu zählen:

- Art der Einbindung in die Konstruktion (umlaufende oder nur zweiseitige Auflagerung, Einspannungsgrad am Auflager z.B. durch Auflasten)
- linienförmige oder punktweise Auflagerung
- Belastungszustand (z.B. hohe Punktbelastung der Decke)
- Masse und Aufbau der flankierenden Bauteile
- Art der Rohdecke (massive Stahlbeton-Decke, Holzbalkendecke, Brettstapeldecke, ...)

Für Decken in Holzbauweise ist der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  das wichtigste Kriterium, da im Holzbau allgemein davon auszugehen ist, dass bei erfüllen der Anforderung/ Empfehlung von erf. $L'_{n,w}$  auch das Luftschalldämm-Maß erf. $R'_w$  eingehalten wird ([2], Kap. 6.1, S.13).

Während für viele Ausführungsvarianten des Massivbaus Rechenwerte des Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w,R}$  in DIN 4109, Beiblatt 1 ([15], S.31ff) zur Verfügung stehen, gibt es bis heute nur wenige Aufbauten in Holzbauweise<sup>20</sup>, für die entsprechende Werte in Normen verankert sind. Nicht genormte Aufbauten können im Massivbau mit Hilfe von Berechnungsverfahren der DIN 4109, Beiblatt 1 berechnet werden (siehe Gleichung 1).

---

<sup>20</sup> in DIN 4109, Beiblatt 1, Ausgabe 1989-11, Tabelle 34 sind die Rechenwerte  $R'_w$  und  $L'_{n,w}$  für sechs verschiedene Holzbalkendeckenkonstruktionen angegeben

**Gleichung 1**<sup>21</sup>

$$\boxed{L'_{n,w,R} = L_{n,w,eq,R} - \Delta L_{w,R}}$$

$L'_{n,w,R}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel der Decke im eingebauten Zustand
$L_{n,w,eq,R}$	bewerteter äquivalenter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke; dieser kann für Massivrohdecken mit $m' > 135 \text{ kg/m}^2$ nach Tabelle 16 der DIN 4109, Beiblatt 1 bestimmt werden
$\Delta L_{w,R}$	Trittschallverbesserungsmaß der Deckenauflage; dieser wird an einer Bezugsrohdecke nach DIN EN ISO 140-4 bestimmt <sup>22</sup>

Im Massivbau wird der so berechnete Wert um 2dB Vorhaltemaß erhöht und kann dann mit den Anforderungen oder Empfehlungen (erf. $L'_{n,w}$ ) verglichen werden.

Für Decken in Holzbauweise und speziell für Decken auf Basis von LenoTec® ist dieses Berechnungsverfahren aus folgenden Gründen nicht anwendbar:

- Holzhohdecken verhalten sich schalltechnisch sehr verschieden (siehe 6.2). So ist es schwer äquivalente Norm-Trittschallpegel für Holzhohdecken zu berechnen ohne sie zu testen. Es gibt zwar für einige Rohdecken in Holzbauweise getestete bewertete äquivalente Norm-Trittschallpegel ( $L_{n,w,eq,H}$ )<sup>23</sup>. Gerade für neuere Holzbausysteme liegen aber häufig noch keine Werte vor. So liegt auch für LenoTec®-Decken noch kein Rechenwert für  $L_{n,w,eq,H}$  vor.
- Die Trittschallverbesserungsmaße von Deckenauflagen  $\Delta L_w$  aus den Messungen auf der Bezugsrohdecke können nicht direkt auf Holzdecken übertragen werden. Eine Deckenauflage wird auf einer Stahlbeton-Rohdecke ein anderes Trittschallverbesserungsmaß aufweisen als auf einer offenen Holzbalkendecke. Sehr problematisch ist auch, dass sogar zwischen verschiedenen Holzbauweisen erhebliche Unterschiede des Trittschallverbesserungsmaßes einer bestimmten Deckenauflage auftreten. Beispielsweise kann ein Teppich auf einer offenen Holzbalkendecke deutlich höhere Trittschallverbesserungsmaße erzielen als auf einer geschlossenen Holzbalkendecke. Dies resultiert aus dem Umstand, dass ein Teppich

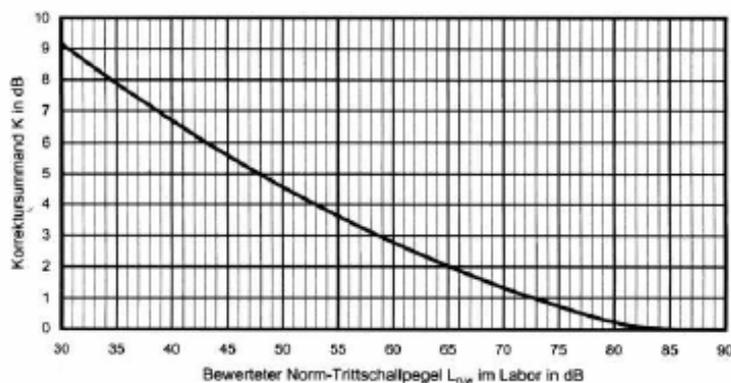
<sup>21</sup> nach DIN 4109, Beiblatt1, 4.1.1

<sup>22</sup> für einige Deckenauflagen kann  $\Delta L_{w,R}$  aus DIN 4109, Beiblatt 1, Tabelle 17 entnommen werden; die Hersteller von Estrichsystemen geben  $\Delta L_{w,R}$  in der Regel in ihren Produktunterlagen an

<sup>23</sup>  $L_{n,w,eq,H}$  geprüfter Holzhohdecken finden sich in [2], Seite 21, Tabelle 5

bauakustisch vor allem in hohen Frequenzen wirksam ist. Da aber eine geschlossene Holzbalkendecke als zweischaliges System für sich alleine in hohen Frequenzen bereits sehr gut ist, kann durch den Teppich die Verbesserung in hohen Frequenzen nicht so deutlich ausfallen wie bei der offenen Holzbalkendecke. Auch wenn also einige Hersteller von Deckenauflagen bereits Trittschallverbesserungsmaße für Holzdecken angeben ( $\Delta L_{w,H}$ ), ist zu hinterfragen auf welcher Art von Holzrohdecke dieser Wert gemessen worden ist. Ebenso die Übertragbarkeit der  $\Delta L_{w,H}$ -Werte aus [2], 7.1.4 auf das System LenoTec® ist unter diesem Aspekt schwierig.

- Die Flankenübertragung ist im Holzbau weitaus schwerer zu beurteilen als im Massivbau. Aufgrund der vielen verschiedenen Bauweisen im Holzbau ist eine einheitliche Berechnungsmethode nur mit großen Sicherheitszuschlägen durchführbar. Zur Vorausberechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels auf Holzdecken wird heute häufig nach einem Verfahren vorgegangen, das im Holzbau Handbuch „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“ [2] beschrieben ist. Zur Berücksichtigung der Flankenübertragung wird hier ein Korrektursummand  $K$  eingeführt, dessen Größe vom bewerteten Norm-Trittschallpegel abhängt (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4 Korrektursummand zur Berücksichtigung der Flankenübertragung<sup>24</sup>**

Die Unterscheidung in verschiedene Holzbausysteme ist hier nicht vorgenommen worden um ein möglichst einfaches Verfahren zu erlangen. Das genaueste aber aufwändigste Mittel, die Flankenübertragung zu quantifizieren,

<sup>24</sup> entnommen aus [2], Seite 23, Abbildung 23

sind entsprechende Baumessungen an laborgeprüften Aufbauten für jedes Holzbausystem.

- Im Gegensatz zu Massivdecken ist bei Holzrohdecken meistens eine Rohdeckenbeschwerung notwendig, um entsprechende Trittschall- und Luftschallwerte einzuhalten. Der Einfluss von Rohdeckenbeschwerungen auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel von Holzdecken ist in verschiedenen Forschungsvorhaben untersucht worden. Im Holzbau Handbuch „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“ [2] sind Ergebnisse aus einem Forschungsvorhaben der DGFH [9] zusammengefasst. Abbildung 5 zeigt den so ermittelten Einfluss der Masse verschiedenartiger Rohdeckenbeschwerungen auf die Trittschalldämmung unterschiedlicher Holzrohdecken.

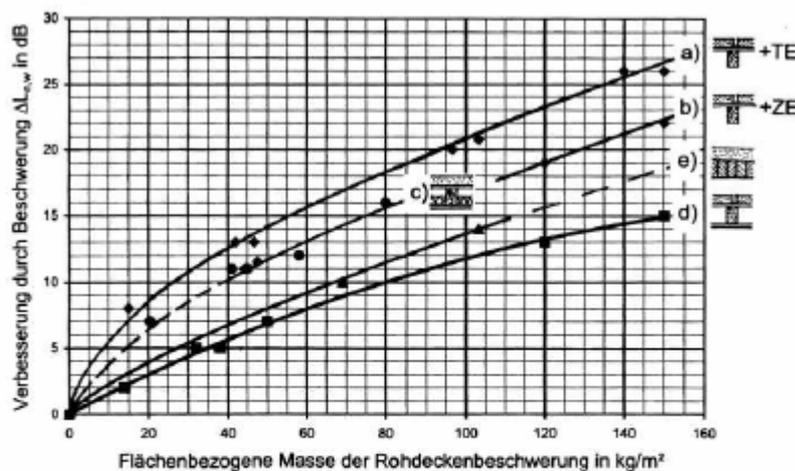


Abb. 22 Verbesserung der Trittschalldämmung ( $\Delta L_{n,w}$ ) durch eine Beschwerung der Rohdecke.

Es wurden verschiedene Arten von Beschwerungen untersucht:

- a) Plattenbeschwerung bei offenen Holzbalkendecken mit Trockenestrich
- b) Plattenbeschwerung bei offenen Holzbalkendecken mit Zementestrich
- c) Schüttungen auf Holzbalkendecken mit Unterdecke
- d) Plattenbeschwerung auf Holzbalkendecke mit Unterdecke
- e) Schüttungen auf Brettstapeldecken

Anmerkung 1: Im Bereich der gestrichelten Linie sind die Werte unsicher.

Anmerkung 2: Alle Messungen der Abb. 22 wurden auf Decken mit Estrichen auf Mineralfaserdämmplatten durchgeführt.

### Abbildung 5 Verbesserung der Trittschalldämmung durch Rohdeckenbeschwerung <sup>25</sup>

Es zeigt sich auch hier wie ungleich sich die verschiedenen Holzrohdecken bei gleicher Beschwerung verhalten (z.B. Vergleich der Kurven c) und e) in Abbildung 5). Eine Einordnung von LenoTec® in dieses Diagramm ist bereits in der Diplomarbeit von Christian Off vorgenommen worden ([3], Kapitel 9.2.2). LenoTec® verhält sich

<sup>25</sup> entnommen aus [2], Seite 23, Abbildung 22

demnach wie eine Brettstapeldecke (Kurve e) für Beschwerung mit Schüttung). Diese Betrachtung ist insofern kritisch, da LenoTec® im Vergleich zu Brettstapелеlementen (Annahme genagelt) aufgrund der Verleimung der Lamellen eine höhere Biegesteifigkeit aufweist. Darüber hinaus dürfte auch der bewertete äquivalente Norm-Trittschallpegel einer LenoTec®-Rohdecke höher liegen als der einer genagelten Brettstapeldecke<sup>26</sup>. Insgesamt ist also bei einer LenoTec®-Rohdecke das Potential zur Trittschallschutzverbesserung durch eine Rohdeckenbeschwerung etwas höher einzustufen als bei einer gleich schweren genagelten Brettstapeldecke. Der Kurvenverlauf für LenoTec® in Abbildung 5 sollte demzufolge über dem der Brettstapeldecke liegen. Die Berechnung von Einzahlwerten für den bewerteten Norm-Trittschallpegel von Holzdecken ist unter den genannten Gesichtspunkten nur in Grenzen möglich. Diese Grenzen sind für gut erforschte Holzbauweisen (wie z.B. Holzbalkendecken in Gebäuden in Holzrahmenbauweise) relativ weit gesteckt. So kann beispielsweise nach dem Berechnungsverfahren aus dem Holzbau Handbuch „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“ [2] vorgegangen werden. Hier berechnet sich der Einzahlwert für den bewerteten Norm-Trittschallpegel im eingebauten Zustand  $L'_{n,w}$  nach Gleichung 2.

#### Gleichung 2<sup>27</sup>

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq,H} - \Delta L_{W,H} - \Delta L_{n,w,Beschwerung} + K + 4dB$$

$L'_{n,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel der Decke im eingebauten Zustand
$L_{n,w,eq,H}$	bewerteter äquivalenter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke nach Herstellerangaben oder [2], 7.1.3
$\Delta L_{W,H}$	Trittschallverbesserungsmaß der Deckenauflage auf Holzdecken nach Herstellerangaben oder [2], 7.1.4
$\Delta L_{n,w,Beschwerung}$	Trittschallverbesserungsmaß durch die Rohdeckenbeschwerung nach Abbildung 5
K	Korrektursummand zur Berücksichtigung der Flankenübertragung nach Abbildung 4
4dB	Berücksichtigung von Rechenunsicherheiten nach [2], 7.1.2; bei Addition von 4dB wird $L'_{n,w}$ sicher erreicht

<sup>26</sup> Brettstapeldecke 120mm, genagelt  $L_{n,w,eq,H} = 78dB$  (aus[2], Seite 21, Tabelle 5)

LenoTec®: Vergleich mit System KLH, 150mm, Kreuzlagen, geleimt  $L_{n,w,eq,H} = 85dB$  (aus[3], Seite 70)

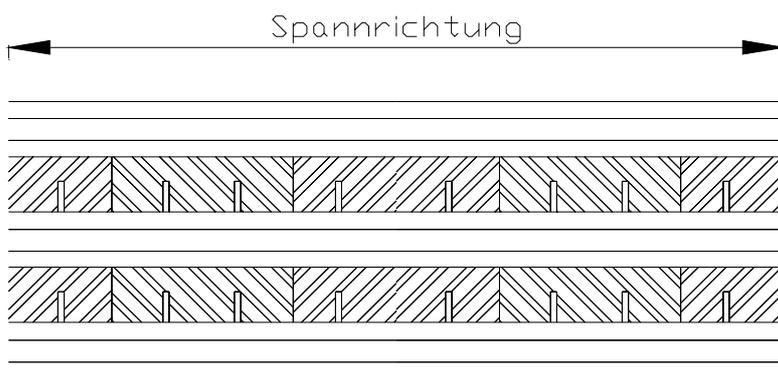
<sup>27</sup> nach [2], Kapitel 7

Ungleich schwieriger erscheint die Einordnung des Systems LenoTec®. Die systematische Vermessung einer LenoTec®-Rohdecke im Rahmen dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.2 und 9.1) ist deshalb eine wichtige Voraussetzung für die weitere Entwicklung der angestrebten Deckenaufbauten. Der Einfluss der Flankenübertragung kann hier allerdings nicht genauer untersucht werden.

# 6 LenoTec®-Rohdecke

## 6.1 Beschreibung des Werkstoffes

Das Holzbausystem LenoTec® der Firma MERK besteht aus kreuzweise verleimten Lagen aus maschinell getrockneten, keilgezinkten Fichtenholzlamellen der Sortierklasse S10. Es entstehen Bauteile mit Dicken zwischen 50mm und 300mm und maximalen Abmessungen von 4,80m x 30,00m. Je nach geforderter Bauteilstärke werden Lagen in verschiedener Anzahl und Stärke miteinander verleimt. Wichtig ist ein symmetrischer Aufbau um innere Spannungen und Verwindungen zu vermeiden.



**Abbildung 6 Aufbau LenoTec®**

Zur Anwendung kommt das bauaufsichtlich zugelassene LenoTec® als Wand-Decken- oder Dachelement. Die Firma MERK liefert von Standardplatten (unter dem Namen „LenoPlan®“) alles bis hin zu fertig abgebundenen Komplettbausätzen.

Dem Planer stehen für die Standardquerschnitte die notwendigen Planungsunterlagen und Querschnittswerte zur Verfügung. Auf Wunsch werden Detailplanung, Bemessung, Arbeitsvorbereitung und die Bauleitung von den Ingenieuren der Firma MERK durchgeführt.

## 6.2 LenoTec®-Decken aus schalltechnischer Sicht

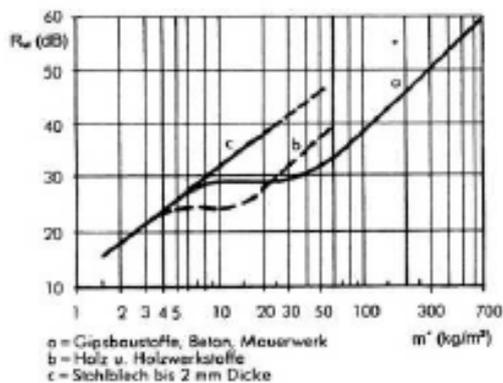
Für die Auswahl von Fußbodenaufbauten auf einer Rohdecke ist die Kenntnis des schalltechnischen Verhaltens der Rohdecke selber erforderlich. Da LenoTec®-Decken diesbezüglich bisher noch nicht ausreichend untersucht werden konnten, soll zunächst eine grobe Abschätzung wichtiger Kennlinien erfolgen und diese dann durch die Vermessung der Rohdecke gefestigt werden.

Die Einstufung von Rohdecken und Fußbodenaufbauten erfolgt in der Regel mit den Kennzahlen für Luftschalldämmmaß und Trittschallpegel. Um die Rohdecke richtig einordnen zu können, ist es wichtig, nicht nur diese nach DIN EN ISO 140 ermittelten und nach DIN EN ISO 717 bewerteten Einzahlwerte zu betrachten, sondern den Verlauf der entsprechenden Kurven über einen möglichst großen Frequenzbereich zu untersuchen. So kann eindeutig bestimmt werden bei welchen Frequenzen Probleme vorhanden sind.

Die Abschätzung von Luftschalldämmmaß und Trittschallpegel ist für LenoTec®-Decken bisher durch Vergleich mit anderen, bereits eingehend untersuchten Rohdeckentypen erfolgt. Für diesen Vergleich sind folgende Eigenschaften der Rohdecke zu berücksichtigen:

### 6.2.1 Flächenbezogene Masse $m'$ bzw. Dichte $\rho$ des Rohdeckenmaterials

Die Masse der Bauteile hat entscheidenden Einfluss sowohl auf die Luftschalldämmung als auch auf die Trittschalldämmung. Der Zusammenhang zwischen Luftschalldämmmaß und flächenbezogener Masse  $m'$  ist aus Abbildung 7 ersichtlich. Verschiedene Kurvenverläufe bei unterschiedlichen Materialien sind mit Einflüssen von Biegesteifigkeit und innerer Dämpfung zu erklären (siehe Unterpunkte 6.2.3 und 6.2.4 dieses Kapitels).



**Abbildung 7** Schalldämm-Maß  $R_w$  eines einschaligen Bauteils in Abhängigkeit seiner flächenbezogenen Masse  $m'$ <sup>28</sup>

Für einschalige Bauteile kann im mittleren Frequenzbereich (oberhalb der Eigenfrequenzen  $f_0$  und unterhalb der Koinzidenzfrequenz  $f_n$ )<sup>29</sup> das Luftschalldämm-Maß nach dem Massegesetz von *Berger* ermittelt werden (Gleichung 3).

**Gleichung 3:**

$$R_f = 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{\pi \cdot f \cdot m'}{\rho_0 \cdot c_0} \right)^2 \right]$$

$R_f$	Schalldämm-Maß bei der Frequenz $f$ in dB
$f$	Frequenz in Hz
$m'$	flächenbezogene Masse des Bauteils in $\text{kg}/\text{m}^2$
$\rho_0$	Dichte der Luft; $\rho_0=1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$
$c_0$	Schallgeschwindigkeit in der Luft; $c_0=344 \text{ m}/\text{s}$ (bei $v=20^\circ\text{C}$ )

<sup>28</sup> entnommen aus [2] S.9

<sup>29</sup> vergleiche hierzu Abbildung 8

## 6.2.2 Einschaligkeit der Rohdecke

Gerade in Holzbauweise werden in Form von geschlossenen Holzbalkendecken häufig zweischalige Rohdecken erstellt. Aus schalltechnischer Sicht sind diese Konstruktionen grundlegend verschieden von einschaligen Bauweisen wie sie z.B. bei den üblichen Stahlbetonrohdecken vorliegen.

Betrachtet man nur die LenoTec®-Rohdecke, so liegt durch die Verleimung der Lamellen untereinander in erster Näherung ein monolithisches, homogenes, also einschaliges Bauteil vor. Die schalltechnischen Eigenschaften der Rohdecke werden entscheidend von dieser Tatsache geprägt.

Die Luftschalldämmung einschaliger Bauteile kann grob in drei Frequenzbereiche untergliedert werden (siehe Abbildung 8).

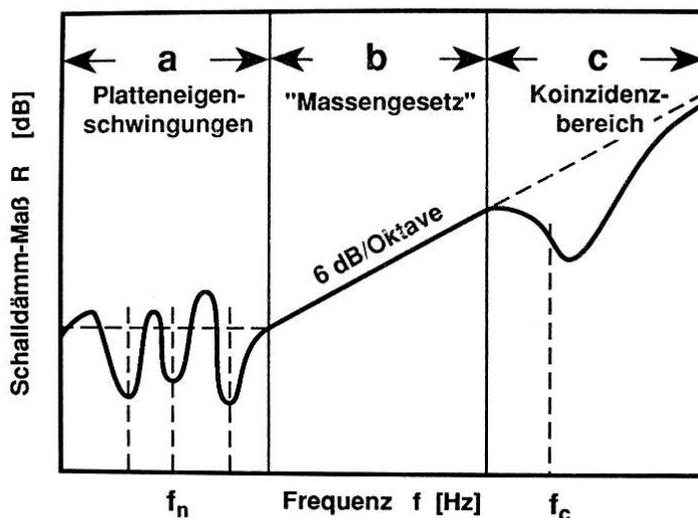


Abbildung 8: Kennzeichnende Frequenzbereiche einschaliger Bauteile <sup>30</sup>

Im mittleren Frequenzbereich ist ein linearer Anstieg des Schalldämm-Maßes mit der Frequenz zu beobachten. Die Berechnung des Schalldämm-Maßes kann hier näherungsweise nach dem Massegesetz von *Berger* (siehe 6.2.1, Gleichung 3) durchgeführt werden. Nach unten wird der lineare Verlauf mit dem Bereich der Platteneigenschwingungen (Eigenfrequenzen  $f_n$ ) begrenzt. Hier ist keine eindeutige Frequenz zuzuordnen, da sich die Plattenschwingungen zum einen in die beiden Hauptrichtungen der Platte ausbilden, und zum anderen

<sup>30</sup> entnommen aus [4] S. 258

auch mehrere Moden innerhalb der Platte zum Tragen kommen können. Der obere Frequenzbereich einschaliger Bauteile wird durch einen Einbruch in Folge der Koinzidenz oder auch Spuranpassung gekennzeichnet. Die Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  ist abhängig von Dichte und E-Modul des Materials. Sowohl Eigenschwingung als auch Koinzidenzeffekte führen zu deutlichen Einbrüchen des Schalldämm-Maßes im Vergleich zum linearen Verlauf bei mittleren Frequenzen.

Ähnlich wie bei der Anregung durch Luftschall treten auch bei der Trittschallanregung einschaliger Bauteile zum einen Eigenschwingungen und zum anderen Koinzidenzeffekte auf. Diese machen sich durch vergleichsweise hohe Norm-Trittschallpegel bei diesen Frequenzen bemerkbar.

Eine genauere Betrachtung und Berechnung dieser charakteristischen Frequenzen ist nur unter der Berücksichtigung von Masse und Biegesteifigkeit (siehe Unterpunkte 6.2.1 und 6.2.3 ) möglich und soll für LenoTec® im Kapitel 6.3.2 erfolgen.

### 6.2.3 Biegesteifigkeit $B'$

Die Biegesteifigkeit  $B'$  eines Bauteils bzw. die dessen Schalen hat entscheidenden Einfluss auf die schalltechnischen Eigenschaften. Für eine hohe Schalldämmung sind im allgemeinen Bauteile geeignet, die entweder besonders biegesteif (biegesteif, dick, leicht) oder sehr biegeweich (biegeweich, dünn, schwer) sind ([7], S.262). Dies erklärt sich aus dem Zusammenhang von Biegesteifigkeit und Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$ <sup>31</sup> eines Bauteils (siehe 6.2.5 b). Je höher die Biegesteifigkeit, desto geringer wird  $f_c$ . Die Biegesteifigkeit  $B'$  wird für bauakustische Berechnungen auf eine Breite von 1m bezogen. Die Ermittlung von  $B'$  erfolgt nach Gleichung 4

**Gleichung 4:**

$$B' = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{E \cdot I}{(1 - \mu^2)} \quad (\text{bezogen auf 1m Plattenbreite})$$

E E-Modul in Spannrichtung in N/m<sup>2</sup> pro m

t Bauteildicke in m

$\mu$  Poisson'sche Zahl (Querkontraktionszahl)<sup>32</sup>

I Flächenträgheitsmoment in m<sup>4</sup>/m nach Gleichung 5

**Gleichung 5:**

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad (\text{bezogen auf 1m Plattenbreite})$$

<sup>31</sup>  $f_c$  sollte außerhalb des bauakustisch bewerteten Bereiches liegen

<sup>32</sup> Für Baustoffe wird in der Regel  $\mu=0,35$  verwendet

## 6.2.4 Verlustfaktor $\eta$

Bei der Ausbreitung von Körperschall in Bauteilen wird ein Teil der Schallenergie in Wärme umgewandelt. Dies führt zu einer Verminderung der Schwingungsamplituden mit zunehmender Entfernung von der Anregungsstelle bzw. zu einer Dämpfung der Körperschallausbreitung. In welchem Maße ein Bauteil in der Lage ist, die bei Anregung entstehende Schallenergie in Wärme umzuwandeln, hängt von der Struktur des Materials ab, aus dem es aufgebaut ist. Sehr komplex aufgebaute Materialien haben höhere dämpfende Wirkung. Eine zahlenmäßige Erfassung der dämpfenden Wirkung erfolgt mit dem inneren Verlustfaktor  $\eta_{\text{int}}$ . Zum Vergleich ist in Tabelle 10 der innere Verlustfaktor für ausgewählte Materialien aufgeführt.

**Tabelle 10 Verlustfaktor  $\eta_{\text{int}}$  ausgewählter Materialien<sup>33</sup>**

Materialart	$\eta_{\text{int}}$
Nadelholz	0,008 – 0,01
Eichenholz	0,01
Ziegelmauerwerk	0,01 – 0,04
Zementestrich	0,006
Stahl	0,00002 – 0,0003
Gipskartonplatte	0,03
Glas	0,0006 – 0,002
Holzspanplatte	0,01 – 0,03
Schwerbeton	0,004 – 0,006
Magerbeton	0,008

An Bauteilverbindungsstellen entsteht eine zusätzliche Bedämpfung. Ein Maß für den hier entstehenden Verlust an Schallenergie ist der äußere Verlustfaktor  $\eta_{\text{ext}}$ .

Der Gesamtverlustfaktor  $\eta$  eines Bauteils setzt sich aus  $\eta_{\text{int}}$  und  $\eta_{\text{ext}}$  zusammen.

Für die bauakustischen Eigenschaften eines Bauteils ist ein hoher  $\eta$  von Vorteil, da mit steigendem  $\eta$  bei und oberhalb der Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  des Bauteils das Schalldämm-Maß erhöht wird ([7], S. 262f.).

<sup>33</sup> entnommen aus [7], Tabelle 5.11

### 6.2.5 Charakteristischen Frequenzen

Der Verlauf von Luftschalldämm-Maß  $R$  und Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der einschaligen Rohdecke zeichnet sich durch charakteristische Frequenzbereiche infolge von akustischen Effekten aus (siehe auch Kapitel 6.2.2). Eine Übersicht der relevanten Effekte und deren Auswirkungen auf die schalltechnischen Eigenschaften der LenoTec®-Rohdecke bietet Tabelle 11.

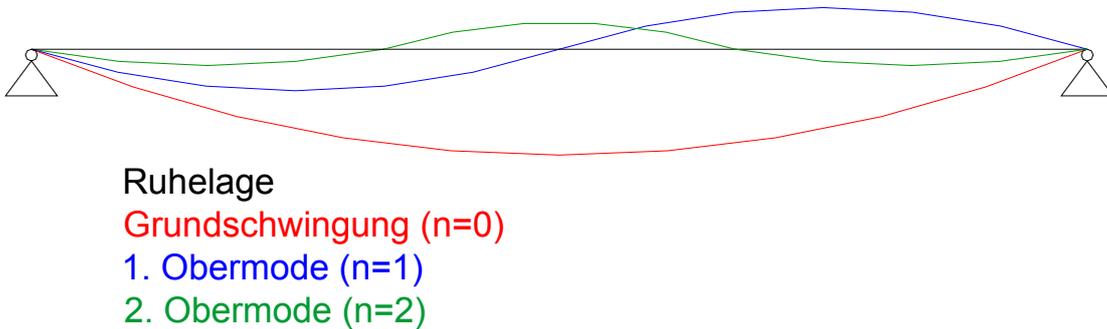
**Tabelle 11 Charakteristische Frequenzen**

Effekt	Kennzeichnende Frequenz	Auswirkung		
		allgemein	Luftschalldämm-Maß $R$ der Decke	Trittschallpegel $L_n$
Eigenschwingung der Konstruktion oder einzelner Aufbaukomponenten	Eigenfrequenzen $f_n$	hohe Schwingungsamplituden im Bereich von $f_n$	im Bereich von $f_n$ geringes $R$	im Bereich von $f_n$ hoher $L_n$
Spuranpassungseffekte (Koinzidenzeffekte), BiegeWellenresonanz	Koinzidenzgrenzfrequenz $f_c$	Erhöhung des Schallabstrahlgrades des Bauteils oberhalb von $f_c$	oberhalb von $f_c$ geringeres $R$ aufgrund höherer Schallabstrahlung	oberhalb von $f_c$ höherer $L_n$ aufgrund höherer Schallabstrahlung

Diese charakteristischen Frequenzen können mit Hilfe relativ einfacher Formeln ermittelt werden. Allerdings sind die Eingangsparameter teilweise mit großen Fehlern behaftet. Deshalb ist die Festlegung eindeutiger Frequenzen in der Regel nicht möglich. Nachfolgend sollen die Berechnungsverfahren für die charakteristischen Frequenzen vorgestellt werden.

a) Eigenfrequenzen:

Eigenschwingungen sind zu unterscheiden in die Grundschiwingung (Grundmode) und Oberschwingungen (Obermoden). Zur Veranschaulichung sind die Schwingungsformen einer gespannten Saite geeignet (siehe Abbildung 9). Dementsprechend treten Eigenfrequenzen (= Frequenzen der Eigenschwingungen) in Grund- und Oberfrequenzen auf.



**Abbildung 9 Schwingungsformen einer gespannten Saite<sup>34</sup>**

Eine weitere wichtige Differenzierung ist zwischen Eigenschwingungen in Platten und denen in biegesteifen Stäben (Balken) zu treffen. Während bei Platten (Eigen-) Schwingungen in verschiedenen Ausbreitungsrichtungen auftreten, wird bei Balken nur die Richtung der Längsachse in Betracht gezogen (siehe Abbildung 10).

<sup>34</sup> die Auslenkung bei der Schwingung ist zur besseren Übersicht nur in eine Richtung aufgetragen

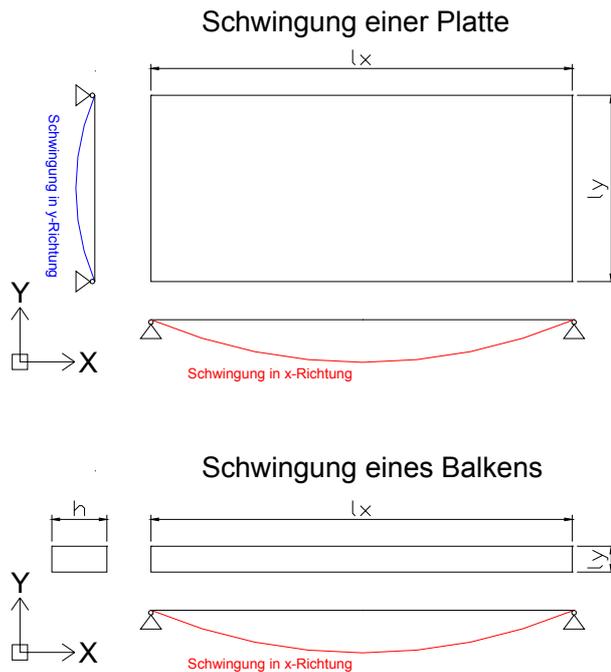


Abbildung 10 Ausbreitungsrichtungen von Schwingungen je nach Querschnitt<sup>35</sup>

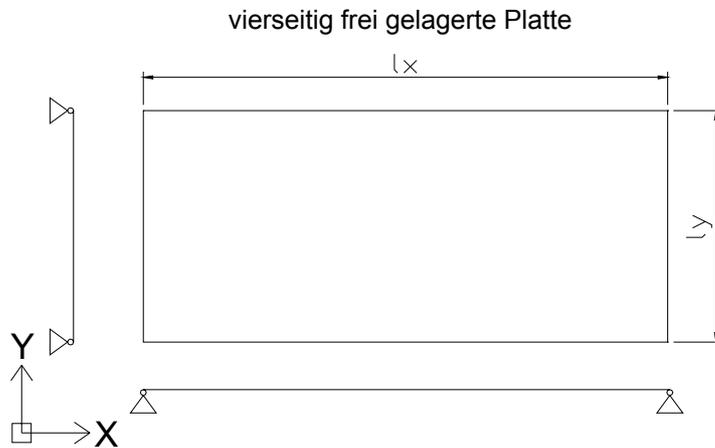
Neben den Abmessungsparametern sind für die Eigenfrequenz einer Decke außerdem folgende Parameter ausschlaggebend:

- Einspannungsgrad am Auflager (frei gelagert oder fest eingespannt)
- Auflagersituation bei Platten (zweiseitig oder vierseitig gelagert)
- Materialparameter (E-Modul bzw. Biegesteifigkeit  $B'$ , Dichte  $\rho$  bzw. flächenbezogene Masse  $m'$ )

Auf die bauakustischen Eigenschaften wirkt sich allgemein die Grundmode am deutlichsten aus. Deshalb ist zur Beurteilung zunächst immer die Grundfrequenz zu betrachten.

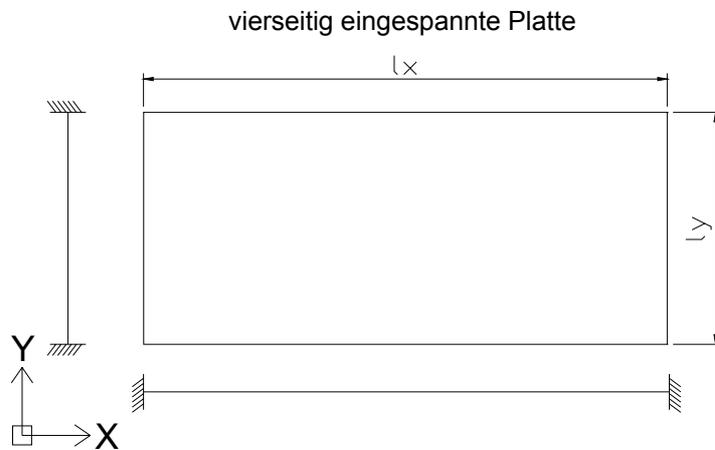
Die Berechnung der Eigenfrequenzen kann je nach Voraussetzungen nach einer der folgenden Formeln erfolgen:

<sup>35</sup> die Auslenkung bei der Schwingung ist zur besseren Übersicht nur in eine Richtung aufgetragen

Für vierseitig frei gelagerte Platten nach Gleichung 6**Gleichung 6**

$$f_{n_x, n_y} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{B'}{m'}} \cdot \left[ \left( \frac{n_x + 1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{n_y + 1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$f_{n_x, n_y}$	Eigenfrequenz der Moden $n_x$ und $n_y$ in Hz
$n_x$	Anzahl Moden in x-Richtung (Grundmode $n_x=0$ )
$n_y$	Anzahl Moden in y-Richtung (Grundmode $n_y=0$ )
$B'$	Biegesteifigkeit der Platte nach Kapitel 6.2.3 in Nm
$m'$	flächenbezogene Masse der Platte in $\text{kg/m}^2$
$l_x$	Plattenlänge (x-Richtung) in m
$l_y$	Plattenbreite (y-Richtung) in m

Für vierseitig eingespannte Platten

die Grundfrequenz (n=0) nach Gleichung 7

**Gleichung 7:**

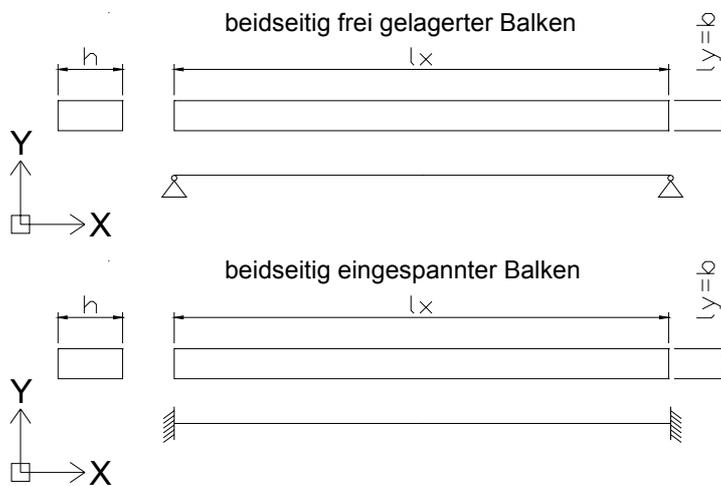
$$f_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{B'}{m'}} \cdot \frac{1}{l_x^2} \cdot \sqrt{5,14 + 3,13 \cdot \left(\frac{l_x}{l_y}\right)^2 + 5,14 \cdot \left(\frac{l_x}{l_y}\right)^4}$$

die Frequenz der 1. Eigenmode (n=1) nach Gleichung 8

**Gleichung 8:**

$$f_1 = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{B'}{m'}} \cdot \frac{1}{l_x^2} \cdot \sqrt{39,06 + 11,65 \cdot \left(\frac{l_x}{l_y}\right)^2 + 5,14 \cdot \left(\frac{l_x}{l_y}\right)^4}$$

$f_0$	Grundfrequenz der Grundmode in Hz
$f_1$	Oberfrequenz der 1. Eigenmode in Hz
$B'$	Biegesteifigkeit der Platte nach Kapitel 6.2.3 in Nm <sup>2</sup> /m
$m'$	flächenbezogene Masse der Platte in kg/m <sup>2</sup>
$l_x$	Plattenlänge (x-Richtung) in m
$l_y$	Plattenbreite (y-Richtung) in m

Für Balken nach Gleichung 9**Gleichung 9:**

$$f_{n,B} = \frac{\alpha_n^2}{l^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{B'}{m'}}$$

$f_{n,B}$	Eigenfrequenz der n-ten Mode in Hz
$n$	Mode (Grundmode $n = 0$ )
$\alpha_n$	Faktor zur Berücksichtigung des Einspannungsgrades (siehe Tabelle 12)
$l$	Balkenlänge (x-Richtung) in m
$B'$	Biegesteifigkeit des Balkens in $\text{Nm}^2/\text{m}$ nach Gleichung 10
$m'$	flächenbezogene Masse des Balkens in $\text{kg}/\text{m}^2$

**Tabelle 12 Faktor  $\alpha_n$  für Berechnung der Eigenfrequenzen von Balken**

$n$	beidseitig fest eingespannter Balken	beidseitig frei gelagerter Balken $\alpha_n = (n+1) \cdot \pi$
0	$\alpha_0 = 4,730$	$\pi$
1	$\alpha_1 = 7,853$	$2\pi$
2	$\alpha_2 = 10,996$	$3\pi$

**Gleichung 10:**

$$B' = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot m' \cdot (1 - \mu^2)}$$

$h$	Höhe des Balkens in m
$E$	Biege-E-Modul des Balkenmaterials in $\text{N}/\text{m}^2$

b) Koinzidenzgrenzfrequenz:

Die Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  kann näherungsweise nach Gleichung 11 berechnet werden

**Gleichung 11:**

$$f_c = \frac{c_0^2}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{m'}{B'}}$$

$c_0$	Schallgeschwindigkeit in Luft; bei 20°C 344 m/s
$m'$	flächenbezogene Masse der Platte in kg/m <sup>2</sup>
$B'$	Biegesteifigkeit nach Kapitel 6.2.3 in Nm

Die Beurteilung, ob es sich um eine biegeweiche oder biegesteife Platte im bauakustischen Sinne handelt, richtet sich nach  $f_c$ .

$f_c < 2000$ Hz	biegesteife Platte
$f_c > 2000$ Hz	biegeweiche Platte <sup>36</sup>

Die Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  sollte für Bauteile außerhalb des bauakustisch bewerteten Bereiches liegen, da im Bereich von  $f_c$  mit einem Einbruch des Schalldämm-Maßes  $R$  bzw. mit einer Erhöhung des Norm-Trittschallpegels  $L_n$  zu rechnen ist.

<sup>36</sup> nach DIN 4109 Anhang A.9.4 [15]

## 6.3 Prüfrohdecke

### 6.3.1 Abmessungen und technische Daten

Entsprechend der Prüföffnung des Prüfstandes (siehe auch Anhang A) hat die Rohdecke Abmessungen nach Abbildung 11.

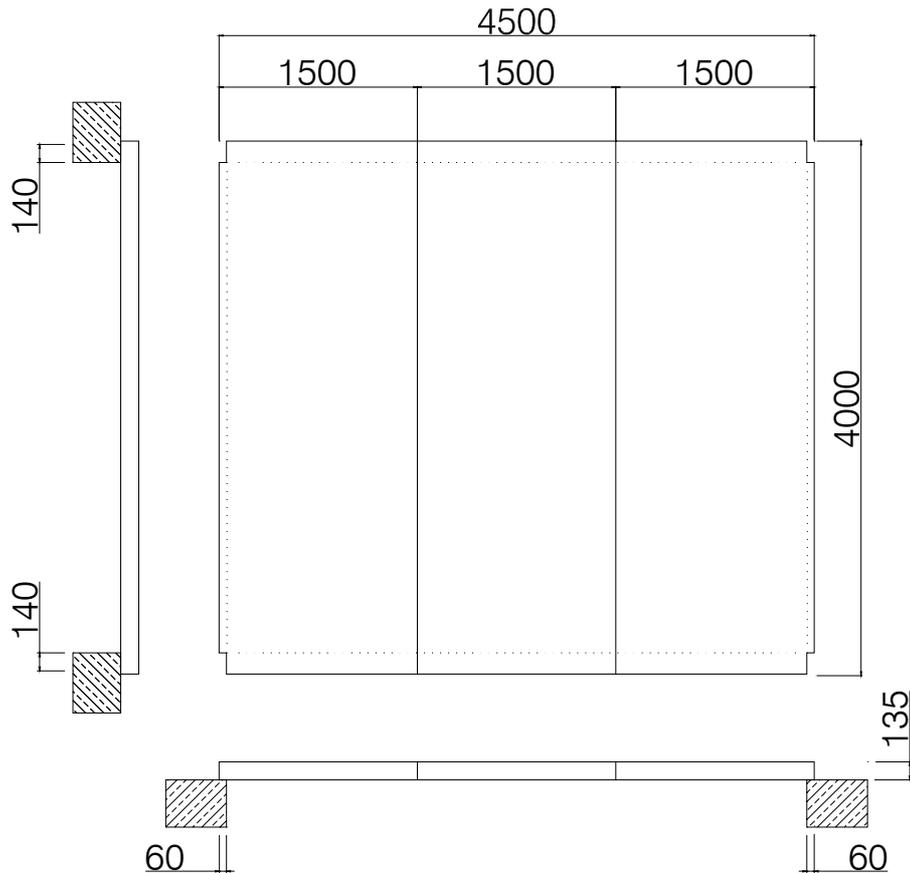


Abbildung 11 Grundriss und Einbausituation Prüfdecke

Für die weitere Berechnung erforderliche Materialparameter der Rohdecke sind in Tabelle 13 enthalten:

Tabelle 13 Technische Daten Rohdecke (LenoTec®-135)

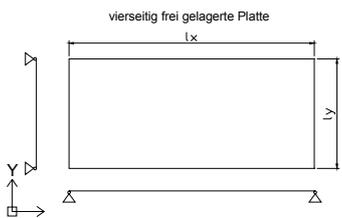
Schichtung	Funktion	Aufbauhöhe t in mm	m' in kg/m <sup>2</sup>	E-Modul in N/mm <sup>2</sup>	B' in Nm <sup>2</sup> /m
LenoTec 135	Rohdecke	135	68	7920	1850538
<b>gesamt</b>		<b>135</b>	<b>68</b>	<b>7920</b>	<b>1850538</b>

### 6.3.2 Charakteristische Frequenzen

#### a) Eigenfrequenzen:

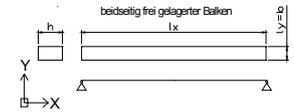
Die Prüfdecke stellt als ganzes gesehen eine vierseitig frei gelagerte Platte dar. Die Eigenfrequenzen der Grundmode und der ersten Obermode berechnen sich nach Gleichung 6 zu den Werten in Tabelle 14:

**Tabelle 14 Eigenfrequenzen der Rohdecke im Plattenmodell**

<b>Eigenschaften der Decke (gesamte Platte):</b>			
Länge $l_x$ :	4,5 m		
Breite $l_y$ :	4 m		
Dicke $t$ :	0,135 m		
E-Modul:	7920000000 N/m <sup>2</sup>		
Poissonsche Zahl $\mu$ :	0,35 --		
flächenbezogene Masse $m'$ :	68 kg/m <sup>2</sup>		
$B'$	1850538,46 Nm		
	<b>Moden:</b>		<b>Eigenfrequenz <math>f_n</math> in Hz</b>
	$n_x$	$n_y$	
	0	0	<b>29</b>
		1	<b>65</b>
	1	0	<b>67</b>
	1	<b>65</b>	

Betrachtet man die drei Deckenelemente einzeln und nimmt an, dass jedes für sich frei schwingt, so kann man das mittlere Element als beidseitig frei gelagerten Balken betrachten. Die nach Gleichung 9 berechneten Eigenfrequenzen der Grundmode und der ersten Obermode sind Tabelle 15 zu entnehmen:

**Tabelle 15 Eigenfrequenzen der Rohdecke im Balkenmodell**

<b>Eigenschaften des Balkens:</b>			
$l$	4 m		
Dicke $h$ :	0,135 m		
E-Modul:	7920000000 N/m <sup>2</sup>		
Poissonsche Zahl $\mu$ :	0,35 --		
Dichte $\rho$ :	5000 N/m <sup>3</sup>		
	<b>Moden:</b>		<b>Eigenfrequenz <math>f_n</math> in Hz</b>
	$n$	$\alpha_n$	
	0	3,14	<b>16</b>
	1	6,28	<b>64</b>

Die Verbindung der Elemente erfolgt über Stoßdeckungsleisten aus Furnierschichtholz. Es wird dadurch kein Verbund entstehen, der die Decke als homogene Platte schwingen lässt. Durch Reibung und die Verbindung mit den Stoßdeckungsleisten wird aber ein gewisser Verbund hergestellt, so dass auch das Modell des Balkens nicht vollkommen auf diese Situation zutrifft. Es wird sich also ein Zustand zwischen den beiden Modellen einstellen.

b) Koinzidenzgrenzfrequenz:

Für LenoTec® in der Stärke 135mm (wie es für die Prüfdecke zum Einsatz kommt) berechnet sich  $f_c$  nach Gleichung 11 zu

$$f_{c,LenoTec} = 114Hz$$

Somit liegt eindeutig eine biegesteife Platte vor, da die  $f_c$  deutlich unter 2000Hz liegt. Der Abstrahlgrad wird über 114Hz zunehmen und die schalldämmenden Eigenschaften dadurch in diesem Bereich verschlechtern.

### 6.3.3 Bauakustische Größen

Eine wichtige Größe für die weitere Entwicklung der Fußbodenaufbauten stellt der bewertete äquivalente Normtrittschallpegel der Rohdecke ( $L_{n,w,eq,H}$ ) dar. In Anlehnung an DIN EN ISO 717-2, 3.5 [23] ergibt sich der  $L_{n,w,eq,H}$  nach Gleichung 12 .

**Gleichung 12:**

$$L_{n,w,eq,H} = \Delta L_0 + L_{n,1,w}$$

$L_{n,w,eq,H}$	bewerteter äquivalenter Norm-Trittschallpegel der Prüfrohdecke <sup>37</sup>
$\Delta L_{w,0}$	bewertete Trittschallverbesserung der Bezugsdeckenauflage <sup>38</sup> auf der Bezugsdecke
$L_{n,1,w}$	bewerteter äquivalenter Norm-Trittschallpegel der Prüfdecke mit der Bezugsdeckenauflage

Da für diese Arbeit weniger wichtig ist, den normgerecht ermittelten äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel der Rohdecke zu bestimmen, sondern eher die Norm-Trittschallpegel der fertigen Aufbauten im Vordergrund stehen, sollen die Messungen mit der Bezugsdeckenauflage nicht durchgeführt werden. Vielmehr wird die Rohdecke ohne Auflagen vermessen und so der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  und das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  der LenoTec®-Rohdecke ermittelt.

Das Schalldämm-Maß  $R$  in Abhängigkeit der Frequenz kann für den mittleren Frequenzbereich mit dem Massengesetz von Berger nach Gleichung 3 (Kapitel 6.2.1, S.46) ermittelt werden. Für die LenoTec®-Rohdecke ergibt sich daraus der Verlauf des Schalldämm-Maßes  $R$  nach Abbildung 12 (schwarze Kurve). Zum Vergleich sind hier die Kurven für  $R$  und  $L_n$  eingezeichnet, die sich durch die Vermessung der Rohdecke ergeben haben. Über der berechneten Koinzidenzfrequenz der Rohdecke (siehe 6.3.2 b)) ist ein Einbruch von  $R$  bzw. eine Erhöhung von  $L_n$  erkennbar (nähere Auswertung der Messergebnisse in Kapitel 9.1).

<sup>37</sup> in DIN EN ISO 717-2 bezeichnet als  $L_{n,eq,0,w}$

<sup>38</sup> Bezugsdeckenauflage definiert durch Trittschallminderung DIN EN ISO 717-2, Tab. B.1

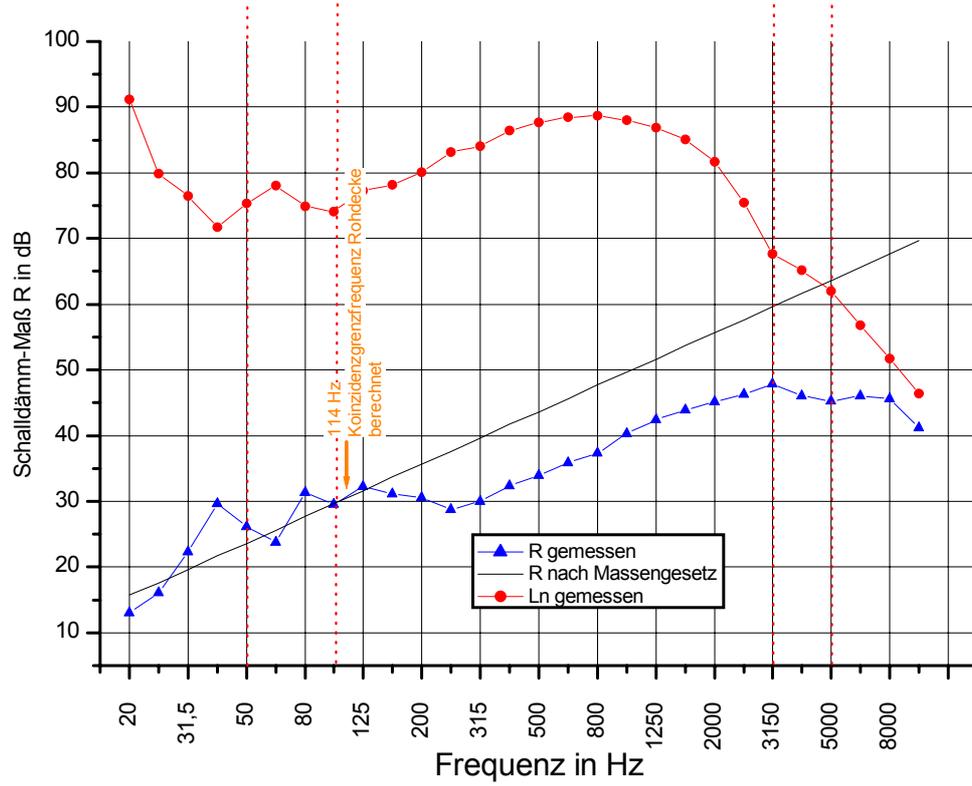


Abbildung 12 Schalldämm-Maß nach Berger im Vergleich zum gemessenen Verlauf

# 7 Fußbodenaufbauten

Auf Grundlage der Erkenntnisse des Kapitels 4 sollen nun geeignete Fußbodenaufbauten zusammengestellt werden. Zunächst ist aber zu klären, welche Auswirkungen aus schalltechnischer Sicht durch das Aufbringen der Deckenauflagen auf die Rohdecke zu erwarten sind. Dazu werden die in Kapitel 6 vorgestellten Eigenschaften der Rohdecke schrittweise auf die einer vollständigen Deckenkonstruktion erweitert.

## 7.1 Auswirkung auf schalltechnisch relevante Eigenschaften der Deckenkonstruktion

### 7.1.1 Flächenbezogene Masse $m'$

Die flächenbezogene Masse der Decke erhöht sich entsprechend der aufgetragenen Schichten. Für das Schalldämm-Maß hat diese Massenerhöhung positive Auswirkungen. Die Erhöhung des Schalldämm-Maßes mit der Masse kann allerdings nicht mehr mit dem Massengesetz von *Berger* berechnet werden, da nun kein einschaliges System mehr vorliegt (siehe 0).

### 7.1.2 Mehrschaligkeit

Fußbodenaufbauten werden im Wohnungsbau in der Regel nach den Konstruktionsrichtlinien für schwimmende Estriche ausgeführt (siehe 4.2). Es entsteht also ein System aus zwei Schalen (Rohdecke und Estrich), die nur über eine (möglichst weiche) Dämmschicht (Trittschalldämmung) miteinander verbunden sind. Derartige zweischalige Systeme unterscheiden sich in ihren schalltechnischen Eigenschaften deutlich von den einschaligen.

Die Luftschalldämmung zweischaliger Bauteile zeichnet sich durch drei Frequenzbereiche aus. Eine schematische Darstellung des typischen Verlaufs des Schalldämm-Maßes  $R$  einer zweischaligen Deckenkonstruktion ist in Abbildung 13 dargestellt.

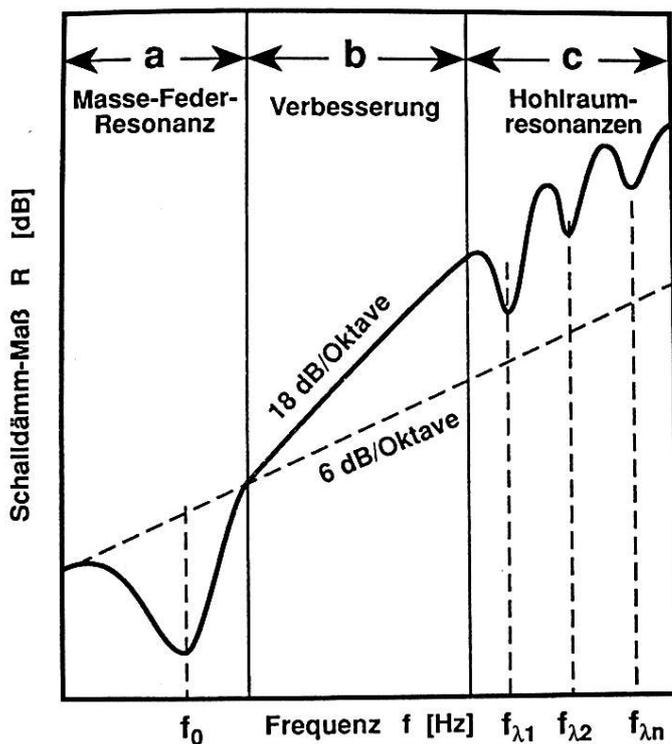


Abbildung 13 Prinzipieller Verlauf des Schalldämmmaßes  $R$  zweischaliger Bauteile in Abhängigkeit von der Frequenz<sup>39</sup>

<sup>39</sup> entnommen aus [4] S. 271

Im Bereich der Resonanzfrequenz  $f_0$  des Masse-Feder-Systems ist bei zweischaligen Bauteilen ein starker Einbruch des Schalldämm-Maßes  $R$  im Vergleich zu gleich schweren einschaligen Bauteilen zu erkennen (gestrichelte Linie in Abbildung 13). Eine deutliche Verbesserung der Luftschalldämmung mit der Frequenz erfolgt im mittleren Frequenzbereich mit 18dB pro Oktave bevor Hohlraumresonanzen bei höheren Frequenzen diesen Anstieg wieder abbremsen.

Offensichtlich wird hier, dass der lineare Anstieg im mittleren Frequenzbereich mit 18dB pro Oktave deutlich höher ausfällt als bei einschaligen Bauteilen (vergleiche hierzu Abbildung 13 und Abbildung 8). Aus der Sicht des Schallschutzes verhalten sich also in diesen Frequenzen zweischalige Bauteile bei gleicher Masse günstiger als einschalige.

Prinzipiell stellen zweischalige Bauteile ein Masse-Feder-Masse-System dar. Die zwei Schalen mit bestimmten flächenbezogenen Massen  $m'$  sind über eine „Feder“ aus Luft oder Dämmstoff mit der dynamischen Steifigkeit  $s'$  miteinander gekoppelt. Für diese auch als Doppelwand bezeichnete Konstruktion kann mit Hilfe von Gleichung 13 die Resonanzfrequenz  $f_0$  berechnet werden (siehe auch Kapitel 7.1.5).

**Gleichung 13:**

$$f_0 = \frac{10^3}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{s' \cdot \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2}}$$

- $f_0$  Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems in Hz
- $s'$  dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung in MN/m<sup>3</sup>
- $m'_1$  flächenbezogene Masse der Schale 1 (Rohdecke +  
Beschwerung) in kg/m<sup>2</sup>
- $m'_2$  flächenbezogene Masse der Schale 2 (Estrich) in kg/m<sup>2</sup>

Auch auf die Trittschalldämmung hat ein Aufbau mit mehreren Schalen positive Auswirkungen. Die Verbesserung wird hier durch eine gewisse Entkoppelung der Schalen voneinander und somit eine verminderte Leitfähigkeit für den Körperschall erzielt. Je besser die Schalen voneinander entkoppelt sind, desto besser ist die Trittschalldämmung der Konstruktion. Zu beachten ist, dass

sowohl Resonanzen aus dem Masse-Feder-Masse-System mehrschaliger Decken, als auch Spuranpassungseffekte oberhalb der Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$ , negative Auswirkungen auf den Trittschallschutz der Konstruktion haben. Bei diesen Frequenzen werden deutliche Erhöhungen der Trittschallpegel  $L_n$  zu erkennen sein.

### 7.1.3 Biegesteifigkeit der Konstruktion

Die Biegesteifigkeit der Konstruktion erhöht sich mit dem Aufbringen zusätzlicher Schichten. Die Berechnung der neuen Biegesteifigkeit des Systems kann über ein Berechnungsverfahren für zusammengesetzte Querschnitte hergeleitet werden. Die Gleichung 4 (aus Kapitel 6.2.3) kann dazu wieder aufgegriffen und für die neue Situation berechnet werden (Gleichung 14)<sup>40</sup>.

**Gleichung 14:**

$$B' = \frac{E_V \cdot I}{(1 - \mu^2)} \quad (\text{bezogen auf 1m Plattenbreite})$$

$E_V$  Vergleichs-E-Modul in Spannrichtung in N/m<sup>2</sup> pro m<sup>41</sup>

$\mu$  Poisson'sche Zahl (Querkontraktionszahl)<sup>42</sup>

$I$  Flächenträgheitsmoment des zusammengesetzten Querschnittes nach Gleichung 15 in m<sup>4</sup>/m

**Gleichung 15:**

$$I = \sum n_i \cdot I_i + \sum \gamma \cdot n_i \cdot t_i \cdot a_i^2$$

$n_i$  Faktor für Schicht i;  $n_i = E_i/E_V$

$I_i$  Flächenträgheitsmoment der Schicht i bezogen auf 1m Plattenbreite in m<sup>4</sup>/m

$\gamma$  Abminderungsfaktor für Grad des Verbundes zwischen den Schichten; kein Verbund:  $\gamma=0$ ; schubfester Verbund:  $\gamma=1$

$t_i$  Schichtdicke der Schicht i in m

$a_i$  Abstand des Schwerpunktes der Schicht i vom Gesamtschwerpunkt des Aufbaus in m (senkrecht zur Oberfläche der Decke)

für  $\gamma=0$ <sup>43</sup> ergibt sich:

**Gleichung 16:**

$$B' = \sum \frac{E_i \cdot I_i}{(1 - \mu_i^2)} = \sum B'_i$$

$B'_i$  Biegesteifigkeit der Schicht i in Nm/m

<sup>40</sup> aus [5]

<sup>41</sup> aufgrund der unterschiedlichen E-Moduln der Schalen, ist ein Vergleichs-E-Modul festzulegen, am einfachsten wird hier der E-Modul der Rohdecke angesetzt

<sup>42</sup> für Baustoffe wird in der Regel  $\mu=0,35$  verwendet

<sup>43</sup> aufgrund der Dämmschicht zwischen den Schalen entsteht nahezu kein Verbund; für die Berechnungen in dieser Arbeit wird  $\gamma=0$

Für die Berechnung der Eigenfrequenzen des Aufbaus kann also die Summe der Biegesteifigkeiten der einzelnen Schichten angesetzt werden.

Die Berechnung der Koinzidenzgrenzfrequenz erfolgt schichtweise und somit für jede Schale mit ihrer Biegesteifigkeit.

#### 7.1.4 Verlustfaktor $\eta$

Der Verlustfaktor vergrößert sich mit jeder hinzukommenden Schicht vor allem für die Schallausbreitung durch die Decke (senkrecht). Dies ist auf die erhöhte Anzahl von Bauteilverbindungsstellen und somit auf einen Anstieg des äußeren Verlustfaktors  $\eta_{\text{ext}}$  zurückzuführen. Auch die höhere schalldämmende Wirkung von Schüttungen im Vergleich zu Rohdeckenbeschwerung aus Platten ist auf diesen Umstand zurückzuführen.

Selbstverständlich nimmt auch der innere Verlustfaktor  $\eta_{\text{int}}$  mit den hinzukommenden Schichten zu.

Mit der Anzahl der Schichten steigt also der Verlustfaktor  $\eta$  der Konstruktion.

### 7.1.5 Charakteristische Frequenzen

Die zusätzlichen Schalen haben auch auf das Schwingungsverhalten der Deckenkonstruktion einen entscheidenden Einfluss. So treten nun nicht nur Schwingungen einer Schale auf, sondern jede Schale kann auch für sich in bestimmten Frequenzen schwingen. Ferner werden durch die zusätzliche Masse und die erhöhte Biegesteifigkeit die charakteristischen Frequenzen der Deckenkonstruktion als ganzes verschoben.

Demzufolge treten bei einer Deckenkonstruktion verschiedene Effekte auf, die nicht immer eindeutig zugeordnet werden können. Tabelle 16 gibt einen Überblick über mögliche Effekte und deren Auswirkung auf die bauakustischen Eigenschaften.

**Tabelle 16 Charakteristische Frequenzen einer Deckenkonstruktion**

Effekt	Kennzeichnende Frequenz	Auswirkung		
		allgemein	Luftschalldämm-Maß R der Decke	Trittschallpegel $L_n$ im Empfangsraum
Eigenschwingung der Konstruktion oder einzelner Aufbaukomponenten	Eigenfrequenzen $f_n$	hohe Schwingungsamplituden im Bereich von $f_n$	im Bereich von $f_n$ geringes R	im Bereich von $f_n$ hoher $L_n$
Spuranpassungseffekte (Koinzidenzeffekte), Biegewellenresonanz	Koinzidenzgrenzfrequenz $f_c$	Erhöhung des Schallabstrahlgrades des Bauteils oberhalb von $f_c$	oberhalb von $f_c$ geringeres R aufgrund höherer Schallabstrahlung	oberhalb von $f_c$ höherer $L_n$ aufgrund höherer Schallabstrahlung
Doppelwandresonanz zweischaliger Bauteile (Masse-Feder-Masse-Resonanz)	Resonanzfrequenz $f_0$ des Masse-Feder-Masse-Systems	gleichphasige Schwingungen der verschiedenen Schichten und dadurch Überlagerungseffekte	deutlicher Einbruch von R bei $f_0$ , danach für etwa drei Oktaven starker Anstieg von R (mit ca. 18dB/ Oktave)	im Bereich von $f_0$ deutliche Erhöhung von $L_n$

a) Eigenfrequenzen:

Die Berechnungsgrundlagen für die Rohdecke aus Kapitel 6.2.5 a) finden auch für die Eigenschwingung der Deckenkonstruktion Anwendung. Die Eingangsparameter müssen entsprechend der neuen Verhältnisse angepasst werden.

Zur Zusammenfassung möglicher Eigenfrequenzen einer Konstruktion soll für diese Arbeit die Zusammenstellung nach Tabelle 17 dienen.

Tabelle 17 berechnete Eigenfrequenzen eines Fußbodenaufbaus

Berechnungsmodell	$f_n$ des gesamten Aufbaus		$f_n$ nur der Rohdecke	
	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz
vierseitig frei gelagerte Platte	0/0	Berechnung nach Gleichung 6	0/0	Berechnung nach Gleichung 6
	0/1		0/1	
	1/0	B´ nach Gleichung 16	1/0	B´ der Rohdecke,
	1/1	$m´$ des gesamten Aufbaus	1/1	$m´$ des gesamten Aufbaus
zweiseitig frei gelagerter Balken (mittleres Deckenelement)	0	Berechnung nach Gleichung 9	0	Berechnung nach Gleichung 9
	1	B´ aus Gleichung 16 $m´$ des gesamten Aufbaus	1	B´ der Rohdecke $m´$ des gesamten Aufbaus

b) Koinzidenzgrenzfrequenzen:

Zusätzliche Schalen beeinflussen auch die Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  des Aufbaus, da sich B´ und  $m´$  ändern. Wie bei den Eigenfrequenzen sind hier also verschiedene Fälle zu unterscheiden.

Tabelle 18 berechnete Koinzidenzgrenzfrequenzen  $f_c$  eines Fußbodenaufbaus

Berechnungsparameter	$f_c$ der Rohdecke	$f_c$ der Estrichplatte
B´ nur der Schale	Berechnung nach Gleichung 11	Berechnung nach Gleichung 11
$m´$ nur der Schale		
B´ nur der Schale	Berechnung nach Gleichung 11	Berechnung nach Gleichung 11
$m´$ aus Eigengewicht + darüber liegende Schalen		

c) Doppelwandresonanz:

Da die LenoTec®-Rohdecke ohne abgehängte Unterdecke zum Einsatz kommen soll, handelt es sich bei der Rohdecke zunächst um ein einschaliges Bauteil. Es wird also keine Doppelwandresonanz auftreten. Dies ändert sich sobald die Fußbodenaufbauten in Form von schwimmenden Estrichen aufgebracht werden. Dann treten sehr wohl Resonanzeffekte aus dem Masse-Feder-Masse-System auf. Bei welchen Frequenzen mit Resonanzen zu rechnen ist, kann für zweischalige Bauteile, die durch eine Dämmschicht miteinander gekoppelt sind vereinfacht nach Gleichung 17 bestimmt werden.

**Gleichung 17**

$$f_0 = \frac{10^3}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{s' \cdot \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2}}$$

- $f_0$  Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems in Hz  
 $s'$  dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung in MN/m<sup>3</sup>  
 $m'_1$  flächenbezogene Masse der Schale 1 (Rohdecke + Beschwerung) in kg/m<sup>2</sup>  
 $m'_2$  flächenbezogene Masse der Schale 2 (Estrich) in kg/m

## 7.2 Vorgehensweise bei der Auswahl der Prüfaufbauten

Aus den Vorgaben und den aufgelisteten Materialien (Kapitel 4) sollen nun Aufbauten entwickelt werden, die vor allem die verschiedenen Anforderungsstufen aus schalltechnischer Sicht erfüllen, für die jeweilige Qualitätsstufe aber auch wirtschaftlich vertretbar sind.

Die für die Anforderungsstufen angegebenen Werte des bewerteten Norm-Trittschallpegels (siehe 4.1.3) sind einzuhaltende Werte der Decke im eingebauten Zustand (erf. $L'_{n,w}$ ). Bei einer Prüfung der jeweiligen Deckenkonstruktion in einem Deckenprüfstand mit unterdrückter Flankenübertragung nach DIN EN ISO 140-1 [17] (siehe auch Anhang A) erhält man Prüfwerte des bewerteten Norm-Trittschallpegels ohne Flankenübertragung ( $L_{n,w}$ ). Da die Flankenübertragung in Bauwerken auf Basis von LenoTec® noch nicht genau untersucht ist, wird in dieser Arbeit auf die Berechnungsmodelle des Holzbau Handbuchs „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“ [2] zurückgegriffen.)

Die Umrechnung von Prüf- auf Bauwert kann dann nach Abbildung 14 erfolgen. Hier ist der Korrektursummand K (siehe Kapitel 5, Abbildung 4) bereits eingerechnet.

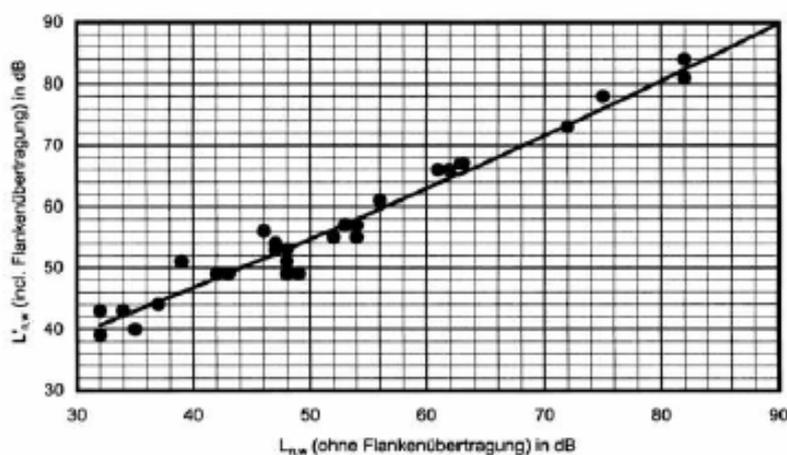


Abbildung 14 Umrechnung des Bauwertes in den Laborwert <sup>44</sup>

<sup>44</sup> entnommen aus [2], S23

Für die angestrebten Anforderungsstufen sind die zu erreichenden Laborwerte in Tabelle 19 zusammengefasst:

**Tabelle 19 Umrechnung von Labor- auf Bauwerte**

Qualität	erf. $L'_{n,w}$	erf. $L_{n,w,P}$
Empfehlung für normalen Schallschutz bei Decken im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich	< 56 dB	< 52dB
Anforderung für normalen Schallschutz bei Decken zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen (Wohnungstrenndecke)	< 53 dB	< 48 dB
Empfehlung für erhöhten Schallschutz bei Decken im eigenen sowie zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen (Wohnungstrenndecke)	< 46 dB	< 39 dB

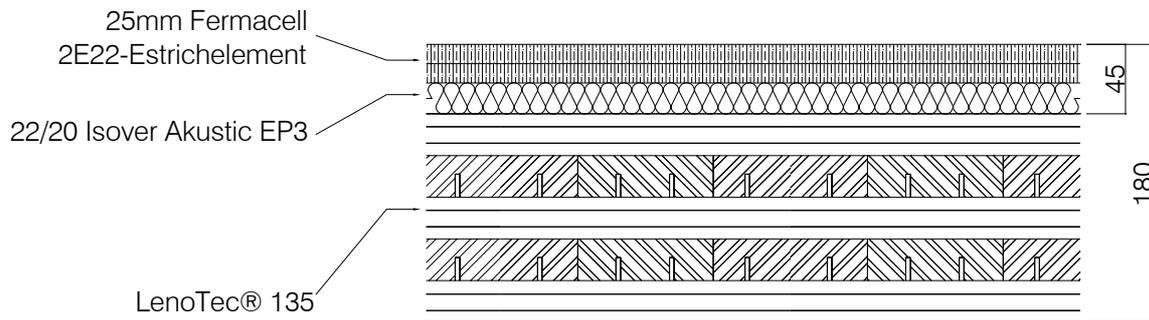
Wie im Kapitel 5 bereits eingehend erläutert, ist eine Vorausberechnung von  $L'_{n,w}$ -Werten für Deckenkonstruktionen auf Basis von LenoTec® (wie auch bei anderen Holzbausystemen) unter den gegebenen Umständen mit großen Ungewissheiten verbunden. Deshalb kann die Entwicklung der zu testenden Aufbauten im Rahmen dieser Arbeit zunächst nur auf Grundlage relativ weniger Kenntnisse erfolgen. Die Prüfaufbauten können somit nicht von vornherein berechnet und festgelegt werden. Vielmehr bietet sich eine schrittweise Entwicklung an, um neue Erkenntnisse aus der Vermessung eines Aufbaus jeweils in die Zusammenstellung des nächsten Aufbaus einfließen lassen zu können.

Wie unter 4.2.4 angedeutet, soll jeder getestete Aufbau zusätzlich mit einer Teppichauflage untersucht werden. Dazu werden bei den Trittschallmessungen neben den üblichen Messungen zusätzliche Messungen mit Teppichproben unter dem Hammerwerk durchgeführt. Zur Anwendung kommt hier je eine Probe eines Teppichs mit Textilrücken sowie eine Probe eines Teppichs mit Vliesrücken. Da die Teppiche nicht vollflächig auf der Testdecke ausgelegt werden, sind aus diesen Messungen keine Rückschlüsse auf eine Veränderung des Luftschalldämm-Maßes möglich. Auch die Resultate der Norm-Trittschallmessungen mit Teppichauflage dienen lediglich als interessante Zusatzinformationen. Eine Anrechnung von weichfedernden Bodenbelägen zusammen mit einem Estrich sind nach DIN 4109 nicht zulässig.

## 7.3 Prüfaufbauten

Ohne die Ergebnisse der Messungen vorwegzunehmen, sollen der besseren Übersicht wegen die getesteten Aufbauten bereits an dieser Stelle vorgestellt werden. Zu jedem Aufbau werden hier die wichtigsten Merkmale und die charakteristischen Frequenzen nach den Berechnungsmethoden aus Kapitel 7.1.5 aufgeführt. Des Weiteren sollen die Erfahrungen aus dem Einbau der Testdecke weitergegeben und so die Anwenderfreundlichkeit des jeweiligen Systems überprüft werden.

### 7.3.1 LowBudget



**Abbildung 15 LowBudget-Aufbau**

Der Low Budget Aufbau ist noch nicht für eine der Anforderungsstufen im Bezug auf  $L'_{n,w}$  vorgesehen. Er ist vielmehr unter dem Aspekt entstanden, zu testen was mit einem sehr einfachen und relativ günstigen Aufbau schalltechnisch möglich ist.

a) Technische Daten:

**Tabelle 20 Technische Daten LowBudget**

Schichtung	Funktion	Aufbauhöhe $t$ in mm <sup>45</sup>	flächenbezogene Masse $m'$ in kg/m <sup>2</sup>	E-Modul in N/mm <sup>2</sup>	Biegesteifigkeit $B'$ in Nm <sup>2</sup> /m <sup>46</sup>
LenoTec 135	Rohdecke	135	68	7920	1850538
Isover Akustic EP3	Trittschalldämmung mit $s' = 40 \text{ MN/m}^3$	20	2	--	--
Fermacell 2E22	Estrich	25	30	3800	5639
<b>gesamt</b>		<b>180</b>	<b>100</b>	--	<b>1856177</b>

<sup>45</sup>  $t$  bei Trittschalldämmung ist die Stärke  $d_B$  unter Belastung

<sup>46</sup> die Gesamtbiegesteifigkeit der Konstruktion berechnet sich nach 7.1.3

b) Charakteristische Frequenzen:Tabelle 21 *LowBudget* berechnete Eigenfrequenzen  $f_n$ 

Berechnungsmodell	$f_n$ des gesamten Aufbaus		$f_n$ nur der Rohdecke	
	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz
vierseitig frei gelagerte Platte	0/0	24	0/0	24
	0/1	42	0/1	42
	1/0	64	1/0	64
	1/1	42	1/1	42
zweiseitig frei gelagerter Balken (mittleres Deckenelement)	0	13	0	13
	1	54	1	53

Tabelle 22 *LowBudget* berechnete Koinzidenzgrenzfrequenzen  $f_c$ 

Berechnungsparameter	$f_c$ nur der Rohdecke in Hz	$f_c$ der Estrichplatte in Hz
B´ nur der Schale m´ nur der Schale	114	1374
B´ nur der Schale m´ aus Eigengewicht + darüber liegende Schalen	138	1374

Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems:

$$f_0 = 220\text{Hz}$$

c) Bewertung der Anwenderfreundlichkeit:

Die Verlegung der Trittschalldämmplatten ist problemlos. Das schneiden erfolgt mit einem Dämmstoffmesser. Auch die Estrichelemente sind durch den Stufenfalz leicht verlegbar. Der zugehörige PU-Kleber kann durch eine doppelte Aufsatzdüse in einem Arbeitsgang aufgetragen werden. Schnitte der Estrichelemente werden am einfachsten mit einer Handkreissäge (grobe Zahnung) durchgeführt. Eine entsprechende Absaugung verhindert dabei eine größere Staubentwicklung. Für die Testdecke (15m<sup>2</sup>) beträgt die reine Einbauzeit ca. 1,5 Std. (zwei Personen)<sup>47</sup>.

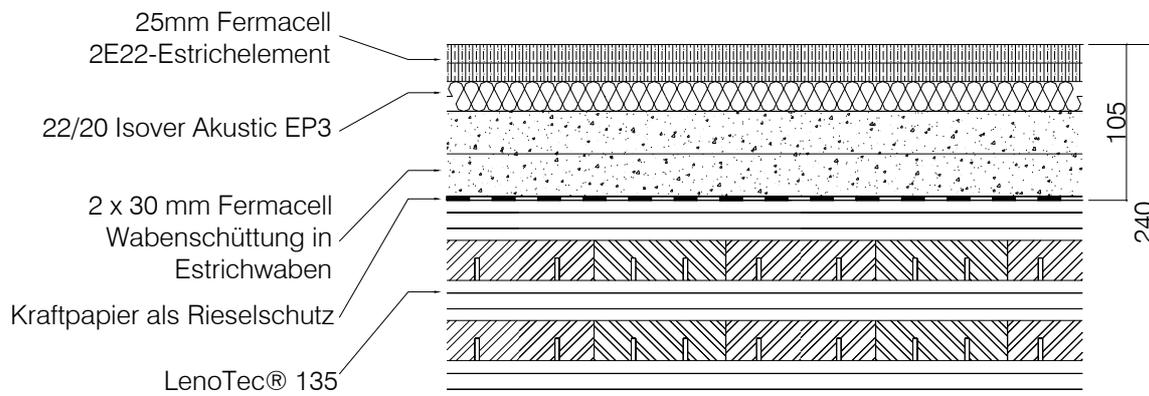


**Abbildung 16 Verlegung des Fermacell 2E22-Estrich-Elementes auf der Trittschalldämmung, Stufenfalz mit doppelter PU-Kleber-Spur**

---

<sup>47</sup> bei entsprechender Anrichtung, die in diesem Fall durch die Mithilfe eines Vorführmeisters der Fa. Fermacell gegeben ist

### 7.3.2 Fermacell



**Abbildung 17 Fermacell-Aufbau**

Mit dem *Fermacell*-Aufbau soll die erste Anforderungsstufe ( $L'_{n,w}=56\text{dB}$ ) erfüllt werden. Die eingeplante Beschwerung in Form der Fermacell-Wabenschüttung aus Kalksplitt, eingefüllt in die Fermacell-Estrichwaben soll für alle weiteren Aufbauten Verwendung finden. Die insgesamt 60mm hohe Beschwerung wird in zwei Schichten zu je 30mm eingebracht, da dann eine Nachverdichtung entfällt<sup>48</sup>. Der Vergleich dieses Aufbaus mit dem *LowBudget* ist interessant, da beide Aufbauten mit Ausnahme der Beschwerung bauakustisch identisch sind. Der Vergleich lässt also Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Beschwerung zu.

Die Entscheidung für das Fermacell-Trockenestrichelement 2E22 ist dadurch gerechtfertigt, dass Fermacell mit der Wabenschüttung auch ein Produkt zur Rohdeckenbeschwerung im Sortiment hat. Somit können alle Aufbauelemente mit Ausnahme der Trittschalldämmung von einem Hersteller bezogen werden<sup>49</sup> (daher auch der Name des Aufbaus). Alternativ wären ähnliche Systeme anderer Hersteller denkbar die aufgrund der gleicher Kennwerte aller Wahrscheinlichkeit nach ähnliche Ergebnisse erzielen würden.

<sup>48</sup> eine Variante stellt die 60mm hohe Estrichwabe dar, bei der die Schüttung allerdings nachverdichtet werden muss

<sup>49</sup> die Verwendung eines Verbundestrichelementes aus dem Fermacell Estrichelement mit aufkaschierter Trittschalldämmung wäre eine Alternative

a) Technische Daten:Tabelle 23 Technische Daten *Fermacell*

Schicht	Funktion	Aufbau- höhe $t^{50}$ in mm	flächenbe- zogene Masse $m'$ in kg/m <sup>2</sup>	E-Modul in N/mm <sup>2</sup>	Biegesteifig- keit $B'$ in Nm <sup>2</sup> /m <sup>51</sup>
LenoTec 135	Rohdecke	135	68	7920	1850538
Kraftpapier	Rieselschutz	--	--	--	--
Fermacell Kalksplitt-Waben- schüttung in Estrichwaben	Rohdecken- beschwerung	60 (2 x 30)	90	--	--
Isover Akustic EP3	Trittschall- dämmung mit $s' = 40 \text{ MN/m}^3$	20	2	--	--
Fermacell 2E22	Estrich	25	30	3800	5639
<b>gesamt</b>		<b>240</b>	<b>190</b>	--	<b>1856177</b>

<sup>50</sup>  $t$  bei Trittschalldämmung ist die Stärke unter Belastung  $d_B$ <sup>51</sup> die Gesamtbiegesteifigkeit der Konstruktion berechnet sich nach 7.1.3

b) Charakteristische Frequenzen:Tabelle 24 *Fermacell*: berechnete Eigenfrequenzen  $f_n$ 

Berechnungsmodell	$f_n$ des gesamten Aufbaus		$f_n$ nur der Rohdecke	
	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz
vierseitig frei gelagerte Platte	0/0	17	0/0	17
	0/1	31	0/1	31
	1/0	46	1/0	46
	1/1	31	1/1	31
zweiseitig frei gelagerter Balken (mittleres Deckenelement)	0	10	0	10
	1	39	1	39

Tabelle 25 *Fermacell*: berechnete Koinzidenzgrenzfrequenzen  $f_c$ 

Berechnungsparameter	$f_c$ nur der Rohdecke in Hz	$f_c$ der Estrichplatte in Hz
B´ nur der Schale m´ nur der Schale	174	1374
B´ nur der Schale m´ aus Eigengewicht + darüber liegende Schalen	191	1374

Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems für *Fermacell*-Aufbau:

$$f_0 = 200\text{Hz}$$

c) Bewertung der Anwenderfreundlichkeit:

Auf ebenen Untergründen wie sie bei LenoTec®-Decken in der Regel vorliegen lassen sich die Estrichwaben sehr leicht direkt verlegen. Ist dies nicht der Fall sollte unter den Waben eine Ausgleichsschicht aufgebracht werden. Der Zuschnitt der Waben erfolgt mit einem Cutter-Messer. Um ein Aufschwimmen zu vermeiden sollten sie nach Möglichkeit auf dem Untergrund fixiert werden (z.B. durch Tackern). Die Pappwaben sind auch ungefüllt vorsichtig begehrbar.



**Abbildung 18 Pappwaben auf Rieselschutzfolie**



**Abbildung 19 fertige Rohdeckenbeschwerung**

Die Schüttung wird direkt über die Pappwaben abgezogen, wodurch das aufwendige Abziehen über entsprechende Schienen entfällt. Nach dem Verfüllen der Waben ist die Schicht sehr gut ohne „einsinken“ begebar. So müssen vor den weiteren Arbeitsschritten keine Platten zur Lastverteilung ausgelegt werden (vergleiche Abbildung 19).

Ein Nachteil stellt die relativ kleine Verpackungsgröße der Schüttung dar<sup>52</sup>. Dadurch kann die Verteilung auf der Baustelle sehr aufwendig werden (vor allem bei mehreren Stockwerken). Angebracht wäre hier die Anlieferung in Silos und die Verteilung mittels Pumpen.



**Abbildung 20** Bereitstellung der Schüttung in Säcken

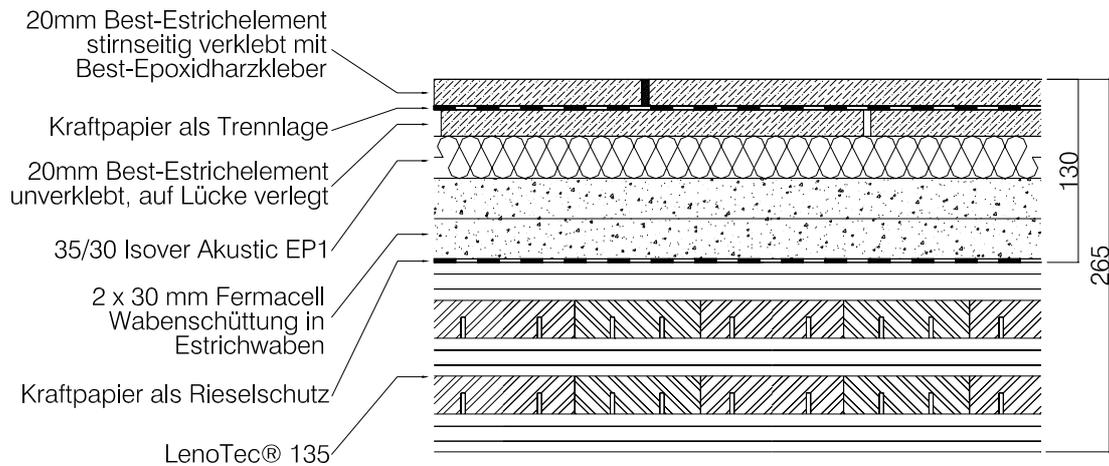
Der Einbau der Beschwerung für die Testdecke (15m<sup>2</sup>) beansprucht ca. 1,5 Std. Dabei sind allerdings sehr kurze Wege mit der Schüttung Voraussetzung.

Der restliche Aufbau ist wie der *LowBudget* verlegbar. Ein Unterschied der Verlegung auf der Beschwerung zu der auf der Rohdecke ist nicht auszumachen.

---

<sup>52</sup> Verpackungsgröße max. 15l/Sack; Verbrauch 4Säcke/m<sup>2</sup> bei 60mm Schütthöhe

### 7.3.3 Best2



**Abbildung 21 Best2-Aufbau**

Das hier verwendete Best-Trockenestrichsystem ist ein vorgefertigter Zementestrich. Die Elemente mit den Abmessungen 33 x 33 x 2cm werden auf der Baustelle mit dem zugehörigen Epoxidharzkleber stirnseitig verklebt. Die Festigkeit der so entstandenen Estrichplatte lässt die Verwendung einer sehr weichen Trittschalldämmplatte (mit  $s' = 5 \text{ MN/m}^3$ ) zu. Zur zusätzlichen Beschwerung in der Estrichebene wird eine weitere Schicht der Best-Estrichplatten ausgelegt. Um hier die schalltechnischen Vorteile eines elementierten Estrichs auszunutzen, sollten die beiden Lagen der Estrichplatten durch eine Folie voneinander getrennt werden. So wird ein Verkleben der Lagen untereinander und somit eine schalltechnisch ungünstige Erhöhung der Biegesteifigkeit des Estrichs verhindert.

Gegenüber einem bauseits gegossenen Zementestrich hat das Best-Estrichsystem folgende Vorteile:

- trockene Bauweise und dadurch keine zusätzliche Baufeuchte
- Trocknungszeiten von nur einem Tag (im Vergleich zu 6–8 Wochen bei Nassestrichen)
- viele Variationsmöglichkeiten bezüglich Lagenanzahl, Art der Verlegung (verklebt/ nicht verklebt)
- keine aufwändige Abdichtung gegenüber darunter liegenden Schichten notwendig
- große Flächen ohne Dehnungsfugen möglich

Der Best2-Aufbau soll die Anforderungen an eine Wohnungstrenndecke ( $L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$ ) sicher erfüllen. Falls sich bei der Prüfung bessere Ergebnisse einstellen, kann der Aufbau modifiziert werden (siehe *Best1*).

a) Technische Daten:

**Tabelle 26 Technische Daten Best2**

Schicht	Funktion	Aufbauhöhe $t^{53}$ in mm	flächenbezogene Masse $m'$ in $\text{kg/m}^2$	E-Modul in $\text{N/mm}^2$	Biegesteifigkeit $B'$ in $\text{Nm}^2/\text{m}^{54}$
LenoTec 135	Rohdecke	135	68	7920	1850538
Kraftpapier	Rieselschutz	--	--	--	--
Fermacell Kalksplitt-Wabenschüttung in Estrichwaben	Rohdeckenbeschwerung	60 (2 x 30)	90	--	--
Isover Akustic EP1	Trittschalldämmung mit $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$	30	2	--	--
Best Trockenestrich, ohne Verklebung auf Lücke verlegt	elementierter Estrich	20	49,5		
Kraftpapier	Trennlage	--	--	---	--
Best Trockenestrich, stirnseitig verklebt	Estrich	20	49,5	27000 <sup>55</sup>	20513
<b>gesamt</b>		<b>265</b>	<b>259</b>	--	1871051

<sup>53</sup>  $t$  bei Trittschalldämmung ist die Stärke unter Belastung  $d_B$

<sup>54</sup> die Gesamtbiegesteifigkeit der Konstruktion berechnet sich nach 7.1.3

<sup>55</sup> Kenntnisstand der Firma Best-Estrich (Auskunft per E-Mail durch Herrn Schlosser, Fa. Best)

b) Charakteristische Frequenzen:Tabelle 27 *Best2*: berechnete Eigenfrequenzen  $f_n$ 

Berechnungsmodell	$f_n$ des gesamten Aufbaus		$f_n$ nur der Rohdecke	
	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz
vierseitig frei gelagerte Platte	0/0	15	0/0	15
	0/1	26	0/1	26
	1/0	40	1/0	40
	1/1	26	1/1	26
zweiseitig frei gelagerter Balken (mittleres Deckenelement)	0	8	0	8
	1	33	1	33

Tabelle 28 *Best2*: berechnete Koinzidenzgrenzfrequenzen  $f_c$ 

Berechnungsparameter	$f_c$ nur der Rohdecke in Hz	$f_c$ der Estrichplatte in Hz
B´ nur der Schale m´ nur der Schale	201	930
B´ nur der Schale m´ aus Eigengewicht + darüber liegende Schalen	223	930

Die Koinzidenzgrenzfrequenz für die Estrichplatte liegt mit 930Hz deutlich unter 2000Hz. Somit handelt es sich beim Estrich aus schalltechnischer Sicht nicht um eine biegeweiche Schale.

Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems für *Best2*-Aufbau:

$$f_0 = 54 \text{ Hz}$$

c) Bewertung der Anwenderfreundlichkeit:

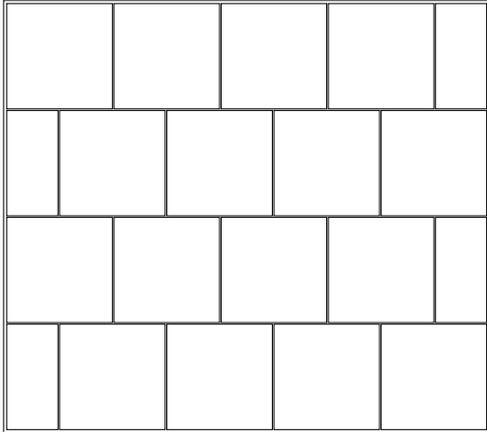
Die verwendete Trittschalldämmung ist sehr weich. Nach dem Auslegen der ersten Lage Estrichplatten und der Trennlage sollten deshalb für den nächsten Arbeitsschritt abschnittsweise lastverteilende Platten (z.B. Schaltafeln) ausgelegt werden (nur für die Montage). Die Estrichplatten können mit einem entsprechenden Steinbrecher relativ leicht getrennt werden. Sehr schmale Abschnitte (weniger als 2cm) sind allerdings problematisch da sie leicht zerbrechen.

Wichtig ist auch darauf zu achten, dass eventuelle Spitzen an den gebrochenen Kanten entfernt werden, damit diese den Estrichranddämmstreifen nicht durchstoßen und so zu Schallbrücken führen.



**Abbildung 22 Erste Lage Best-Estrich**

Bei der Verlegung beider Lagen ist auf eine versetzte Stoßanordnung zu achten. Auch sollten die Fugen innerhalb einer Schicht als T-Fugen ausgebildet werden (siehe Abbildung 23). Die Verlegung ist daher etwas aufwendiger.



---

**Abbildung 23 Verlegeschema Best-Estrich**

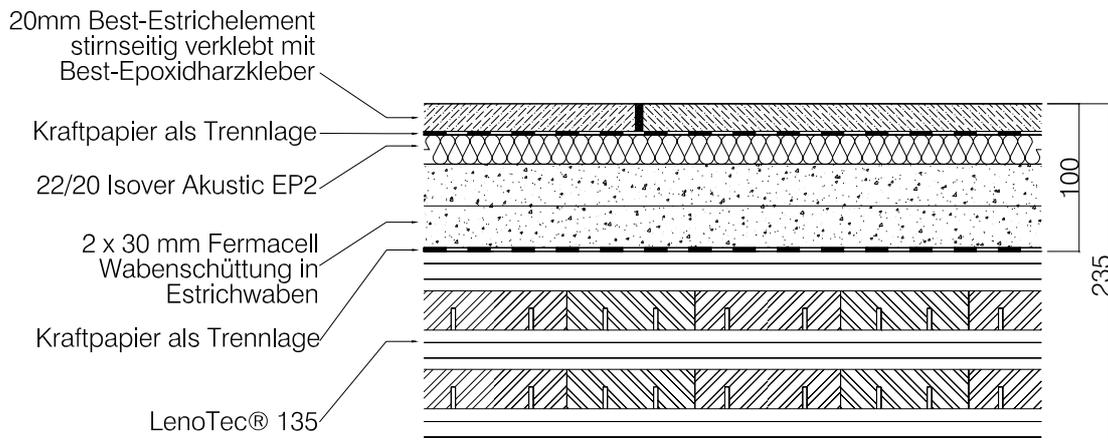
Das kleine Format der Platten verursacht einen relativ hohen Verlegeaufwand. Laut Herstellerangaben können durch einen Profi zusammen mit einer zweiten Person zwischen sechs und acht Quadratmeter pro Stunde verlegt werden. Beim Einbau der Testdecke benötigen zwei Holzbau-Studenten ca. 4,5 Std. (1Std. für untere, 3,5Std. für obere Lage).



**Abbildung 24 Zweite Lage Best-Estrich**

Für einen einfachen Arbeitsablauf sollte das Material so nah wie möglich an den Verlegeort herangefahren werden können. Obergeschoße können mittels Lastenaufzug bedient werden.

### 7.3.4 Best1



**Abbildung 25 Best1-Aufbau**

Der *Best1*-Aufbau soll getestet werden, wenn der *Best2*-Aufbau deutlich bessere Werte bringt als die Anforderungen an eine Wohnungstrenndecke.

Da der Estrich hier mit  $50\text{kg/m}^2$  viel leichter ist als bei dem *Best2*-Aufbau, ist nach Aussage des Herstellers eine zu weiche Trittschalldämmung nicht empfehlenswert. Für Verkehrslasten in Wohnbereichen würde die Festigkeit des Estrichs zwar ausreichen. Das Plattengewicht reicht aber nicht aus, um die Trittschalldämmung weit genug zu komprimieren. Die Platte wäre für ihr Gewicht also zu weich gelagert. Eine zu weich gelagerte Platte könnte zu Einschnitten beim Wohnkomfort führen, da in diesem Falle mit einem Nachgeben der Konstruktion unter Belastung zu rechnen ist („Waldbodeneffekt“).

a) Technische Daten:Tabelle 29 Technische Daten *Best1*

Schicht	Funktion	Aufbau- höhe $t$ <sup>56</sup> in mm	flächenbe- zogene Masse $m'$ in kg/m <sup>2</sup>	E-Modul in N/mm <sup>2</sup>	Biegesteifig- keit $B'$ in Nm <sup>2</sup> /m <sup>57</sup>
LenoTec 135	Rohdecke	135	68	7920	1850538
Kraftpapier	Rieselschutz	--	--	--	--
Fermacell Kalksplitt-Waben- schüttung in Estrichwaben	Rohdecken- beschwerung	60 (2 x 30)	90	--	--
Isover Akustic EP2	Trittschall- dämmung mit $s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$	20	2	--	--
Kraftpapier	Trennlage	--	--	---	--
Best Trockenestrich, stirnseitig verklebt	Estrich	20	49,5	27000 <sup>58</sup>	20513
<b>gesamt</b>		<b>235</b>	<b>~210</b>	--	1871051

<sup>56</sup>  $t$  bei Trittschalldämmung ist die Stärke unter Belastung  $d_B$ <sup>57</sup> die Gesamtbiegesteifigkeit der Konstruktion berechnet sich nach 7.1.3<sup>58</sup> Kenntnisstand der Firma Best-Estrich (Auskunft per E-Mail durch Herrn Schlosser, Fa. Best)

b) Charakteristische Frequenzen:Tabelle 30 *Best1*: berechnete Eigenfrequenzen  $f_n$ 

Berechnungsmodell	$f_n$ des gesamten Aufbaus		$f_n$ nur der Rohdecke	
	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz	Mode $n_x/n_y$	$f_n$ in Hz
vierseitig frei gelagerte Platte	0/0	17	0/0	16
	0/1	29	0/1	29
	1/0	44	1/0	44
	1/1	29	1/1	29
zweiseitig frei gelagerter Balken (mittleres Deckenelement)	0	9	0	9
	1	37	1	37

Tabelle 31 *Best1*: berechnete Koinzidenzgrenzfrequenzen  $f_c$ 

Berechnungsparameter	$f_c$ nur der Rohdecke in Hz	$f_c$ der Estrichplatte in Hz
B´ nur der Schale m´ nur der Schale	175	930
B´ nur der Schale m´ aus Eigengewicht + darüber liegende Schalen	201	930

Die Koinzidenzgrenzfrequenz für die Estrichplatte liegt mit 930Hz deutlich unter 2000Hz. Somit handelt es sich beim Estrich aus schalltechnischer Sicht nicht um eine biegeweiche Schale.

Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems für *Best1*-Aufbau:

$$f_0 = 115\text{Hz}$$

c) Bewertung der Anwenderfreundlichkeit:

Der Einbau des Estrichs erfolgt nach dem gleichen Schema wie beim *Best2*-Aufbau. Die Vor- und Nachteile aus anwendungstechnischer Sicht sind deshalb die gleichen. Aufgrund der härteren Trittschalldämmung gestaltet sich die Verlegung jedoch etwas einfacher. Die 15m<sup>2</sup> Prüffläche können mit zwei Personen so in ca. 3 Stunden verlegt werden.

# 8 Durchführung und Auswertung der Prüfungen

## 8.1 Vorgeschriebene Prüfungen für Bauteilmessungen

Im Rahmen dieser Arbeit werden zum einen die bauakustischen Prüfungen durchgeführt, die nach DIN 4109 und DIN EN ISO 140, 3 + 6 für eine normgerechte Beurteilung von Decken vorgeschrieben sind. Das ist zunächst die Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes  $R_w$  nach DIN EN ISO 140-3 [18] für die Beurteilung der schalldämmenden Eigenschaften der Decke bei Anregung durch Luftschall (siehe Anhang B). Des weiteren ist die Messung des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L_{n,w}$  nach DIN EN ISO 140-6 [19] bei Körperschallanregung Bestandteil der vollständigen bauakustischen Vermessung einer Decke (siehe Anhang C).

## 8.2 Zusätzliche Untersuchungen im Deckenprüfstand

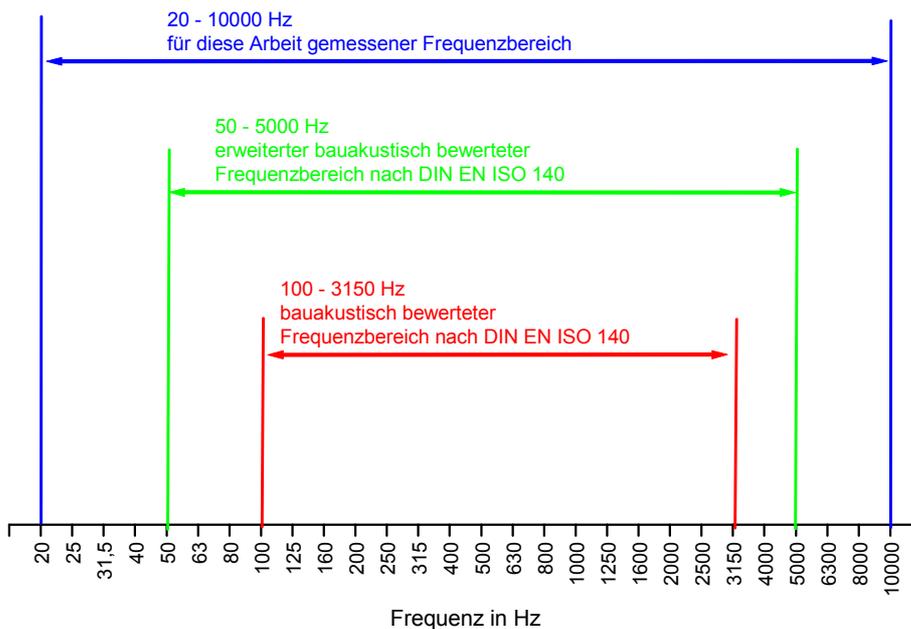
### 1. Ausweitung des Frequenzbereiches bei den bauakustischen Untersuchungen

Zusätzlich zu den vorgeschriebenen Messungen sollen durch geeignete Prüfmethode n weitergehende Erkenntnisse gewonnen werden. Dazu zählt zum einen die Ausweitung des Frequenzbereiches bei den bauakustisch notwendigen Tests.

Der bauakustisch bewertete Frequenzbereich reicht bei Messung in Terzbändern von 100 bis 3150 Hz. Mit der Einführung der Normenreihen DIN EN ISO 140 (1998) und DIN EN ISO 717 (1996) ist die Bewertung zusätzlicher Frequenzbänder möglich. Die tieffrequenten Terzbänder 50 Hz, 63 Hz und 80 Hz (bei Luft- und Trittschallmessung) sowie die hochfrequenten Terzbänder 4000 Hz und 5000 Hz (nur bei Luftschallmessung) können über Spektrumsanpassungswerte in die Ergebnisse einfließen (siehe B.6 und C.6).

Gerade im Holzbau ist die Betrachtung des tiefen Frequenzbereiches sehr wichtig, da aufgrund der geringen Masse von Holzbauteilen (im Vergleich zu Stahlbeton-Konstruktionen) häufig erst hier Probleme auftreten. Natürlich wäre es für die Hersteller von entsprechend leichten Bauteilen günstig, diese Frequenzbereiche nicht zu bewerten um gute Einzahlwerte zu erzielen, die dann gut vermarktet werden könnten. Die Probleme wären so aber nicht aus der Welt geräumt und würden in Form von Mängelanzeigen wieder an den Hersteller zurückkommen, da die Bewertung tiefer Frequenzen als Empfehlung in den einschlägigen Normen festgehalten und somit Stand der Technik ist. Die bauakustischen Untersuchungen sollten also auf jeden Fall im erweiterten Frequenzbereich ausgewertet werden, auch wenn die Normen dies heute noch nicht vorschreiben.

Auch bei den Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit werden alle genormten Spektrumsanpassungswerte für die Frequenzen zwischen 50 und 5000 Hz berechnet und ausgewertet. Da ohne großen Aufwand ein noch größerer Frequenzbereich gemessen und aufgezeichnet werden kann, finden diese Zusatzinformationen Eingang in diese Arbeit. Der so erweiterte Frequenzbereich umfasst die Terzbänder zwischen 20 und 10000 Hz (siehe auch Abbildung 26).



**Abbildung 26 Bewertete Frequenzbereiche**

Dieser erweiterte Frequenzbereich kann quantitativ nur schwer erfasst werden, da keine Bewertungsverfahren dafür bestehen. Die Auswertung erfolgt daher rein qualitativ durch Analyse auffälliger Spektralverläufe und durch Vergleiche entsprechender Messkurven.

Auch muss beachtet werden, dass genormte Prüfstände nicht für die Messung von Schallfeldern in sehr tiefen Frequenzen ausgelegt sind. Die Abmessungen der Prüfräume sind in der Regel zu klein um ausreichend diffuse Schallfelder zu erzeugen<sup>59</sup>. Schon für die Messung bis hinab zu 50 Hz sind Zusatzmaßnahmen in Bezug auf Mikrofon- und Lautsprecherpositionen erforderlich die in DIN EN ISO 140-3, Anhang F und DIN EN ISO 140-4, Anhang C beschrieben sind (siehe auch Kapitel A.3 im Anhang dieser Arbeit). Der Empfangsraum des LaSM der FH Rosenheim ist diesbezüglich günstig angelegt, da er mit ca. 9m eine relativ große Ausdehnung besitzt. Da im Terzband 20 Hz aber eine Wellenlänge bis zu 19 m auftritt, sind die Ergebnisse der Messungen in sehr tiefen Frequenzen zu hinterfragen. Nicht betroffen von der Ausbildung von Schallfeldern sind Untersuchungen der Beschleunigungspegel mit Hilfe von Schwingungsaufnehmern. Vor allem das Verhalten des Prüfgegenstands in tiefen Frequenzen kann daher mit dieser Methode

<sup>59</sup> Die Ausbildung eines diffusen Schallfeldes wird umso schwieriger je größer die Wellenlänge der Schallwellen ist (also je niedriger die Frequenz ist). Überschreitet die Wellenlänge die Ausdehnung des Prüfraumes, baut sich für die Frequenz kein ausreichend diffuses Schallfeld auf.

genauer untersucht werden und so die Ergebnisse der Luft- und Trittschallpegelmessungen stützen.

## 2. Schwingungsuntersuchungen

Aus den Messungen der Beschleunigungspegel können keine Einzahlwerte ermittelt werden wie dies bei den Luft- und Trittschallmessungen der Fall ist. Quantitative Ergebnisse sind deshalb aus diesen Prüfungen nicht abzuleiten. Vielmehr sollen qualitative Analysen und Vergleiche des Schwingungsverhaltens der einzelnen Deckenkonstruktionen durchgeführt werden. Insbesondere sollen mit den Schwingungsmessungen an der Prüfdecke im Deckenprüfstand folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Frequenzen werden bei verschiedenen Anregungsarten angeregt?
- Sind auffällige Spitzen und Einbrüche der Luft- und Trittschallkurven auch bei den Frequenzverläufen entsprechender Schwingungsuntersuchungen erkennbar?
- Sind berechnete charakteristische Frequenzen (speziell Eigenfrequenzen) durch Schwingungsuntersuchungen nachweisbar?

Die Durchführung der Schwingungsuntersuchungen ist in Anhang D beschrieben.

## 8.3 Entwicklung eines Testprüfstandes

Parallel zu den Messungen im Deckenprüfstand soll versuchsweise eine Messreihe an einem kleinen Testprüfstand („m<sup>2</sup>-Prüfstand“<sup>60</sup>) durchgeführt werden. Bei allen im Deckenprüfstand getesteten Aufbauten soll hier mit dem Norm-Hammerwerk auf der Oberseite des Estrichs/ der Rohdecke angeregt werden. An der Deckenunterseite werden während dessen die Beschleunigungspegel  $L_a$  mit Hilfe von Schwingungsaufnehmern gemessen.

Vergleiche der Aufbauten untereinander, sowie der entsprechenden Ergebnisse im großen Prüfstand mit denen im m<sup>2</sup>-Prüfstand sollen eventuelle Zusammenhänge aufzeigen. Möglicherweise können durch diese Tests Rückschlüsse auf die bauakustisch relevanten Größen gezogen werden. Im Idealfall wäre es am Ende möglich, einen angedachten Aufbau durch Vermessung im Testprüfstand schalltechnisch einzuordnen. Im Kleinen erfolgreich getestete Aufbauten könnten dann in den großen, normgerechten Prüfstand eingebaut und den üblichen bauakustischen Messungen unterzogen werden. Material- und Zeitaufwand für Umbauarbeiten am Testaufbau würden sich erheblich reduzieren.

---

<sup>60</sup> „m<sup>2</sup>-Prüfstand“ wegen seiner Fläche von 1 m<sup>2</sup>

## 9 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse in diesem Kapitel erfolgt bewusst nicht nach den Vorgaben der DIN EN ISO 140-3 + 6. Hier sind konkrete Vorgaben enthalten, in welcher Skalierung Pegel und Frequenzen darzustellen sind. Der ausgeweitete Frequenzbereich der Messungen zu dieser Arbeit wäre in der normgerechten Weise nicht darstellbar. Im Anhang H sind die Messkurven in normgerechter Darstellung abgebildet. Hier sind zusätzlich die verschobenen Bezugskurven der einzelnen Messungen enthalten.

## 9.1 Rohdecke

Die Rohdeckenvermessung hat das Ziel die LenoTec®-Rohdecke mit anderen Deckensystemen vergleichbar zu machen und bisherige Schätzungen der bauakustischen Kennwerte zu überprüfen. Der Vergleich über den äquivalenten Norm-Trittschallpegel ist allerdings nicht möglich, da die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit nicht mit einer Bezugsdeckenaufgabe durchgeführt werden.

Darüber hinaus werden die Kennwerte und –linien der Rohdecke für den Vergleich mit denen der einzelnen Aufbauten heran gezogen, und ermöglichen somit Aussagen über die erzielte Verbesserung durch den jeweiligen Aufbau.

### 9.1.1 Luftschall

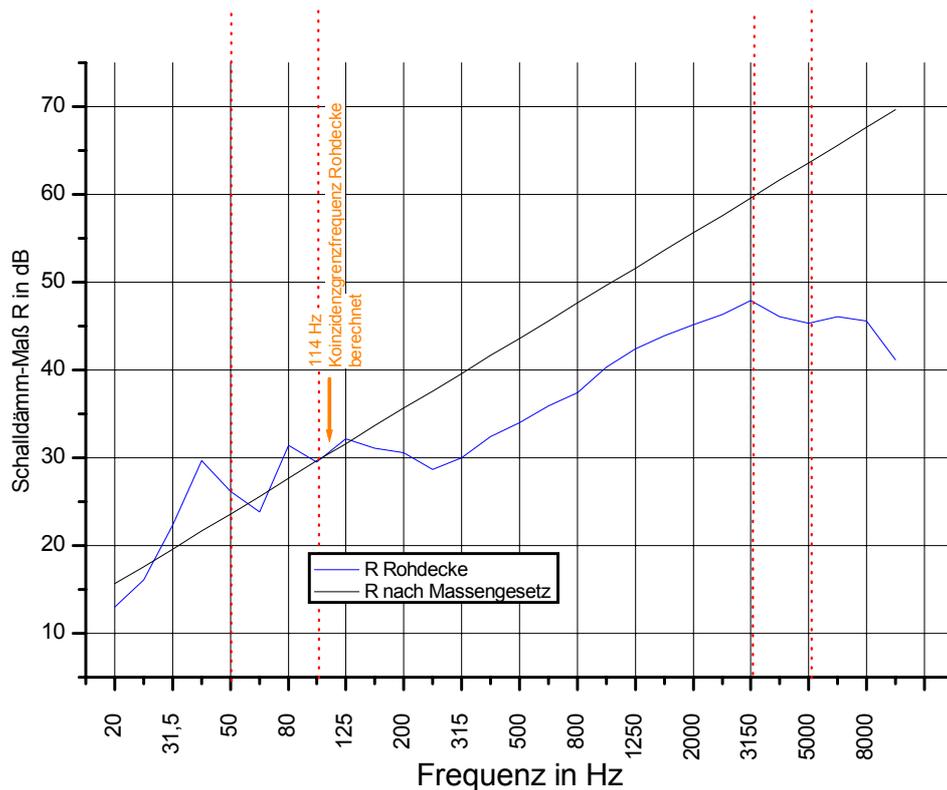


Abbildung 27 Schalldämm-Maß Rohdecke

**Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-1 (Angaben in dB):**

$R_w$	$C$	$C_{50-3150}$	$C_{50-5000}$	$C_{100-5000}$	$C_{tr}$	$C_{tr,50-3150}$	$C_{tr,50-5000}$	$C_{tr,100-5000}$
39,3	-1,1	-1,1	-0,3	-0,3	-3,5	-4,0	-4,0	-3,5

**Interpretation:**

- Vermutlich infolge von Spuranpassungseffekten und einem erhöhten Abstrahlgrad oberhalb der Koinzidenzgrenzfrequenz ist die Schalldämmung ab etwa 125Hz geringer im Vergleich zu ideal biegeweichen Platten (nach dem Massengesetz von Berger)
- die Koinzidenzgrenzfrequenz wäre nach dem Verlauf von R eher zwischen 200Hz und 250Hz zu vermuten als bei den berechneten 114Hz (vergleiche Abbildung 8, S.47)
- der unruhige Verlauf von R unter 125Hz ist neben eventuellen Messungenauigkeiten in tiefen Frequenzen auf Eigenfrequenzen höherer Moden zurückzuführen, die aber nicht genau zugeordnet werden können

## 9.1.2 Trittschall

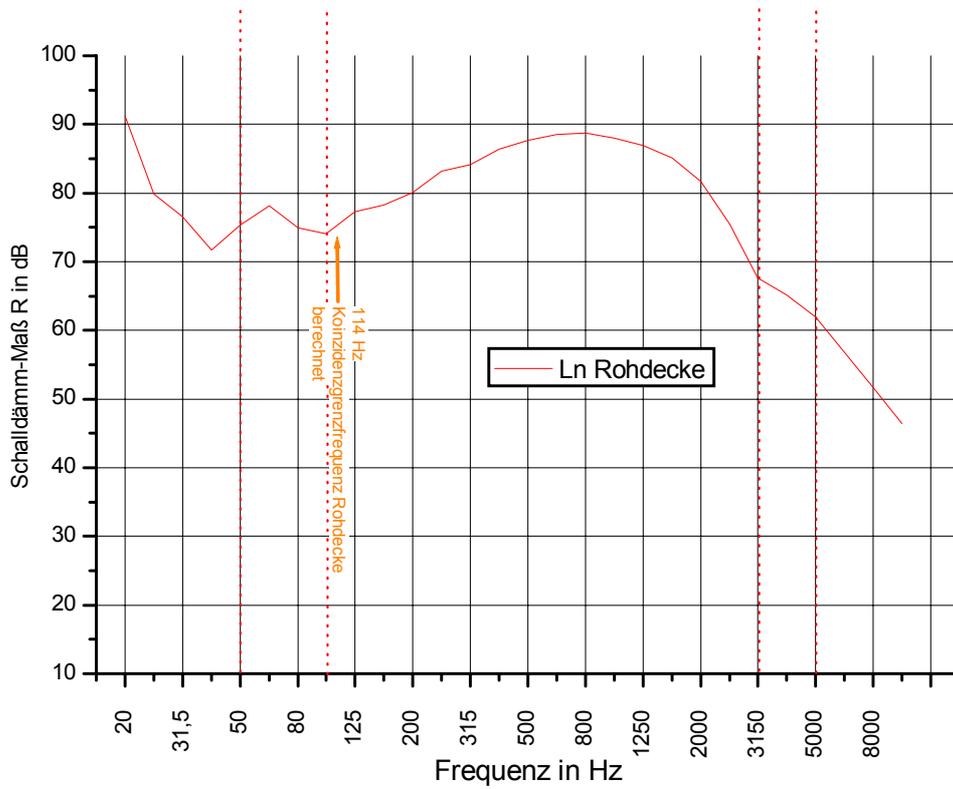


Abbildung 28 Norm-Trittschallpegel Rohdecke

**Einzahlwerte (gerundet) mit Flankenübertragung<sup>61</sup> (Angaben in dB):**

$L_{n,w}$	$K^{62}$	$L'_{n,w}$
87	0	87

<sup>61</sup> nach [2], 7.1.6

<sup>62</sup> siehe auch Abbildung 4 S.40

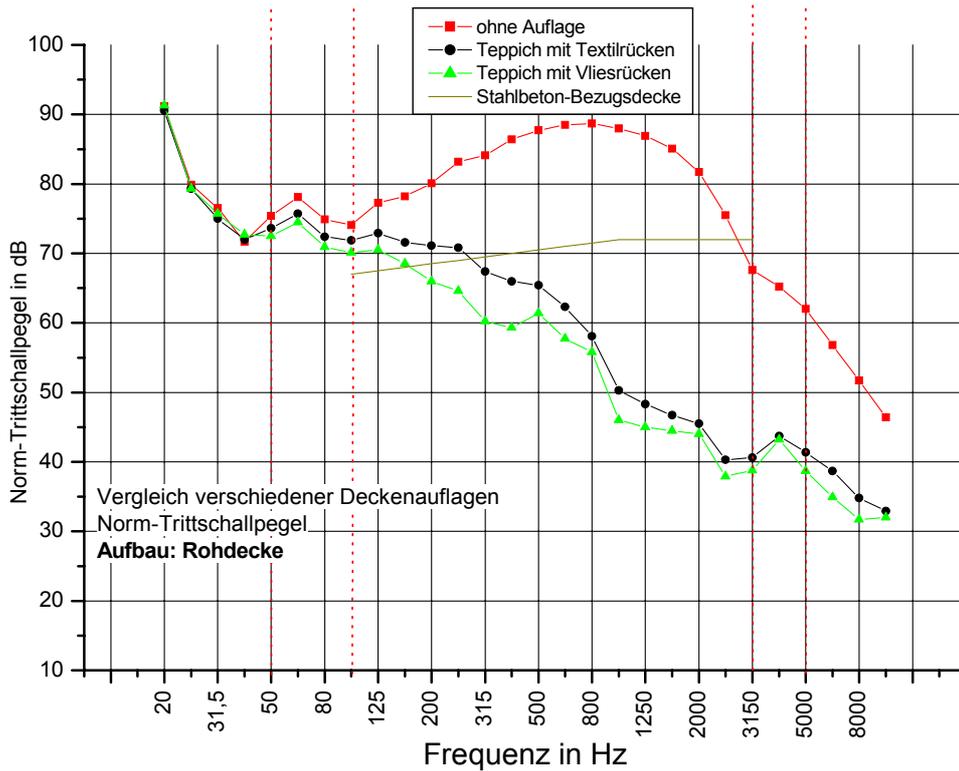


Abbildung 29 Norm-Trittschallpegel Rohdecke mit verschiedenen Auflagen

Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-2 mit verschiedenen Deckenauflagen (Angaben in dB):

Deckenaufgabe:	$L_{n,w}$	$C_1$	$C_{1,50-2500}$
ohne Auflage	87,3	-5,5	-5,4
Teppich mit Textiltrücker	64,1	-0,4	-3,1
Teppich mit Vliesrücker	59,9	1,1	5,0

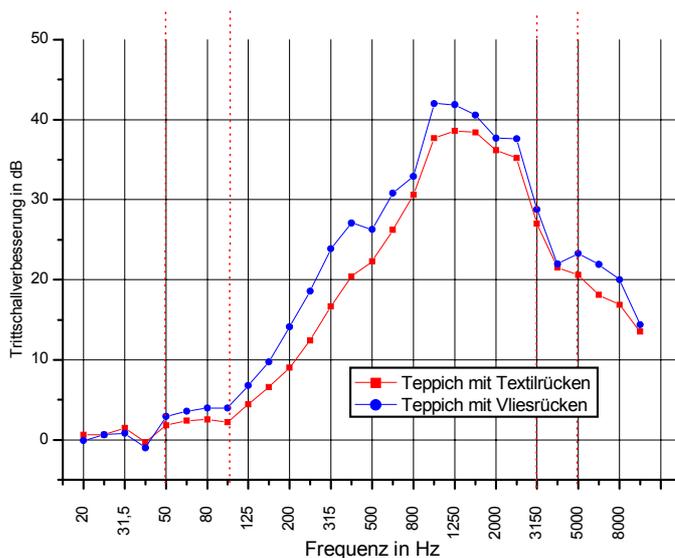


Abbildung 30 Trittschall-Verbesserung der Rohdecke durch weichfedernde Gehbeläge

**Interpretation:**

- Der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  der Rohdecke liegt mit 87dB unerwartet hoch.
- Die Spektrumsanpassungswerte nehmen deutlich negative Werte an. Dies ist für Decken in Holzbauweise eher unüblich. Die Spektrumsanpassungswerte von Holzbalkenrohdecken sind üblicherweise positiv. Die Charakteristik der LenoTec®-Rohdecke entspricht also eher der einer Massivdecke als der einer Holzbalkendecke (siehe auch Kapitel C.6, Seite C.9).
- Die Spektrumsanpassungswerte unterscheiden sich nicht. Es sind also vor allem die mittleren Frequenzen (200Hz – 2000Hz), die hier große Probleme bereiten.
- Die hohen Norm-Trittschallpegel in diesem problematischen Frequenzbereich sind bereits mit Hilfe von weichfedernden Deckenauflagen stark reduzierbar (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30). Die Art des Teppichrückens ist dabei nochmals entscheidend und führt in einzelnen Frequenzbändern zu bis zu 7dB Unterschied.
- In hohen Frequenzen (ab etwa 3150Hz) weist die Rohdecke sehr niedrige Trittschallpegel auf (Abbildung 29). Für die Bewertung nach DIN EN ISO 717-2 tragen die niedrigen Trittschallpegel in den hohen Frequenzen nicht bei, so dass dadurch keine Auswirkung auf den Einzahlwert auftritt.
- Der Vergleich der gemessenen Norm-Trittschallpegel der LenoTec®-Rohdecke mit den festgelegten Werten der Stahlbeton-Bezugsdecke nach DIN EN ISO 717-2, 5 [23] zeigt die Probleme in den mittleren Frequenzen auf (siehe Abbildung 29). Zusätzlich wird deutlich, dass die LenoTec®-Rohdecke auch in den tiefen Frequenzen über der Stahlbetondecke einzuordnen ist. Hier spielt die geringere Masse der Holzmassivdecke im Vergleich zur Stahlbeton-Massivdecke die entscheidende Rolle.

### 9.1.3 Schwingungsmessungen an der Prüfdecke

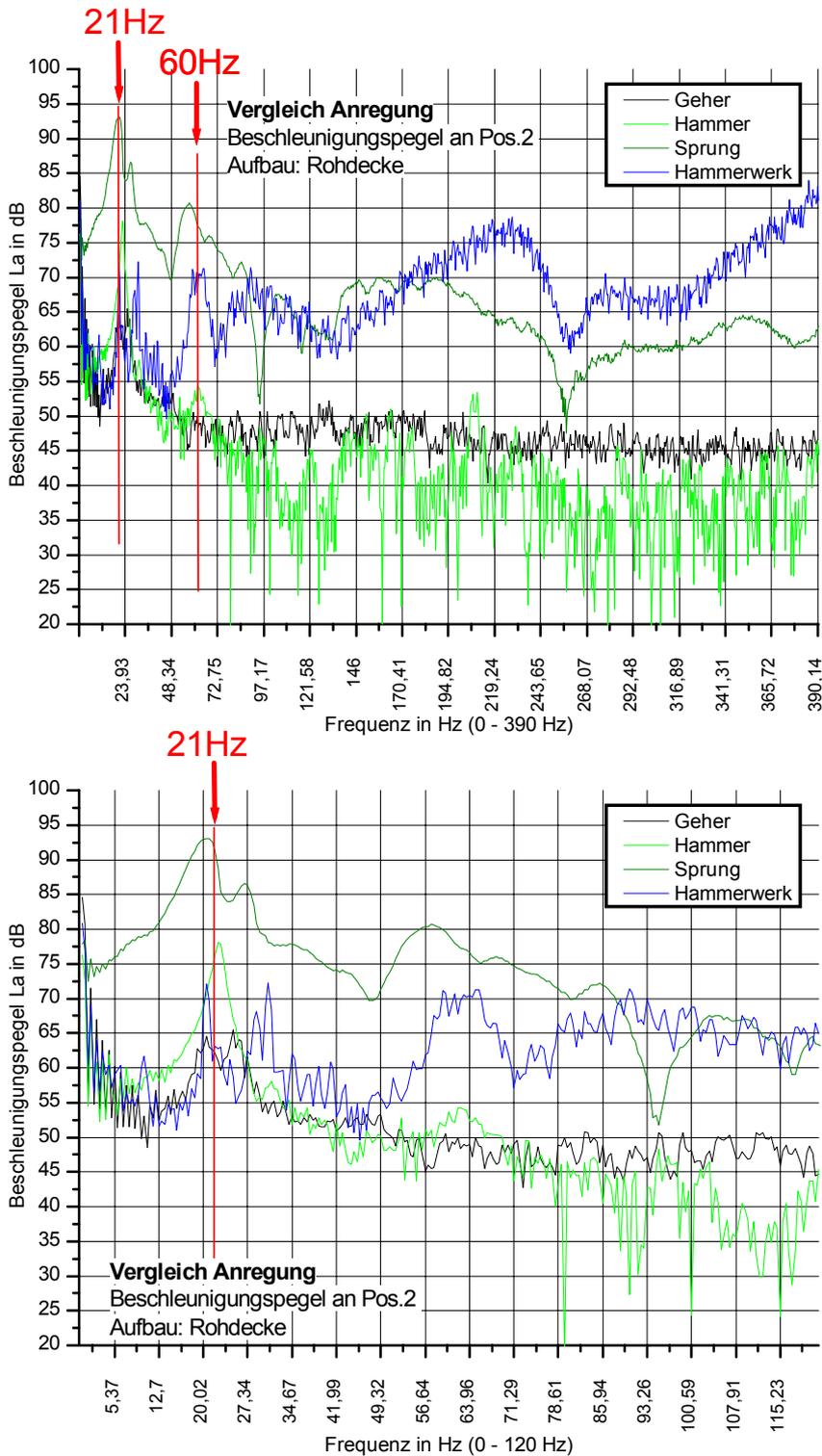


Abbildung 31 Schwingung der Rohdecke bei verschiedenartiger Anregung, Darstellung in unterschiedlichen Frequenzausschnitten

**Interpretation:**

- Auffällig im Spektrum aller getesteten Anregungsarten ist eine deutlich ausgebildete Spitze bei etwa 21Hz. Es ist davon auszugehen, dass hier die Grundfrequenz der Eigenschwingung der Decke liegt. Der berechnete Wert liegt bei 29Hz (für die vierseitig frei gelagerte Decke). Die Abweichung zwischen berechnetem Wert und dem nun ermittelten Wert ist erklärbar, da es sich bei der Berechnung um eine Näherung handelt, deren Eingangswerte zudem mit Fehlern behaftet sein können.
- Eine zweite auffällige Spitze tritt etwa bei 60Hz auf. Vermutlich handelt es sich hierbei um eine Eigenfrequenz höherer Ordnung. Eine rechnerische Zuordnung ist nicht möglich.

## 9.1.4 Vergleich der Messungen

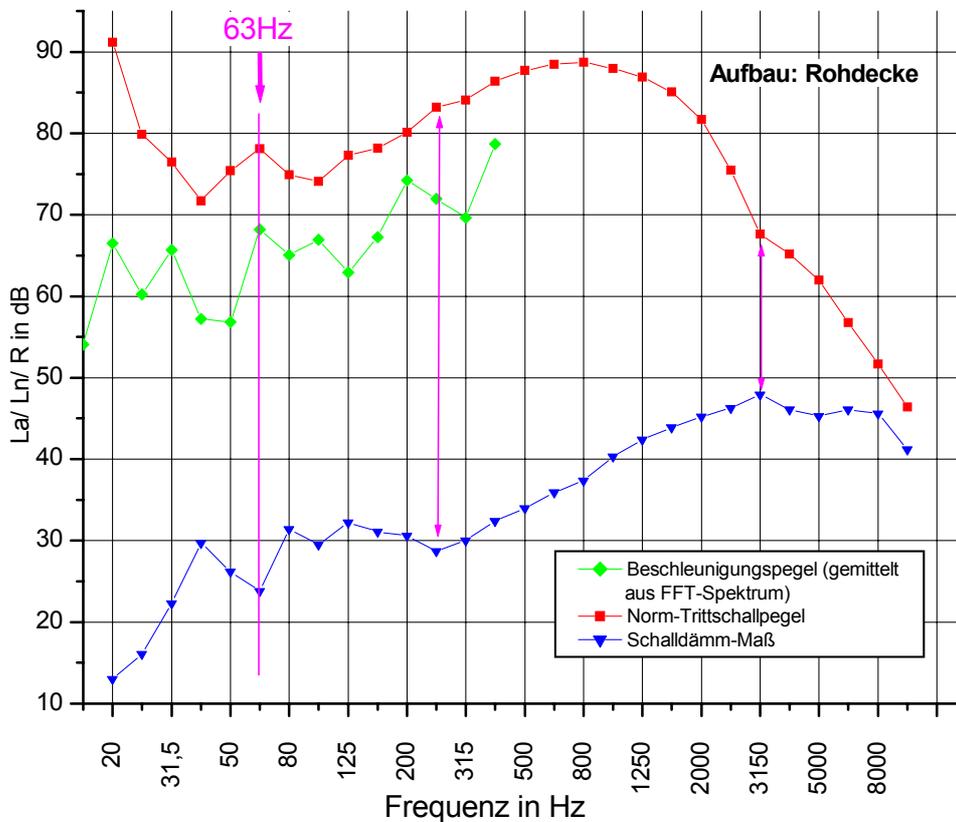


Abbildung 32 Vergleich von Beschleunigungspegel  $L_a$ , Norm-Trittschallpegel  $L_n$  und Schalldämm-Maß  $R$  bei der Rohdecke

#### Interpretation:

- Die Verläufe von Schalldämm-Maß und Trittschallpegel weisen gemeinsame auffällige Frequenzen auf. Am deutlichsten wird dies bei 63Hz: ein starkes Ansteigen des Trittschallpegels und ein Einbruch des Schalldämm-Maßes fallen auf diese Frequenz. Gleichzeitig ist auch bei der Kurve des Beschleunigungspegels eine Spitze erkennbar.
- Die Kurven von Trittschallpegel und Beschleunigungspegel verlaufen tendenziell gleich.

## 9.2 LowBudget-Aufbau

Von dem *LowBudget*-Aufbau wird nicht erwartet, dass er eine Anforderungsstufe in Bezug auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel erreichen kann. Vielmehr soll aufgezeigt werden, in welchem Maße die Rohdecke durch einen relativ einfachen Aufbau schalltechnisch verbessert werden kann.

### 9.2.1 Luftschall

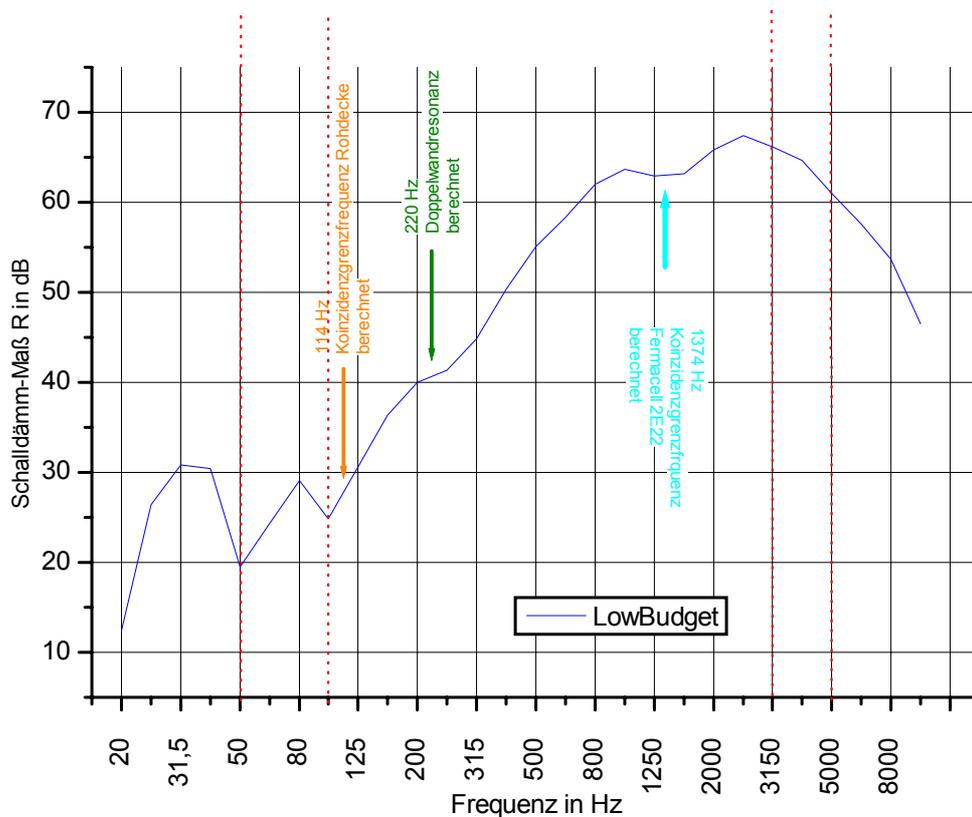


Abbildung 33 Schalldämm-Maß *LowBudget*

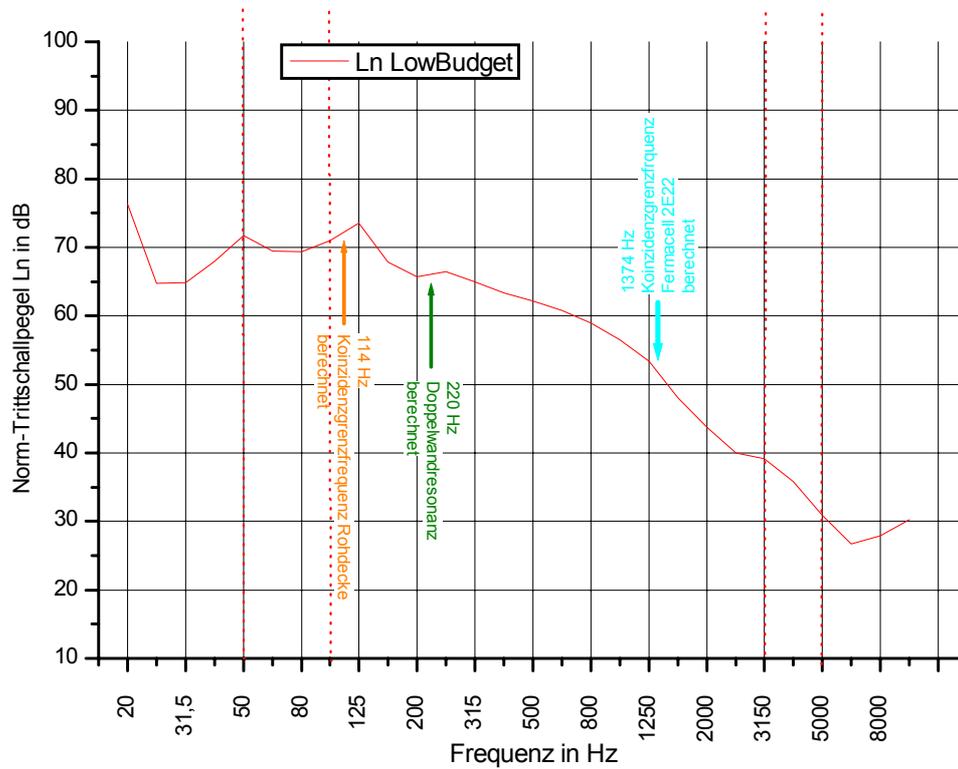
Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-1 (Angaben in dB):

$R_w$	C	$C_{50-3150}$	$C_{50-5000}$	$C_{100-5000}$	$C_{tr}$	$C_{tr,50-3150}$	$C_{tr,50-5000}$	$C_{tr,100-5000}$
52,8	-3,1	-4,1	-3,1	-2,2	-10,0	-13,5	-13,5	-10,0

**Interpretation:**

- Das Schalldämm-Maß hat sich durch den einfachen Aufbau *LowBudget* auf der LenoTec®-Rohdecke deutlich verbessert.
- Verbesserungen sind vor allem in mittleren und hohen Frequenzen entstanden (siehe auch Kapitel 9.6.1). Die Spektrumsanpassungswerte für die stärkere Gewichtung tiefer Frequenzen korrigieren das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  deshalb deutlich nach unten
- Ein typischer Einbruch von  $R$  in Folge der Doppelwandresonanz eines zweischaligen Bauteils ist nicht erkennbar. Bei der berechneten Resonanzfrequenz (220Hz) ist lediglich eine Stagnation des Anstiegs von  $R$  mit der Frequenz zu sehen.
- Bei der berechneten Koinzidenzgrenzfrequenz des Trockenestrichelementes bei etwa 1370 Hz ist ein kleiner Einbruch von  $R$  erkennbar

## 9.2.2 Trittschall

Abbildung 34 Norm-Trittschallpegel *LowBudget*

Einzahlwerte (gerundet) mit Flankenübertragung<sup>63</sup> (Angaben in dB):

$L_{n,w}$	$K^{64}$	$L'_{n,w}$
61	3	64

<sup>63</sup> nach [2], 7.1.6

<sup>64</sup> siehe auch Abbildung 4 S.40

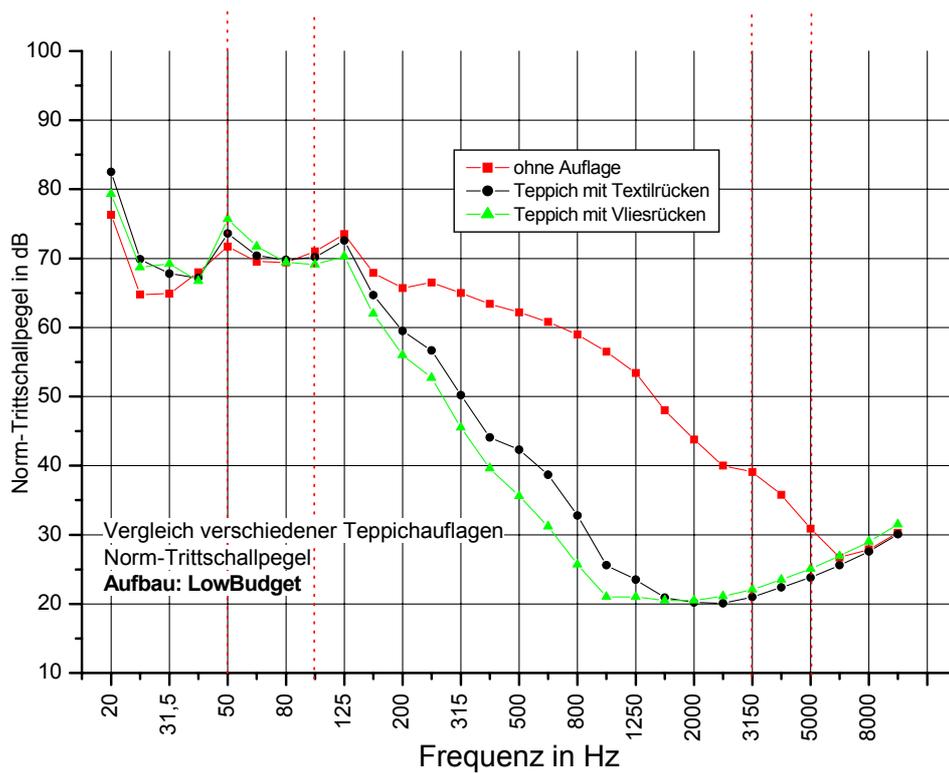


Abbildung 35 Norm-Trittschallpegel *LowBudget* mit verschiedenen Auflagen

**Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-2 mit verschiedenen Deckenauflagen**  
(Angaben in dB):

Deckenaufgabe <sup>65</sup> :	$L_{n,w}$	$C_1$	$C_{1,50-2500}$
ohne Auflage	61,4	1,3	3,2
Teppich mit Textilrücken	56,8	3,4	7,0
Teppich mit Vliesrücken	54,5	3,7	9,6

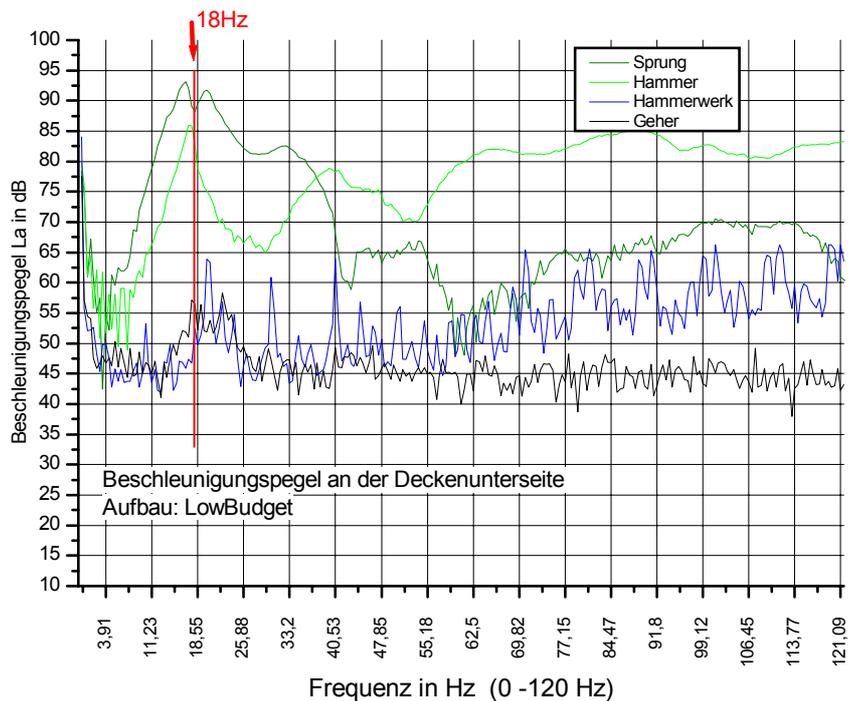
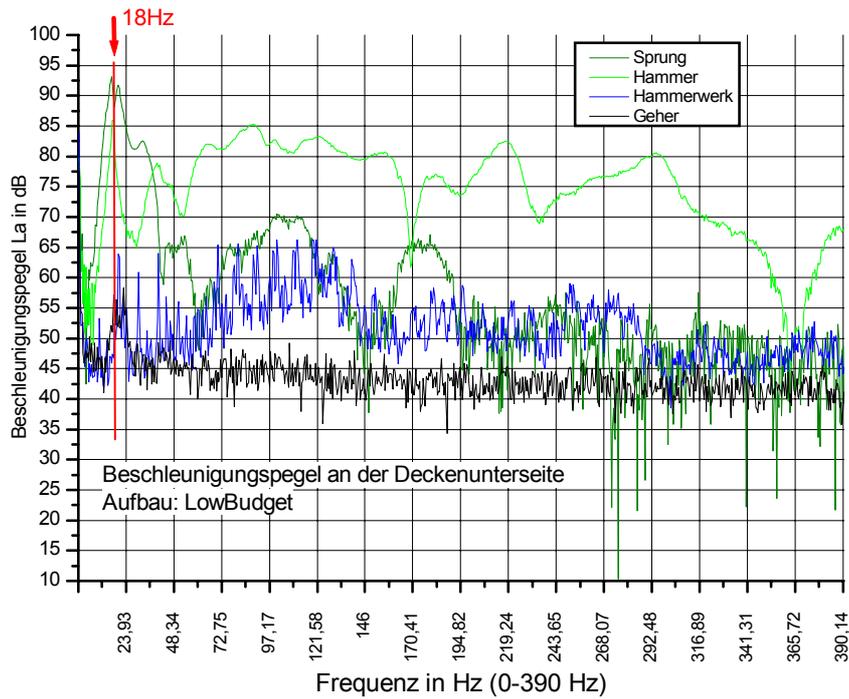
**Interpretation:**

- Verbesserungen (Reduzierung der Norm-Trittschallpegel) sind vor allem in mittleren und hohen Frequenzen entstanden.
- Eine ausgeprägte Spitze von  $L_n$  in Folge der Doppelwandresonanz des zweischaligen Bauteils (berechnet 220 Hz) ist nicht erkennbar.
- Die berechnete Koinzidenzgrenzfrequenz der Rohdecke bei 114 Hz könnte der Grund für die Spitze von  $L_n$  bei 125 Hz sein.

<sup>65</sup> weichfedernde Bodenbeläge dürfen nach DIN 4109 nicht zusammen mit Estrich angerechnet werden, sollen hier zum Vergleich aber trotzdem aufgeführt werden

- Der bewertete Norm-Trittschallpegel des Aufbaus liegt mit einem Prüfwert von 61dB (ohne Flankenübertragung) noch relativ weit über der ersten Anforderungsstufe von 56dB im eingebauten Zustand.
- Durch einen Teppich kann der Norm-Trittschallpegel zwischen 125Hz und 5000Hz deutlich gesenkt werden. In den tiefen Frequenzen hingegen hat ein Teppich nahezu keine Auswirkung auf den Trittschallpegel.
- Für sehr geringe Ansprüche an den Schallschutz ist der *LowBudget*-Aufbau zusammen mit einem guten Teppich eine günstige und einfach zu verlegende Variante.

## 9.2.3 Schwingungsmessungen an der Prüfdecke



**Abbildung 36** Schwingung Deckenunterseite *LowBudget* bei verschiedenartiger Anregung, Darstellung in unterschiedlichen Frequenzausschnitten

**Interpretation:**

- Die Eigenfrequenz (Grundfrequenz) sollte für diesen Aufbau bei etwa 18Hz liegen. Hier treten deutliche Spitzen bei allen Anregungsarten auf (nur bei der Anregung durch das Hammerwerk ist eine Abweichung von dieser Frequenz zu beobachten). Dieser Wert liegt zwischen den entsprechenden berechneten Werten für die Decke als Platte (24Hz) und für das Deckenelement als Balken (13Hz) nach Kapitel 7.3.1.
- Eine Überhöhung bei Frequenzen zwischen 50 und 150 Hz ist vor allem bei der Anregung durch das Hammerwerk erkennbar.

## 9.2.4 Vergleich der Messungen

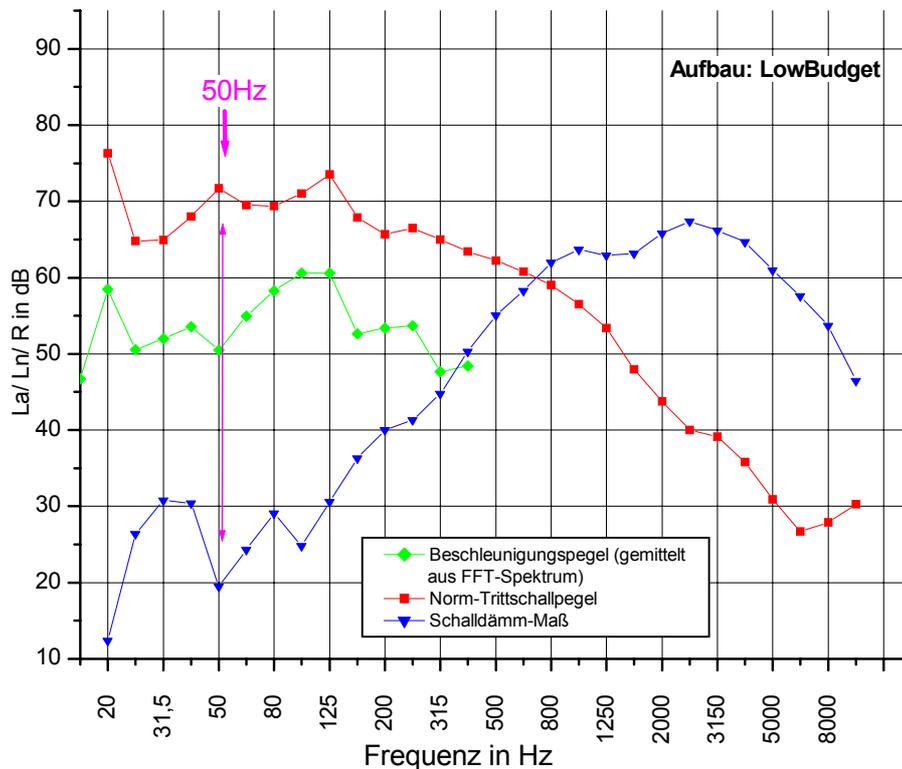


Abbildung 37 Vergleich der Spektralverläufe von Schalldämm-Maß  $R_w$ , Norm-Trittschallpegel  $L_n$  und Beschleunigungspegel  $L_a$  für den Aufbau *LowBudget*

### Interpretation:

- Charakteristische Spitzen und Einbrüche finden sich jeweils in umgekehrter Richtung in den Kurven von  $L_n$  und  $R$  wieder
- Die bereits beim FFT-Spektrum angedeutete Überhöhung des Beschleunigungspegels zwischen 50 und 150 Hz ist auch bei der Mittelung in Terzen noch erkennbar. Diese Überhöhung korreliert mit dem Verlauf von  $L_n$ , der hier ebenso eine Spitze aufweist (speziell bei 125Hz).

## 9.3 Aufbau *Fermacell*

Der *Fermacell*-Aufbau ist für die erste Anforderungsstufe ( $L'_{n,w} \leq 56 \text{ dB}$ ) vorgesehen. Der Vergleich mit dem *LowBudget*-Aufbau lässt ferner Aussagen über die Wirksamkeit der Beschwerung zu, da sich diese beiden Aufbauten nur durch die Beschwerung unterscheiden.

### 9.3.1 Luftschall

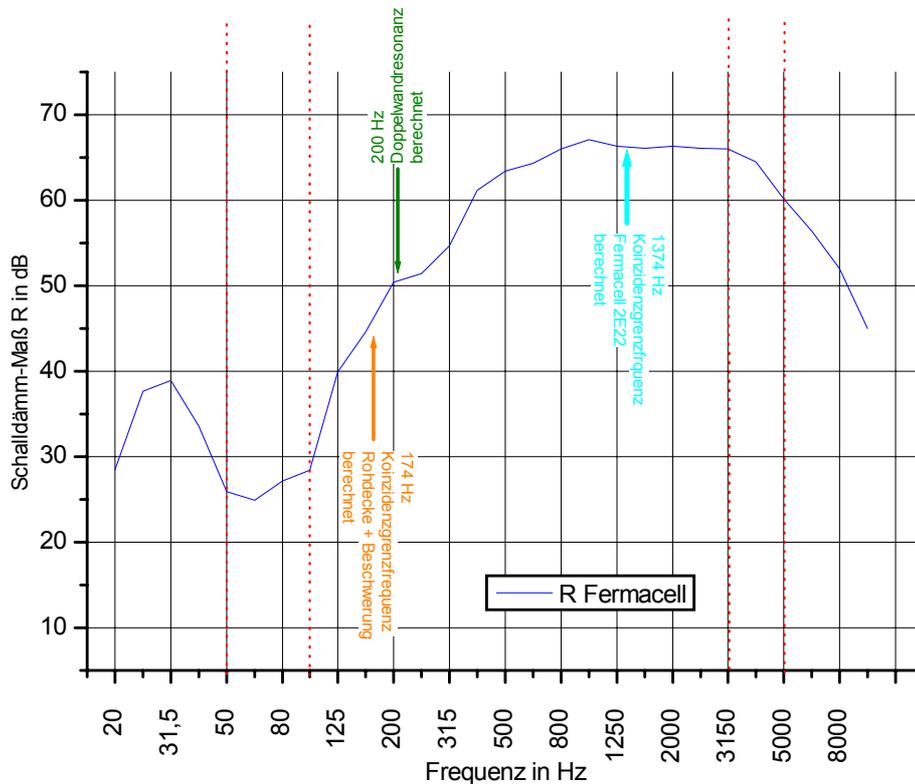


Abbildung 38 Schalldämm-Maß *Fermacell*

Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-1 (Angaben in dB):

$R_w$	C	$C_{50-3150}$	$C_{50-5000}$	$C_{100-5000}$	$C_{tr}$	$C_{tr,50-3150}$	$C_{tr,50-5000}$	$C_{tr,100-5000}$
61,7	-6,1	-8,5	-7,6	-5,3	-14,0	-19,2	-19,2	-14,0

**Interpretation:**

- Das bewertete Schalldämm-Maß sollte mit etwa 62dB bei diesem Aufbau bereits ausreichend für alle Anforderungen und Empfehlungen der DIN 4109 im Wohnbereich sein. Als Empfehlung für den erhöhten Schallschutz sind hier Bauwerte von mindestens 55dB gefordert. Nicht zu verifizieren ist auch bei den Luftschallmessungen der Einfluss der Flankenübertragung. Im Rahmen dieser Arbeit soll aber darauf nicht näher eingegangen werden, da ohnehin die Norm-Trittschallpegel problematisch und somit ausschlaggebend sind.
- Verbesserungen sind auch bei diesem Aufbau vor allem in mittleren und hohen Frequenzen entstanden. Die Spektrumsanpassungswerte für die stärkere Gewichtung tiefer Frequenzen korrigieren das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  deshalb deutlich nach unten
- Bei den berechneten charakteristischen Frequenzen sind auch bei diesem Aufbau keine deutlichen Einbrüche von  $R$  erkennbar. Bei 200 Hz (errechnete Doppelwandresonanzfrequenz) ist erneut eine Stagnation des Anstiegs von  $R$  zu sehen.

### 9.3.2 Trittschall

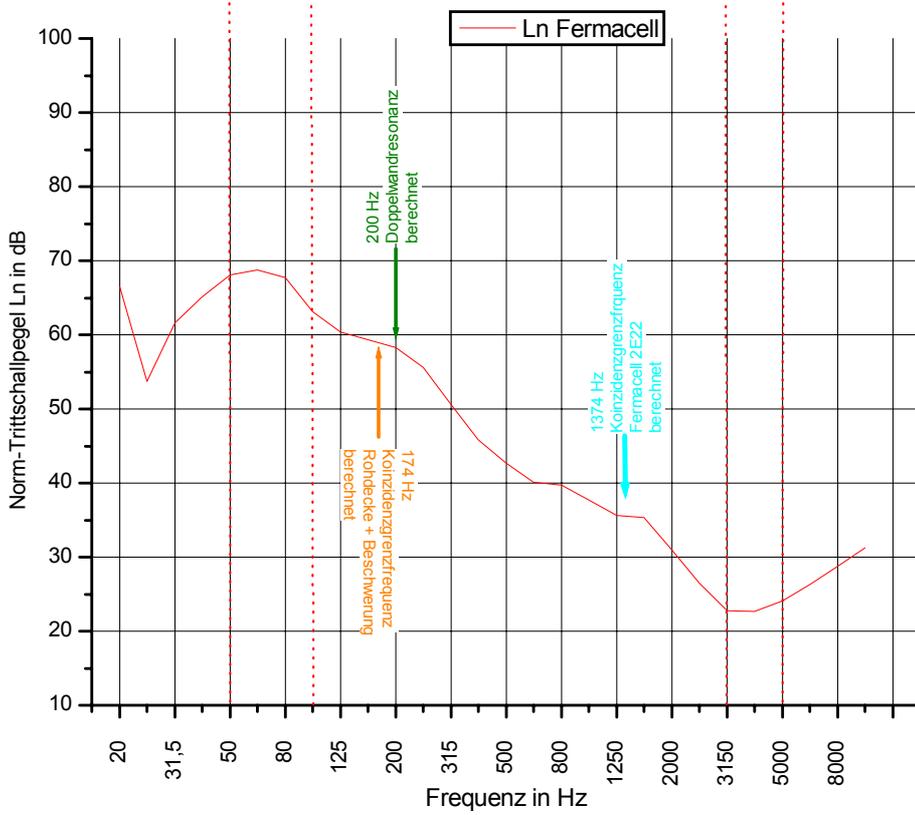


Abbildung 39 Norm-Trittschallpegel *Fermacell*

**Einzahlwerte (gerundet) mit Flankenübertragung<sup>66</sup> (Angaben in dB):**

$L_{n,w}$	$K^{67}$	$L'_{n,w}$
51	5	56

<sup>66</sup> nach [2], 7.1.6

<sup>67</sup> siehe auch Abbildung 4 S.40

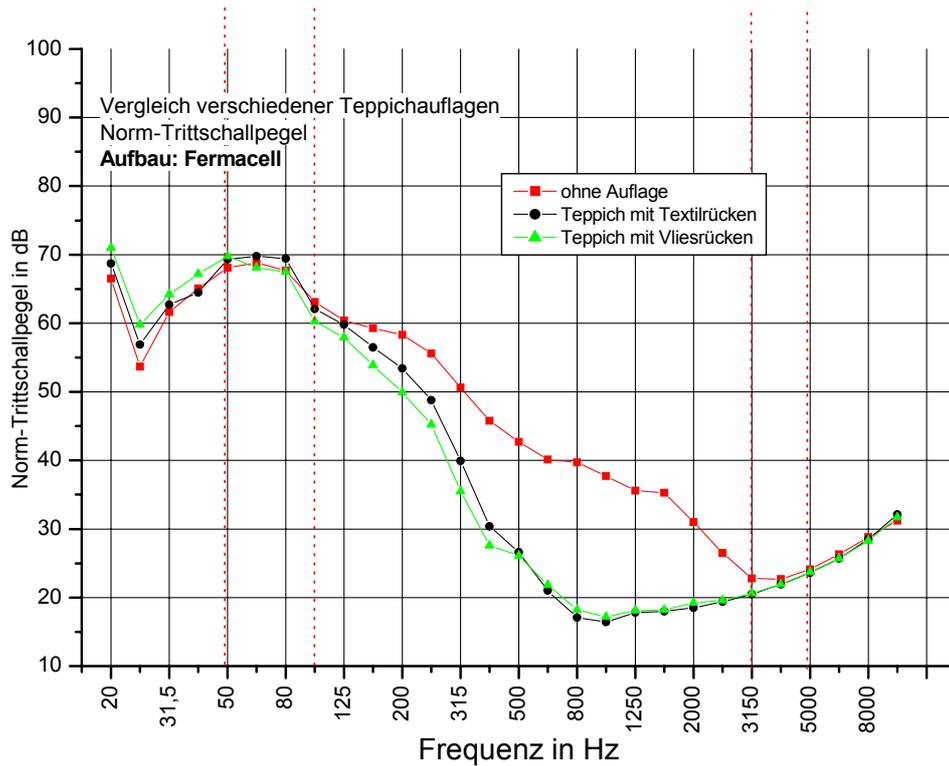


Abbildung 40 Norm-Trittschallpegel *Fermacell* mit verschiedenen Auflagen

**Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-2 mit verschiedenen Deckenauflagen**  
(Angaben in dB):

Deckenauflage <sup>68</sup> :	$L_{n,w}$	$C_1$	$C_{1,50-2500}$
ohne Auflage	51,0	1,2	8,0
Teppich mit Textilrücken	48,0	2,2	11,8
Teppich mit Vliesrücken	45,5	2,7	13,2

<sup>68</sup> weichfedernde Bodenbeläge dürfen nach DIN 4109 nicht zusammen mit Estrich angerechnet werden, sollen hier zum Vergleich aber trotzdem aufgeführt werden

**Interpretation:**

- Der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  des *Fermacell*-Aufbaus sollte die Empfehlung der DIN 4109 an den normalen Schallschutz für Decken im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich erfüllen. Darin sind für  $L'_{n,w}$  maximal 56dB (Bauwert) gefordert. Nach der hier verwendeten Berechnungsmethode für die Umrechnung des Prüfwertes  $L_{n,w}$  von 51dB auf den Bauwert  $L'_{n,w}$  werden diese 56dB genau erreicht. Wie bereits mehrfach erwähnt, ist allerdings ungewiss, ob diese Berechnungsmethode auf die Bauweise auf Basis von LenoTec® übertragbar ist.
- Durch einen Teppich ist auch beim *Fermacell*-Aufbau eine Verbesserung des Trittschallschutzes vor allem in mittleren Frequenzen bis etwa 3150 Hz erzielbar.

### 9.3.3 Schwingungsmessungen an der Prüfdecke

Die Schwingungsmessungen an der Prüfdecke werden an unterschiedlichen Messpositionen durchgeführt. Da sich bei der Auswertung dieses Aufbaus je nach Messposition unterschiedliche Frequenzverläufe ergeben haben, soll die Darstellung der Ergebnisse hier auf zwei Messpositionen ausgeweitet werden. Eine Mittelung über die Positionen ist in diesem Fall nicht sinnvoll, da dadurch eventuell auffällige Frequenzen verwischt werden können.

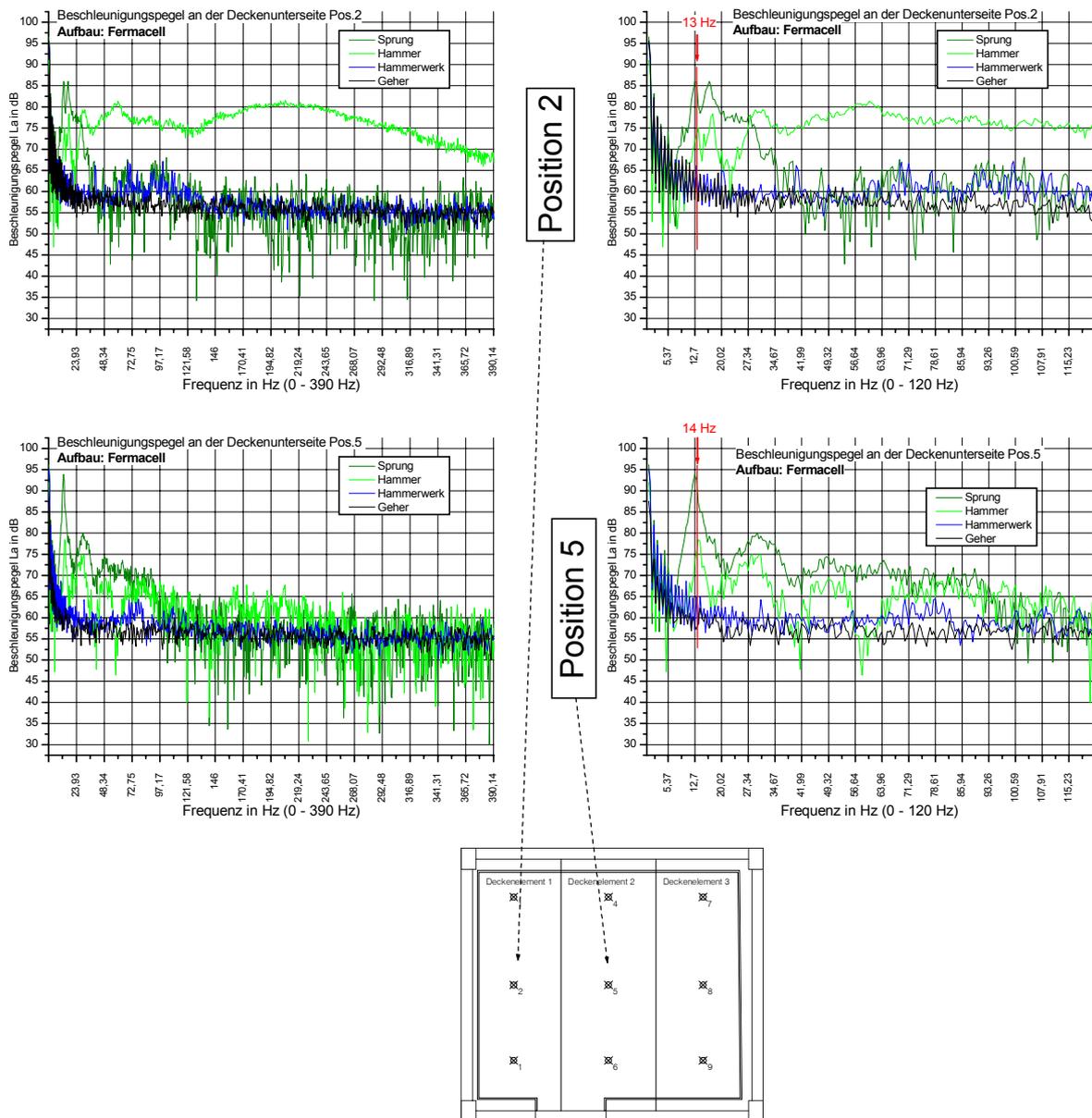
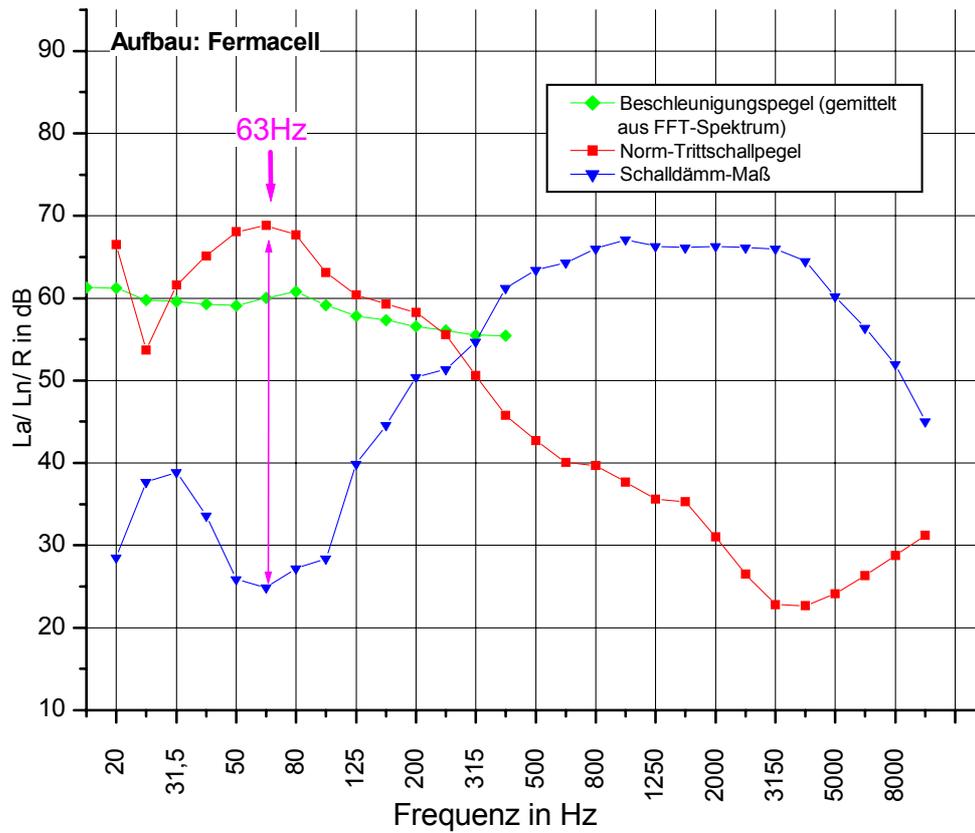


Abbildung 41 Schwingung bei verschiedenartiger Anregung Aufbau *Fermacell*, Vergleich der Messpositionen, Darstellung in unterschiedlichen Frequenzausschnitten

**Interpretation:**

- die Eigenfrequenz (Grundfrequenz) dieser Deckenkonstruktion liegt offensichtlich bei etwa 13 Hz. Bei den impulsartigen Anregungsformen Sprung und Hammer ist hier eine Spitze im Frequenzspektrum zu sehen. Bei den kontinuierlichen Anregungsmethoden Hammerwerk und Geher kann diese Spitze nicht so eindeutig herausgearbeitet werden.
- Bei der Messung am mittleren Element (Position 5) ist bei 13Hz eine sehr klare Erhöhung des Beschleunigungspegels zu erkennen. Diese Spitze kann bei der Messung an der Position 2 (Randelement) hingegen nicht mehr eindeutig zugeordnet werden, da hier in unmittelbarer Nähe eine zweite Spitze vorhanden ist. Diese zweite charakteristische Frequenz ist eventuell auf eine Schwingung innerhalb des einzelnen Elementes und somit auf dessen Auflagersituation zurückzuführen (dreiseitige Lagerung des Randelementes gegenüber zweiseitiger Lagerung des Mittelelementes)

## 9.3.4 Vergleich der Messungen



**Abbildung 42 Vergleich der Spektralverläufe von Schalldämm-Maß  $R_w$ , Norm-Trittschallpegel  $L_n$  und Beschleunigungspegel  $L_a$  für den Aufbau *Fermacell***

### Interpretation:

- Charakteristische Spitzen und Einbrüche finden sich jeweils in umgekehrter Richtung in den Kurven von  $L_n$  und  $R$  wieder
- Beim Verlauf des terzgemittelten FFT-Spektrums der Beschleunigungspegel kann fast keine tendenzielle Übereinstimmung mit dem Trittschallpegel mehr festgestellt werden. Dies liegt vor allem daran, dass bei der Anregung mit dem Hammerwerk an der Deckenunterseite nur noch geringe Beschleunigungspegel messbar sind (vergleiche Abbildung 41, blaue Kurven). Bei den hier gemessenen Beschleunigungspegeln handelt es sich also überwiegend um den Ruhepegel (Rauschen der Messkette).
- Ein Problem scheint für den Aufbau bei 63Hz zu liegen (Spitze bei  $L_n$ , Einbruch bei  $R_w$ ). Allerdings sind weder durch die Berechnungen noch durch die Schwingungsuntersuchungen an dieser Stelle auffällige Frequenzen erkennbar.

## 9.4 Aufbau *Best2*

Die Erwartung an den *Best2*-Aufbau ist, dass er mindestens die Anforderungen an den normalen Schallschutz einer Wohnungstrenndecke erfüllt ( $L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$ ). Bei besseren Werten kann überlegt werden, ob eine einfachere Variante für dieses Ziel ausreichend sein kann.

### 9.4.1 Luftschall

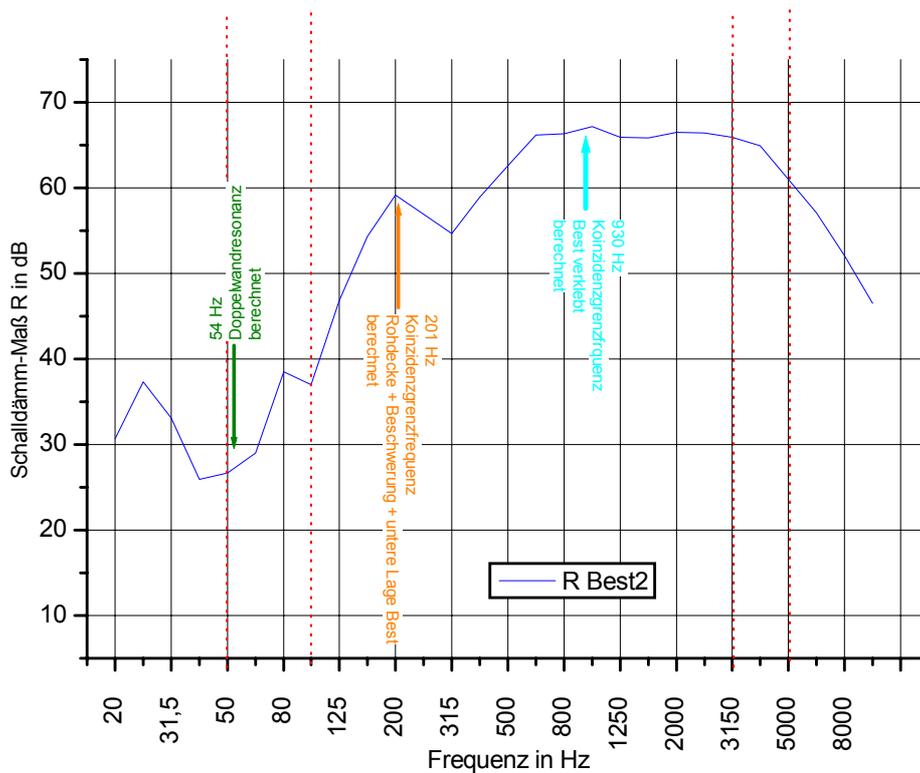


Abbildung 43 Schalldämm-Maß *Best2*

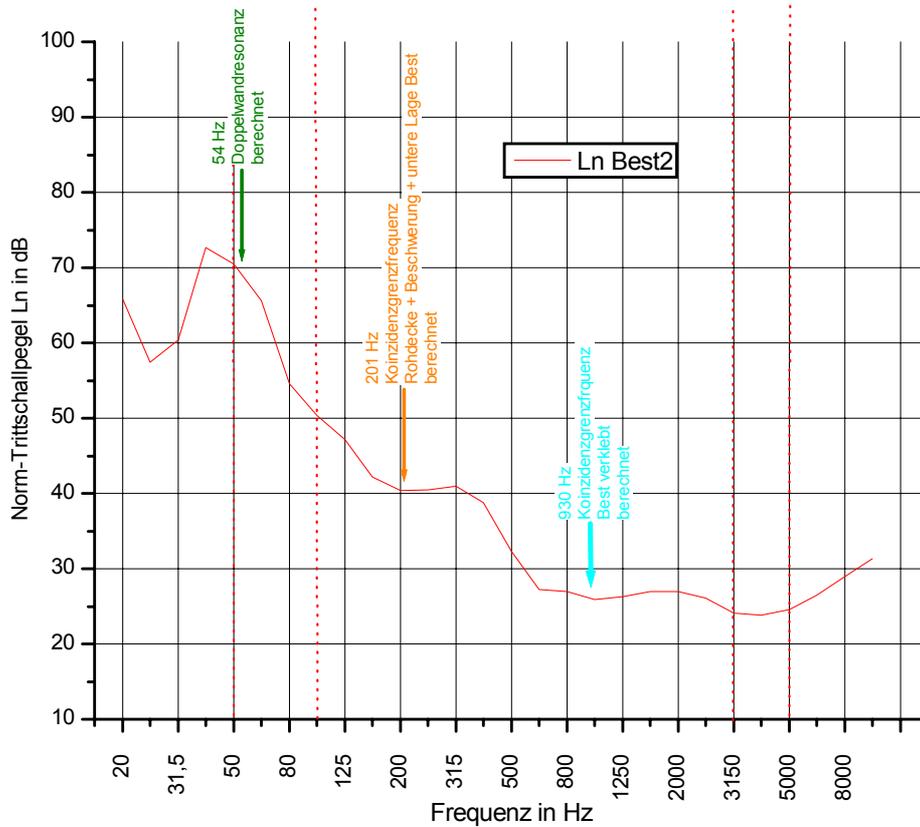
Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-1 (Angaben in dB):

$R_w$	C	$C_{50-3150}$	$C_{50-5000}$	$C_{100-5000}$	$C_{tr}$	$C_{tr,50-3150}$	$C_{tr,50-5000}$	$C_{tr,100-5000}$
64,2	-2,7	-5,3	-4,8	-2,5	-8,6	-16,5	-16,5	-8,7

### **Interpretation:**

- Die berechneten charakteristischen Frequenzen sind recht gut mit dem Kurvenverlauf vereinbar. Die Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems liegt im Bereich eines Einbruchs von R. Nach der Koinzidenzgrenzfrequenz der Rohdecke (inkl. Beschwerung) folgt ein Rückgang von R. Auch nach der berechneten Koinzidenzgrenzfrequenz der Estrichplatte (930Hz) ist ein leichter Einbruch von R erkennbar. Unerklärt bleibt der Einbruch des Schalldämm-Maßes bei 100 Hz.
- Der Einzahlwert sollte den Empfehlungen für den erhöhten Schallschutz für Decken im eigenen und zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen nach DIN 4109 gerecht werden.
- Ein noch besseres Resultat verhindert der Einbruch der Schalldämmung bei 50Hz. Die Spektrumsanpassungswerte (vor allem die für Berücksichtigung von Frequenzen unter 100Hz) korrigieren aus diesem Grund das Schalldämm-Maß stark nach unten.

## 9.4.2 Trittschall

Abbildung 44 Norm-Trittschallpegel *Best2*

Einzahlwerte (gerundet) mit Flankenübertragung<sup>69</sup> (Angaben in dB):

$L_{n,w}$	$K^{70}$	$L'_{n,w}$
38	7	45

<sup>69</sup> nach [2], 7.1.6

<sup>70</sup> siehe auch Abbildung 4 S.40

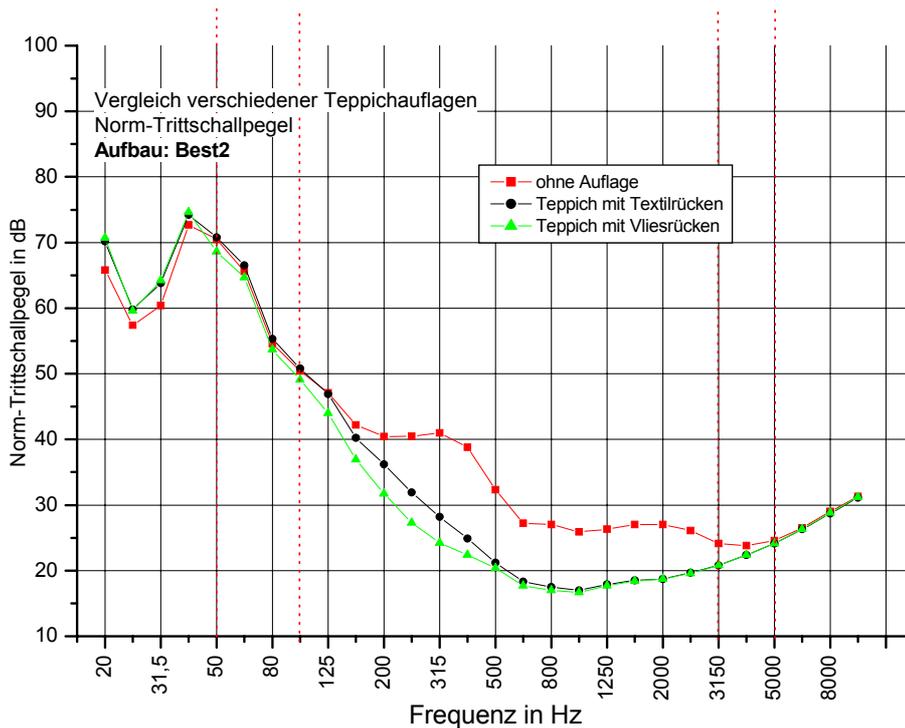


Abbildung 45 Norm-Trittschallpegel Best2 mit verschiedenen Auflagen

**Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-2 mit verschiedenen Deckenauflagen**  
(Angaben in dB):

Deckenaufgabe <sup>71</sup> :	$L_{n,w}$	$C_1$	$C_{1,50-2500}$
ohne Auflage	37,8	0,7	19,1
Teppich mit Textilrücken	35,3	2,4	22,0
Teppich mit Vliesrücken	33,7	1,9	21,5

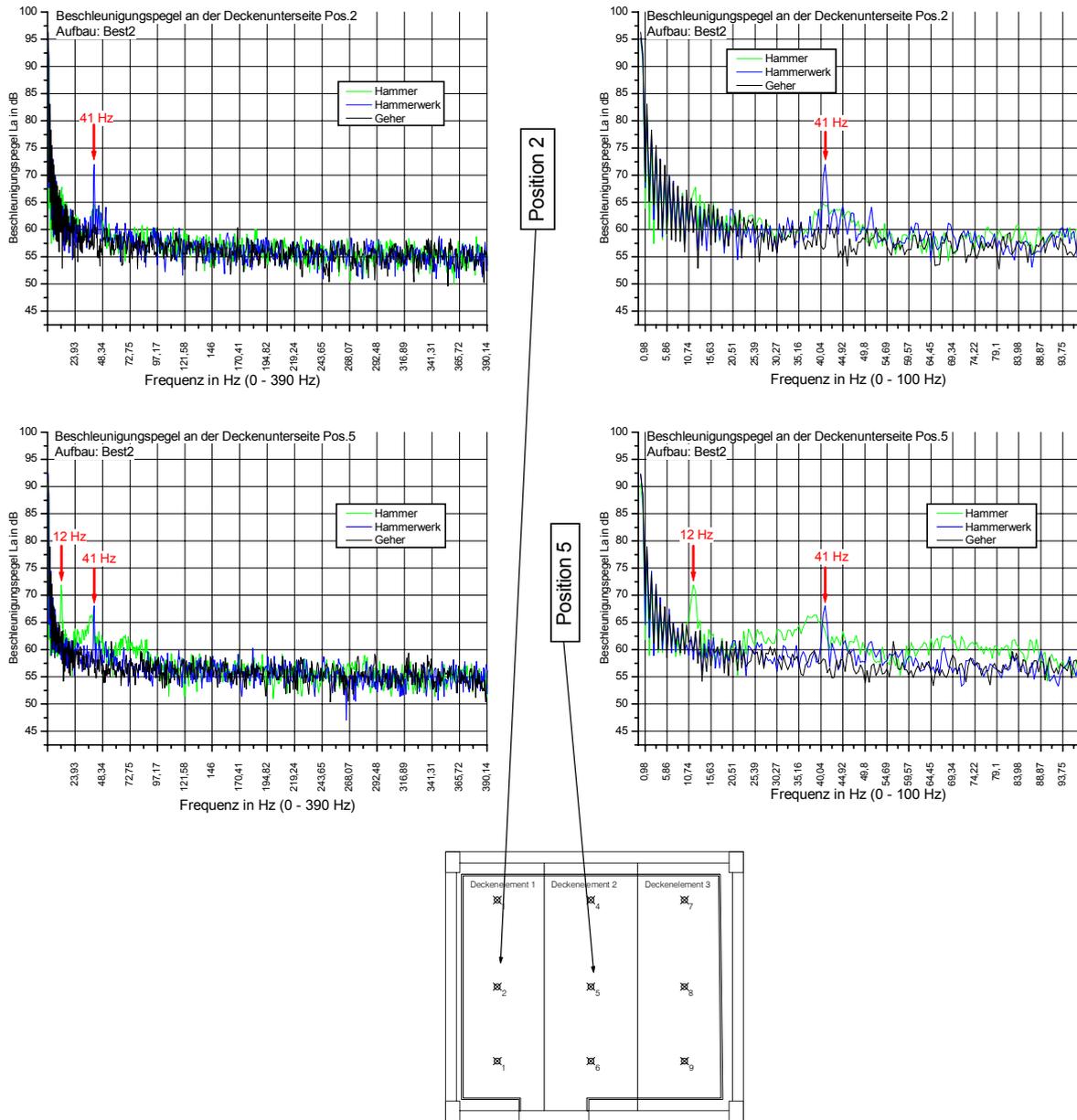
**Interpretation:**

- Der ermittelte bewertete Norm-Trittschallpegel ist mit einem Prüfwert von 38dB sehr gut für eine trockene Deckenkonstruktion ohne abgehängte Unterdecke. Auch die stärkere Gewichtung der tiefen Frequenzen durch den Spektrumsanpassungswert  $C_1$  ändert nur wenig an dem guten Wert. Die Probleme des Aufbaus liegen erst bei etwa 50Hz und somit unterhalb des bauakustisch bewerteten Bereichs. Da aber ab 100Hz bis zu 40Hz ein sehr steiler Anstieg des Trittschallpegels zu verzeichnen ist, ist bei Ausweitung des bewerteten Frequenzbereichs nach unten bis 50Hz ( $C_{1,50-2500}$ ) mit fast 20dB eine sehr hohe Korrektur vorzunehmen.

<sup>71</sup> weichfedernde Bodenbeläge dürfen nach DIN 4109 nicht zusammen mit Estrich angerechnet werden, sollen hier zum Vergleich aber trotzdem aufgeführt werden

- Der Einzahlwert sollte den Empfehlungen für den erhöhten Schallschutz für Decken im eigenen und zwischen fremden Wohn- und Arbeitsbereichen nach DIN 4109 gerecht werden. Der berechnete Bauwert  $L'_{n,w}$  liegt mit 45dB unter dem hier geforderten Maximalwert von 46dB.
- Das Problem des Aufbaus scheint die Resonanz des Masse-Feder-Masse-Systems bei einer berechneten Frequenz von etwa 54Hz zu sein.
- Auch oberhalb der berechneten Koinzidenzgrenzfrequenzen von Rohdecke und Estrichplatte ist jeweils eine Stagnation der Trittschallpegel erkennbar.
- Ein Teppich auf dem Aufbau führt in mittleren Frequenzen zu einer zusätzlichen Verbesserung (Reduzierung) des Norm-Trittschallpegels. Der Kurvenverlauf wird durch die Teppichauflage geglättet. Die anscheinend durch Spuranpassungseffekte bei etwa 200Hz unterbrochene Abnahme des Trittschallpegels mit zunehmender Frequenz kann durch einen Teppich offensichtlich umgangen werden.

### 9.4.3 Schwingungsmessungen an der Prüfdecke



**Abbildung 46** Schwingung bei verschiedenartiger Anregung Aufbau Best2, Vergleich der Messpositionen, Darstellung in unterschiedlichen Frequenzausschnitten

**Interpretation:**

- Bei Messposition 2 ist für diesen Aufbau nur bei der Anregung durch das Hammerwerk noch ein Ausschlag zu sehen. Dieser ist sehr scharf abgegrenzt und liegt bei 41Hz. Diese Spitze dürfte auf die Masse-Feder-Masse-Resonanz zurückzuführen sein. Der berechnete Wert für die Resonanzfrequenz liegt zwar bei 54Hz, dieser kann aber durch fehlerbehaftete Eingangswerte von der tatsächlichen Frequenz abweichen. Beispielsweise ist die dynamische Steifigkeit  $s'$  der verwendeten Trittschalldämmung vom Hersteller mit „ $<7\text{MN/m}^3$ “ angegeben. Setzt man statt der  $7\text{MN/m}^3$  für  $s'=5\text{MN/m}^3$  an, berechnet sich die Resonanzfrequenz zu 45 Hz (Berechnung nach Gleichung 17).
- Zusätzlich zu der Spitze bei 41Hz kann bei Messung an Position 5 noch eine weitere herausragende Frequenz bei der Anregung mit dem Hammer beobachtet werden. Diese liegt bei 12Hz. Es sollte sich hierbei um die Grundfrequenz der Eigenschwingung der Deckenkonstruktion handeln (berechnet mit 15Hz für die Decke als vierseitig aufgelagerte Platte bzw. mit 8Hz für ein Deckenelement als Balken).

## 9.4.4 Vergleich der Messungen

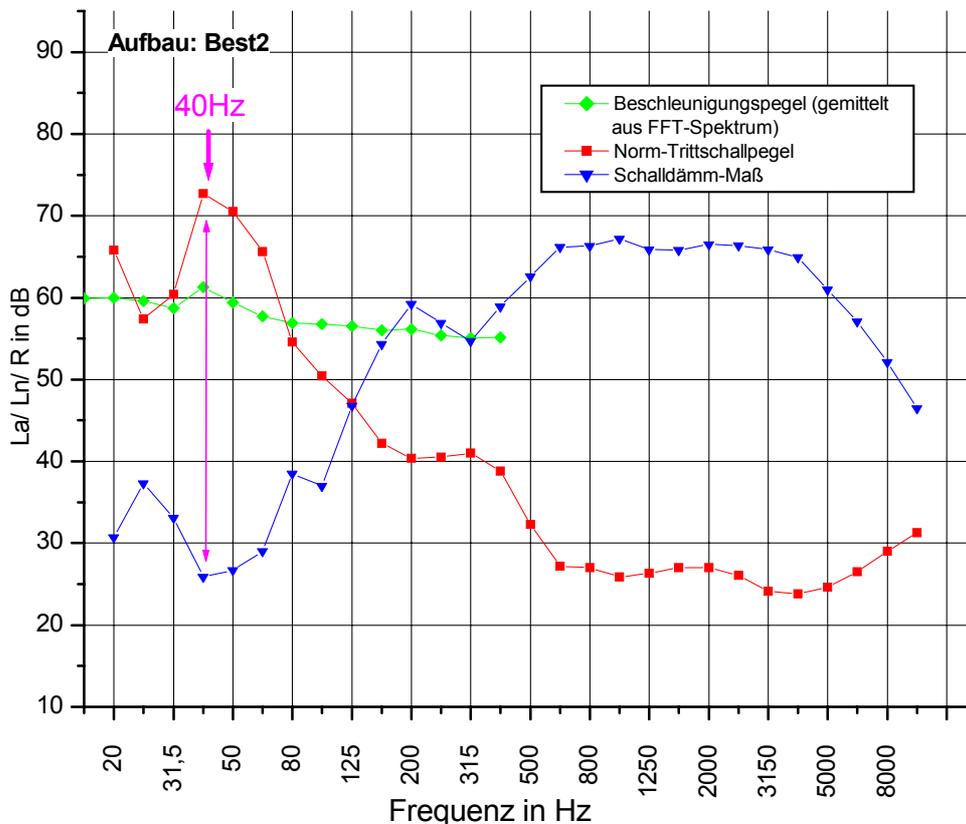


Abbildung 47 Vergleich der Spektralverläufe von Schalldämm-Maß  $R_w$ , Norm-Trittschallpegel  $L_n$  und Beschleunigungspegel  $L_a$  für den Aufbau *Best2*

#### Interpretation:

- Charakteristische Spitzen und Einbrüche finden sich jeweils in umgekehrter Richtung in den Kurven von  $L_n$  und  $R$  wieder
- Beim Verlauf des terzgemittelten FFT-Spektrums der Beschleunigungspegel kann fast keine tendenzielle Übereinstimmung mit dem Trittschallpegel mehr festgestellt werden. Dies liegt vor allem daran, dass bei der Anregung mit dem Hammerwerk an der Deckenunterseite nur noch geringe Beschleunigungspegel messbar sind (vergleiche Abbildung 46, blaue Kurven). Bei den hier gemessenen Beschleunigungspegeln handelt es sich überwiegend um den Ruhepegel (Rauschen der Messkette).
- Die Spitze des Beschleunigungspegels bei 41Hz ist auch bei der Mittelung in Terzen beim zugehörigen Terzband 40Hz sichtbar. Der Zusammenhang

zwischen Anstieg des Beschleunigungspegels an der Deckenunterseite und dem Anstieg des Trittschallpegels bzw. dem Einbruch des Schalldämmmaßes ist hier deutlich erkennbar.

## 9.5 Aufbau Best 1

Nach dem guten Abschneiden des *Best2*-Aufbaus, stellt der *Best1*-Aufbau die abgespeckte Variante dar. Nach Möglichkeit sollen die Anforderungen an den normalen Schallschutz einer Wohnungstrennendecke mit diesem Aufbau erreicht werden ( $L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$ ).

### 9.5.1 Luftschall

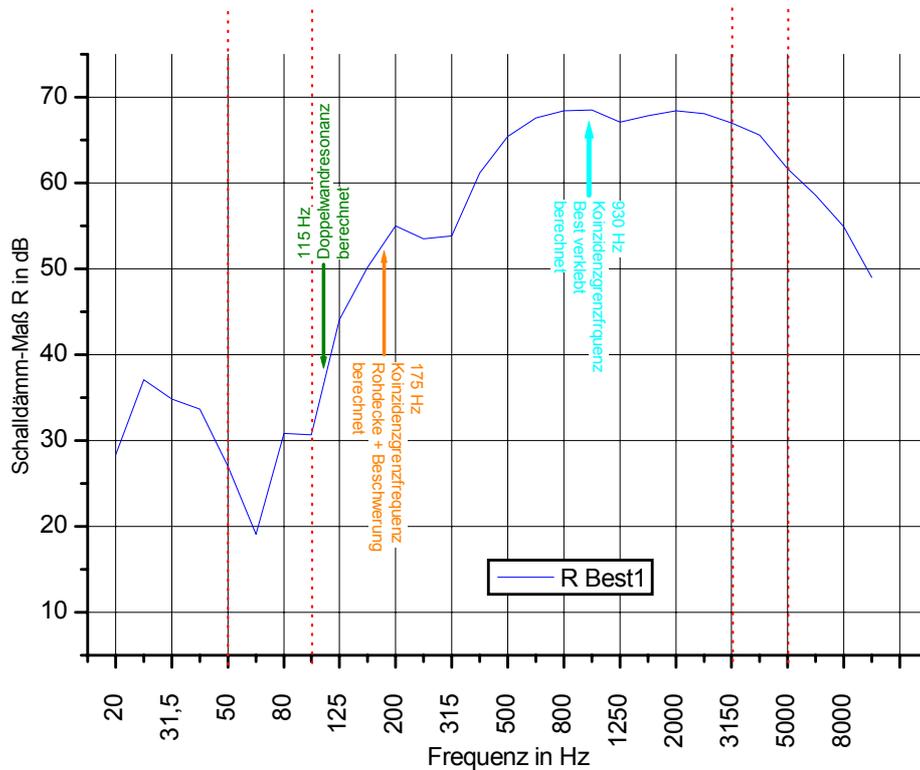


Abbildung 48 Schalldämm-Maß *Best1*

**Einzahlwerte** (Angaben in dB):

$R_w$	C	$C_{50-3150}$	$C_{50-5000}$	$C_{100-5000}$	$C_{tr}$	$C_{tr,50-3150}$	$C_{tr,50-5000}$	$C_{tr,100-5000}$
63,9	-5,8	-11,1	-10,2	-5,2	-13,7	-23,2	-23,2	-13,7

### Interpretation:

- Die Schalldämm-Kurve des *Best1*-Aufbaus ist geprägt durch einen deutlichen Einbruch bei 63Hz.
- Bei der berechneten Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse-Systems (115Hz) ist kein typischer Einbruch erkennbar (lediglich bei 100Hz eine Stagnation des Anstiegs von R mit der Frequenz).
- Etwa im Bereich der berechneten Koinzidenzgrenzfrequenzen (175Hz für Rohdecke, 930Hz für Estrichplatte) ist jeweils ein mehr oder weniger ausgeprägter Einbruch von R feststellbar.
- Das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  sollte die Empfehlungen an einen erhöhten Schallschutz nach DIN 4109 erfüllen. Eine Bewertung mit den Spektrumsanpassungswerten erfordert eine hohe Korrektur des Schalldämm-Maßes nach unten. Problematisch sind also vor allem tiefe Frequenzen, wie auch aus dem steilen Einbruch des Schalldämm-Maßes zu 63Hz hin ersichtlich wird.

### 9.5.2 Trittschall

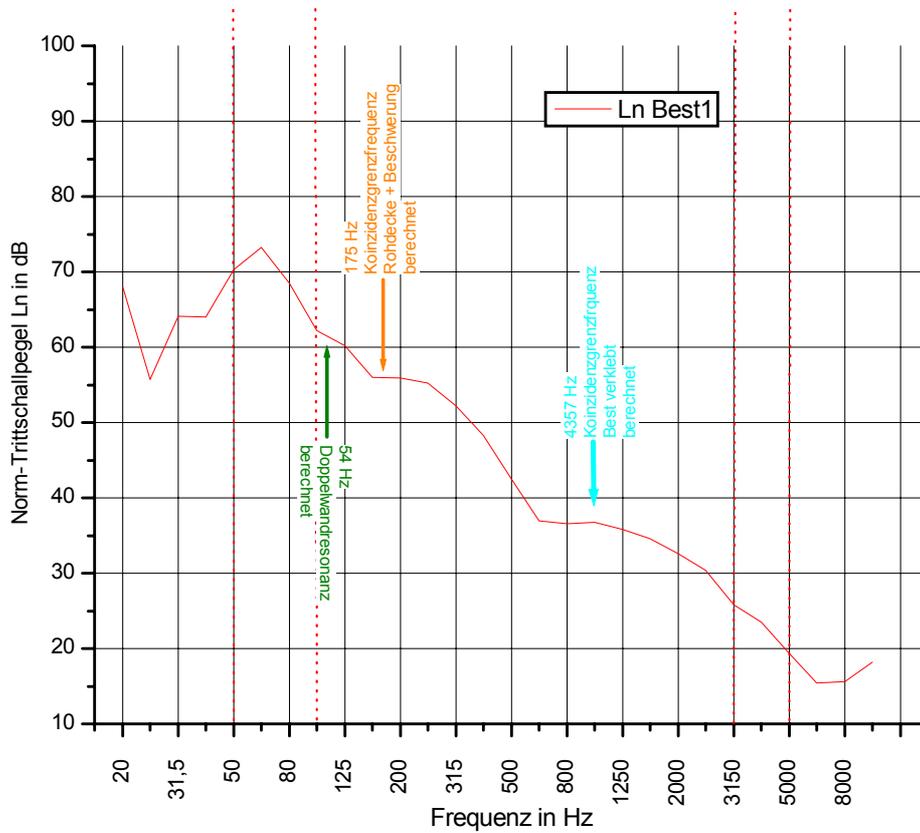


Abbildung 49 Norm-Trittschallpegel *Best1*

**Einzahlwerte (gerundet) mit Flankenübertragung<sup>72</sup> (Angaben in dB):**

$L_{n,w}$	$K^{73}$	$L'_{n,w}$
50	5	55

<sup>72</sup> nach [2], 7.1.6

<sup>73</sup> siehe auch Abbildung 4 S.40

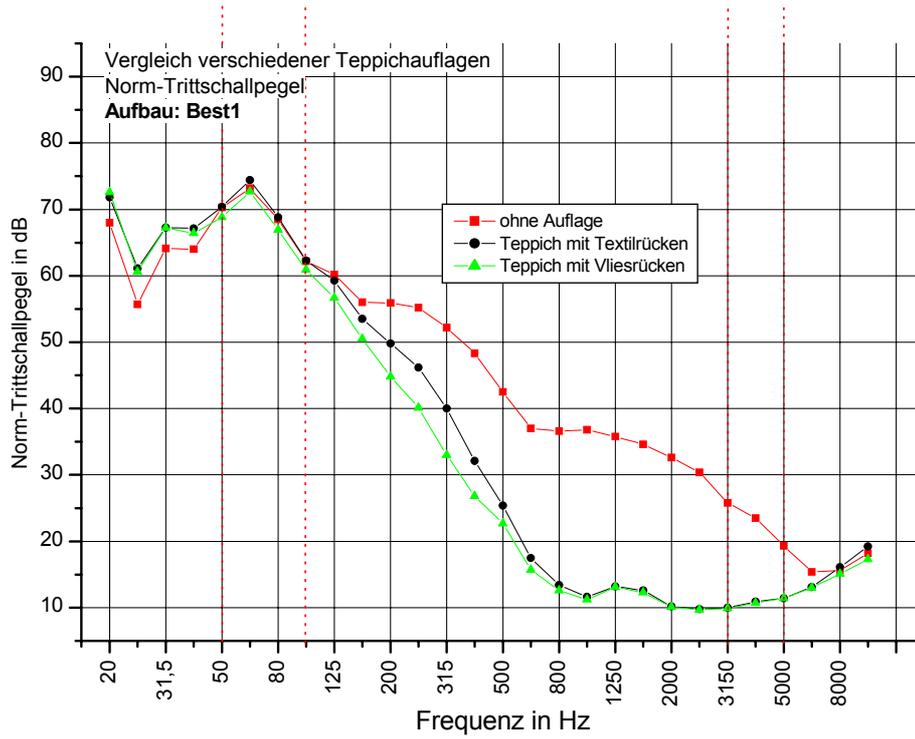


Abbildung 50 Norm-Trittschallpegel *Best1* mit verschiedenen Auflagen

**Einzahlwerte** (Angaben in dB):

Deckenaufgabe <sup>74</sup> :	$L_{n,w}$	$C_1$	$C_{1,50-2500}$
ohne Auflage	49,7	1,4	11,6
Teppich mit Textilrücken	46,3	3,4	15,6
Teppich mit Vliesrücken	43,4	4,3	16,8

<sup>74</sup> weichfedernde Bodenbeläge dürfen nach DIN 4109 nicht zusammen mit Estrich angerechnet werden, sollen hier zum Vergleich aber trotzdem aufgeführt werden

**Interpretation:**

- Der bewertete Norm-Trittschallpegel mit Flankenübertragung  $L'_{n,w}$  errechnet sich zu 55dB und erreicht somit nicht die Anforderungen an eine Wohnungstrenndecke (gefordert sind hier 53dB). Vielmehr ist der *Best1*-Aufbau als Variante für eine Decke im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich mit der Empfehlung an normalen Schallschutz ( $L'_{n,w} \leq 56\text{dB}$ ) geeignet.
- Sehr auffällig ist auch bei der Trittschallkurve die ausgeprägte Spitze bei 63Hz. Die Ursache dafür ist aus den Berechnungen der charakteristischen Frequenzen nicht erklärbar.
- Die berechneten Koinzidenzgrenzfrequenzen liegen jeweils auf einem Plateau (gebremste Abnahme) der Kurve von  $L_n$

## 9.5.3 Schwingungsmessungen an der Prüfdecke

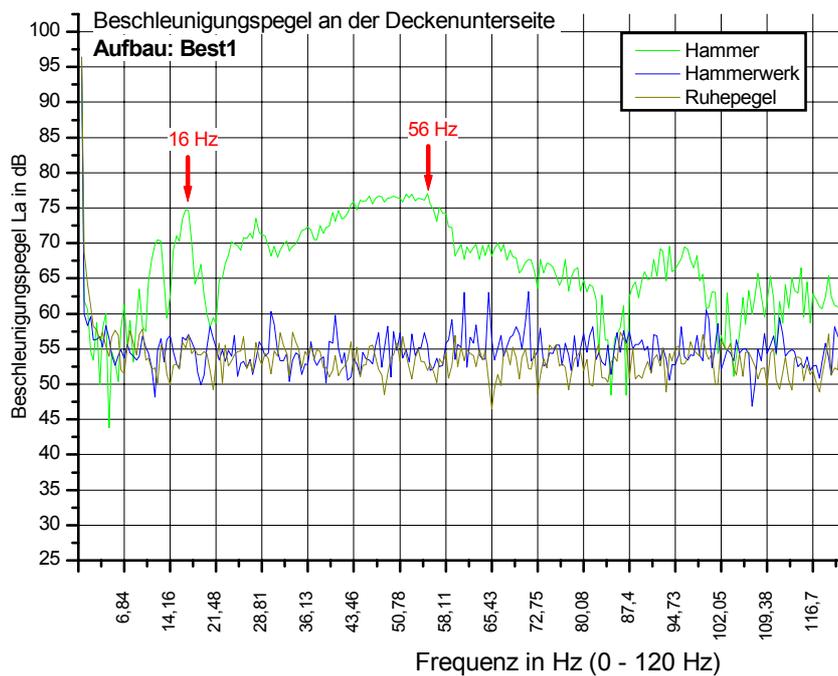
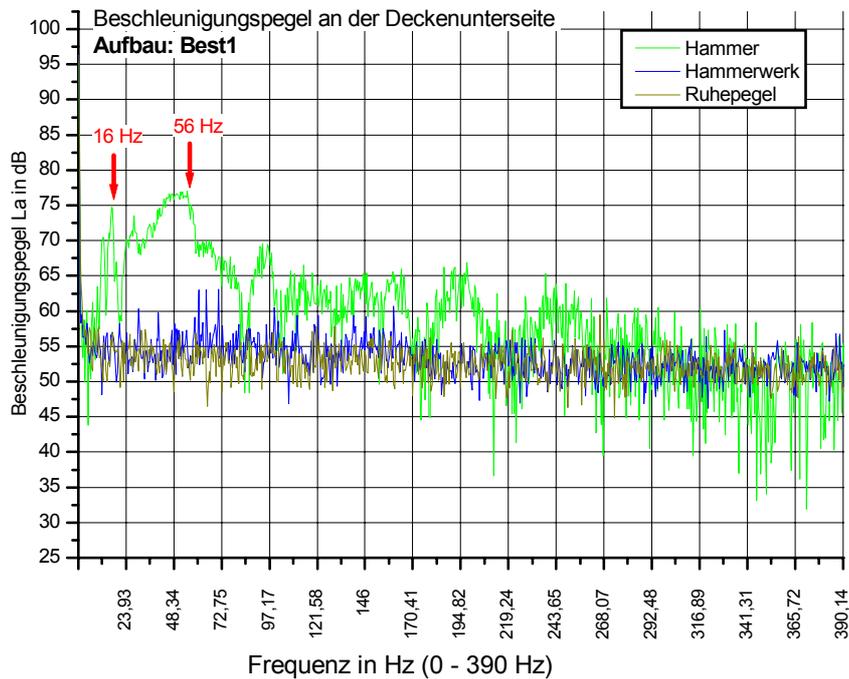
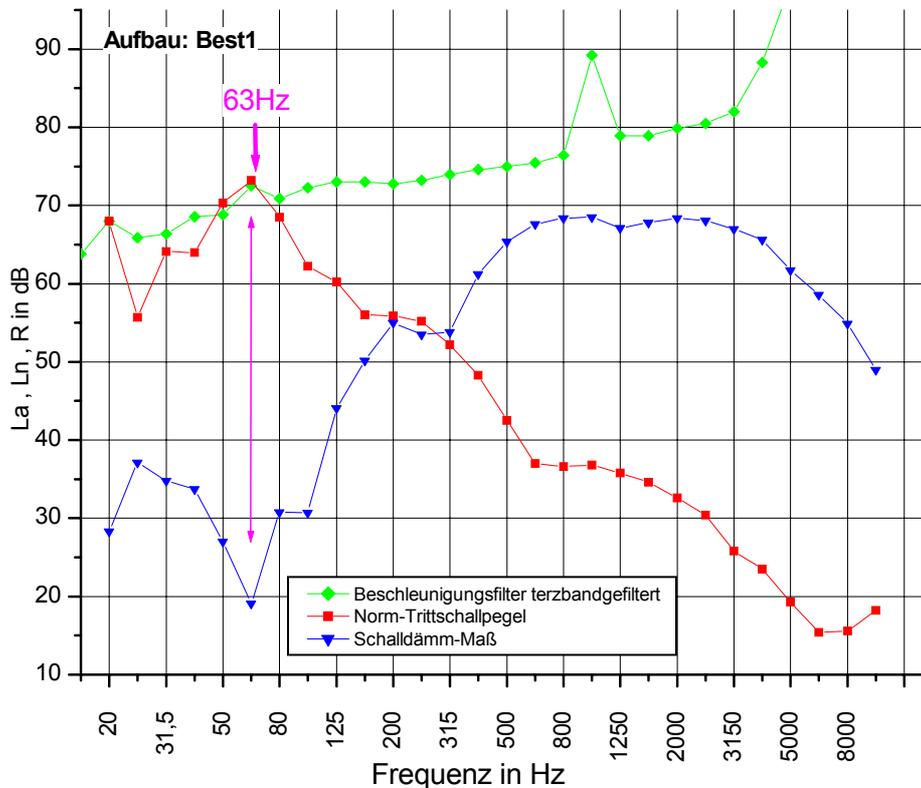


Abbildung 51 Schwingung bei verschiedenartiger Anregung Aufbau Best2, Darstellung in unterschiedlichen Frequenzausschnitten

**Interpretation:**

- Beim *Best1*-Aufbau sind für die Anregung mit dem Hammer mehrere herausragende Frequenzbereiche zu erkennen (siehe Abbildung 51). Der auffälligste liegt zwischen 30 und 80 Hz. Daneben ist eine relativ scharf abgegrenzte Spitze bei 13 Hz zu sehen. Bei dieser dürfte es sich um die Eigenfrequenz der Grundschiwingung handeln. Die Berechnung dafür hat 16Hz für die Decke als vierseitig aufgelagerte Platte bzw. 9Hz für ein Deckenelement als Balken ergeben (siehe Kapitel 7.3.4).
- Die Kurve für die Anregung mit dem Hammerwerk lässt sehr wenige Rückschlüsse zu. Eine leichte Erhöhung des Beschleunigungspegels (im Vergleich zum Ruhepegel) tritt zwischen 55 und 70 Hz auf. In den anderen Bereichen verläuft der gemessene Pegel auf gleichem Niveau wie der Ruhepegel (bei der Messung an allen Positionen).

## 9.5.4 Vergleich der Messungen



**Abbildung 52** Vergleich der Spektralverläufe von Schalldämm-Maß  $R_w$ , Norm-Trittschallpegel  $L_n$  und Beschleunigungspegel  $L_a$  für den Aufbau *Best1*

### Interpretation:

- Charakteristische Spitzen und Einbrüche finden sich jeweils in umgekehrter Richtung in den Kurven von  $L_n$  und  $R$  wieder
- Beim Verlauf des terzgefilterten Spektrums der Beschleunigungspegel kann fast keine tendenzielle Übereinstimmung mit dem Trittschallpegel mehr festgestellt werden. Dies liegt vor allem daran, dass bei der Anregung mit dem Hammerwerk an der Deckenunterseite nur noch geringe Beschleunigungspegel messbar sind (vergleiche Abbildung 51, blaue Kurve). Eine Ausnahme bildet die Spitze des Trittschallpegels (bzw. der Einbruch des Schalldämm-Maßes) bei 63 Hz. Hier kann auch beim Verlauf des Beschleunigungspegels eine Spitze beobachtet werden.

- Die Spitze des Beschleunigungspegels bei 1000 Hz ist mit der Koinzidenzfrequenz der Estrichplatte alleine nicht zu erklären. Möglicherweise liegt hier ein Messfehler vor.

## 9.6 Vergleiche der Aufbauten

### 9.6.1 Luftschall

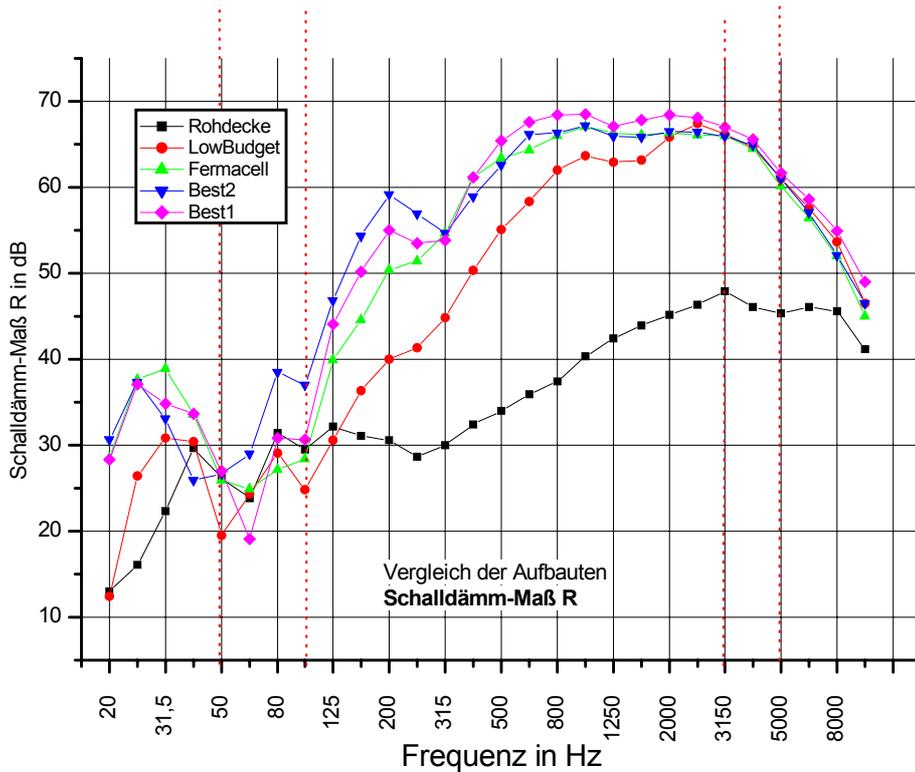


Abbildung 53 Schalldämm-Maß R der Deckenaufbauten

Die Abstufung des Schalldämm-Maßes mit den Aufbauten ist vor allem im mittleren Frequenzbereich gut zu sehen (Abbildung 53). Auch am Einzahlwert ist die schrittweise Verbesserung des Schalldämm-Maßes ablesbar (Abbildung 54).

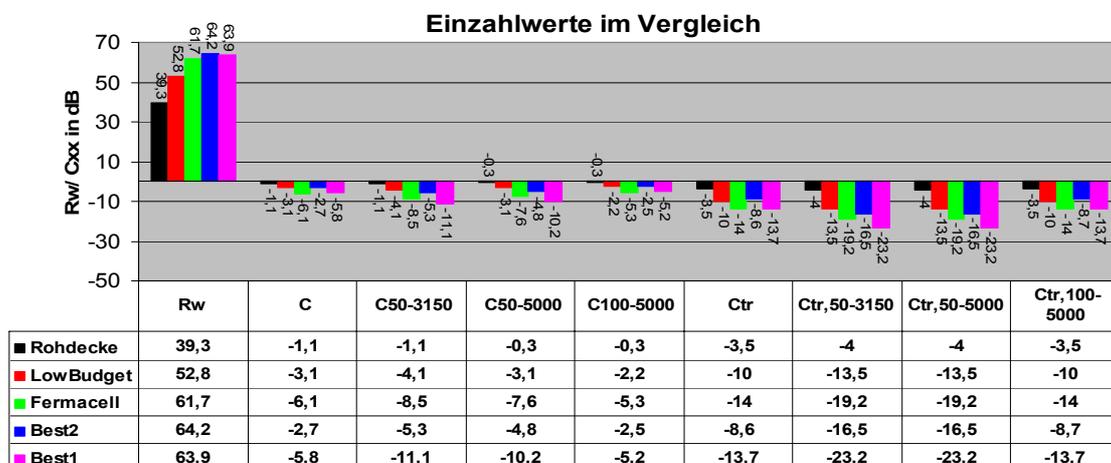


Abbildung 54 Einzahlwerte der Luftschallmessungen nach DIN EN ISO 717-1 im Vergleich

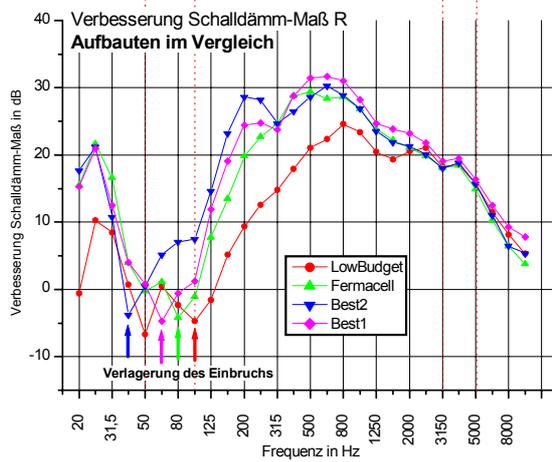
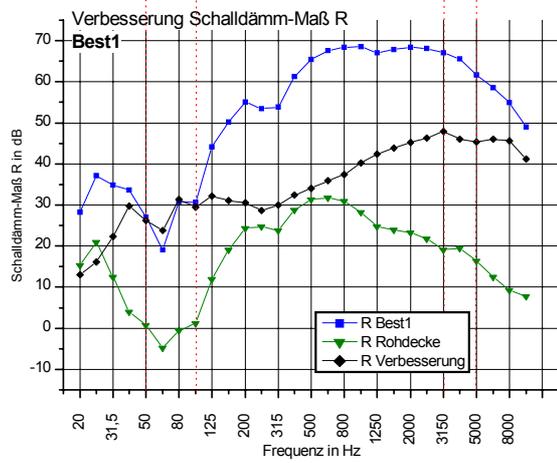
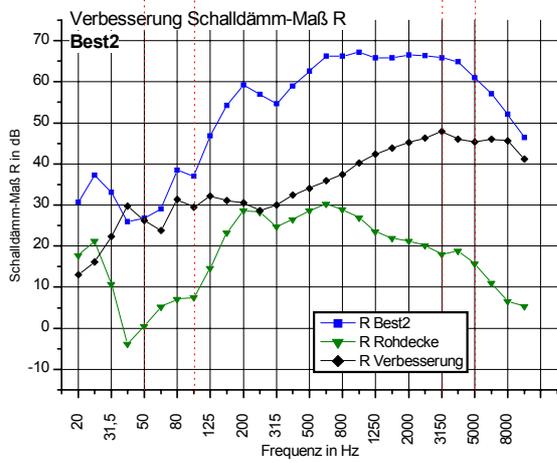
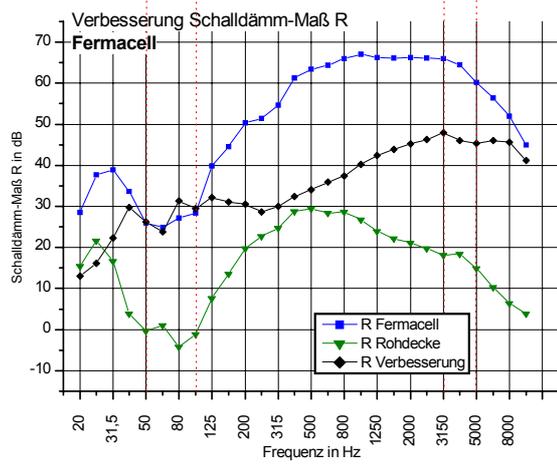
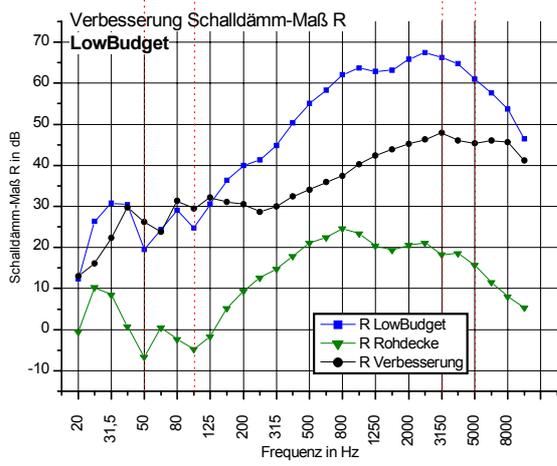


Abbildung 55 Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch die Aufbauten

Der Vergleich der Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch die einzelnen Aufbauten im Vergleich zur Rohdecke (Abbildung 55) zeigt deutlich auf in welchen Frequenzbereichen die einzelnen Aufbauten wirksam sind. Interessant sind dabei folgende Aspekte:

- ab 2000Hz aufwärts wird durch alle Aufbauten in etwa die gleiche Verbesserung von R erzielt
- zwischen 40Hz und 100Hz sind Einbrüche der Schalldämm-Maß-Verbesserung (und somit auch des absoluten Schalldämm-Maßes) zu verzeichnen. Die Schalldämmung wird hier mit den Aufbauten sogar schlechter als die der Rohdecke (negative Verbesserungsmaße), was auf Resonanzeffekte zwischen den Schalen hinweist. Auffällig ist die Abstufung der Einbrüche mit der Frequenz. Der *LowBudget* hat seinen Einbruch bereits bei 100Hz (zusätzlich einen bei 50Hz). Nach unten folgen *Fermacell* (80Hz), *Best1* (63Hz) und *Best2* (40Hz). Die Resonanzfrequenz scheint also mit der Masse des Aufbaus abzunehmen.
- Sehr deutlich ist auch die vergleichsweise hohe Schalldämm-Maß-Verbesserung des *Best2*-Aufbaus in tiefen Frequenzen (zwischen 50 und 315Hz). Daraus resultieren auch die relativ geringen Spektrumsanpassungswerte dieses Aufbaus (siehe Abbildung 54, unten).
- Deutliche Verbesserung hat die Beschwerung mit Hilfe der Wabenschüttung zwischen 100 und 2000Hz erbracht. Dies beweist in Abbildung 55 unten der Vergleich der roten Kurve (*LowBudget*; ohne Beschwerung) mit der grünen Kurve (*Fermacell*; wie *LowBudget* nur mit Beschwerung).

## 9.6.2 Trittschall

Tabelle 32 fasst zunächst die ermittelten Einzahlwerte zu den Trittschallmessungen zusammen. Die erwähnte Messung mit Luftschallanteil in Anlehnung an eine Baumessung nach DIN EN ISO 140-7 (siehe Anhang C) ist hier zum Vergleich mit aufgeführt. Aus den Einzahlwerten zeigt sich, dass überwiegend keine oder sehr geringe Abweichungen zwischen den beiden Messmethoden bestehen. Die Messung mit Luftschallanteil soll deshalb nicht weiter analysiert werden.

Tabelle 32 Zusammenfassung der Einzahlwerte

Einzahlwerte Rohdecke:	ohne Auflage			Teppich mit Textilrücken			Teppich mit Vliesrücken		
	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>
mit Luftschallanteil	87,2			63,3			60		
ohne Luftschallanteil	87,3	-5,5	-5,4	64,1	-0,4	-3,1	59,9	1,1	5

Einzahlwerte Low-Budget:	ohne Auflage			Teppich mit Textilrücken			Teppich mit Vliesrücken		
	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>
mit Luftschallanteil	61,4			56,8			54,5		
ohne Luftschallanteil	61,4	1,3	3,2	56,8	3,4	7	54,5	3,7	9,6

Einzahlwerte Fermacell:	ohne Auflage			Teppich mit Textilrücken			Teppich mit Vliesrücken		
	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>
mit Luftschallanteil	51			48			45,5		
ohne Luftschallanteil	51	1,2	8	48	2,2	11,8	45,5	2,7	13,2

Einzahlwerte Best2:	ohne Auflage			Teppich mit Textilrücken			Teppich mit Vliesrücken		
	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>
mit Luftschallanteil	37,7			35,1			33,5		
ohne Luftschallanteil	37,8	0,7	19,1	35,3	2,4	22	33,7	1,9	21,5

Einzahlwerte Best1:	ohne Auflage			Teppich mit Textilrücken			Teppich mit Vliesrücken		
	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>	L <sub>n</sub>	C <sub>l</sub>	C <sub>l 50-2500</sub>
mit Luftschallanteil	49,7			45			42,1		
ohne Luftschallanteil	49,7	1,4	11,6	46,3	3,4	15,6	43,4	4,3	16,8

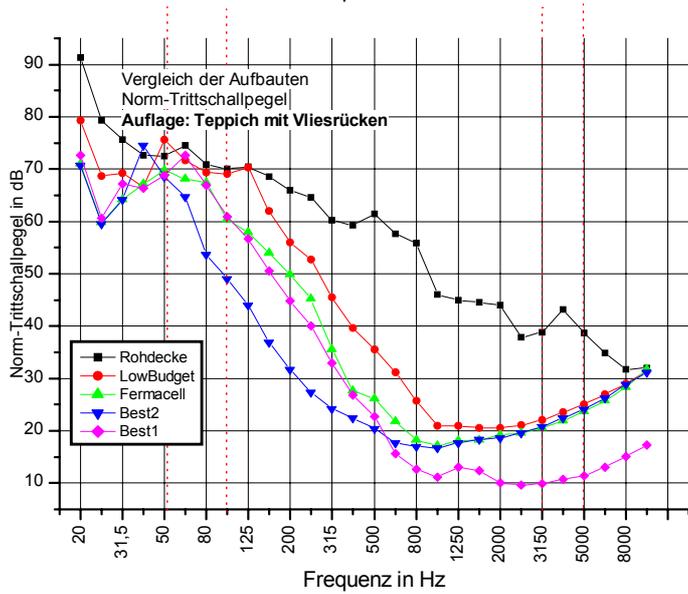
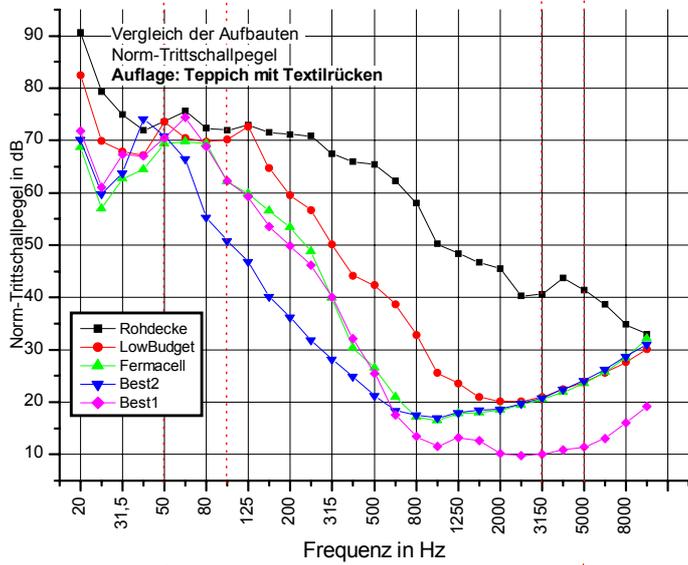
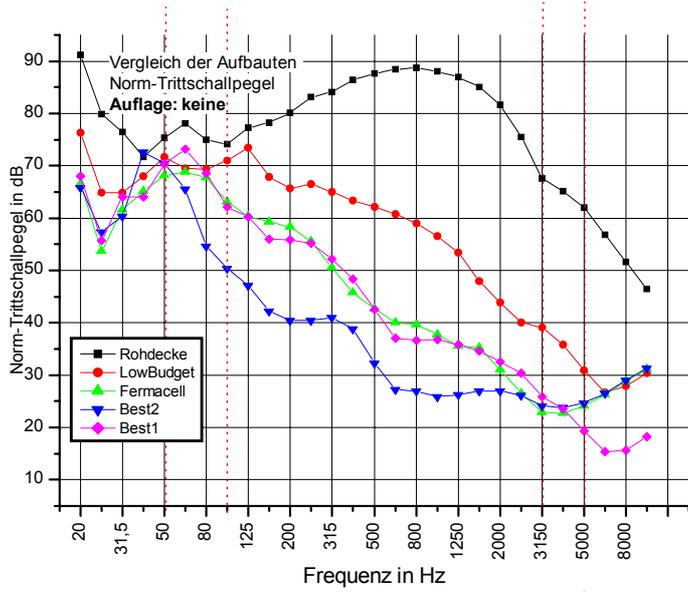
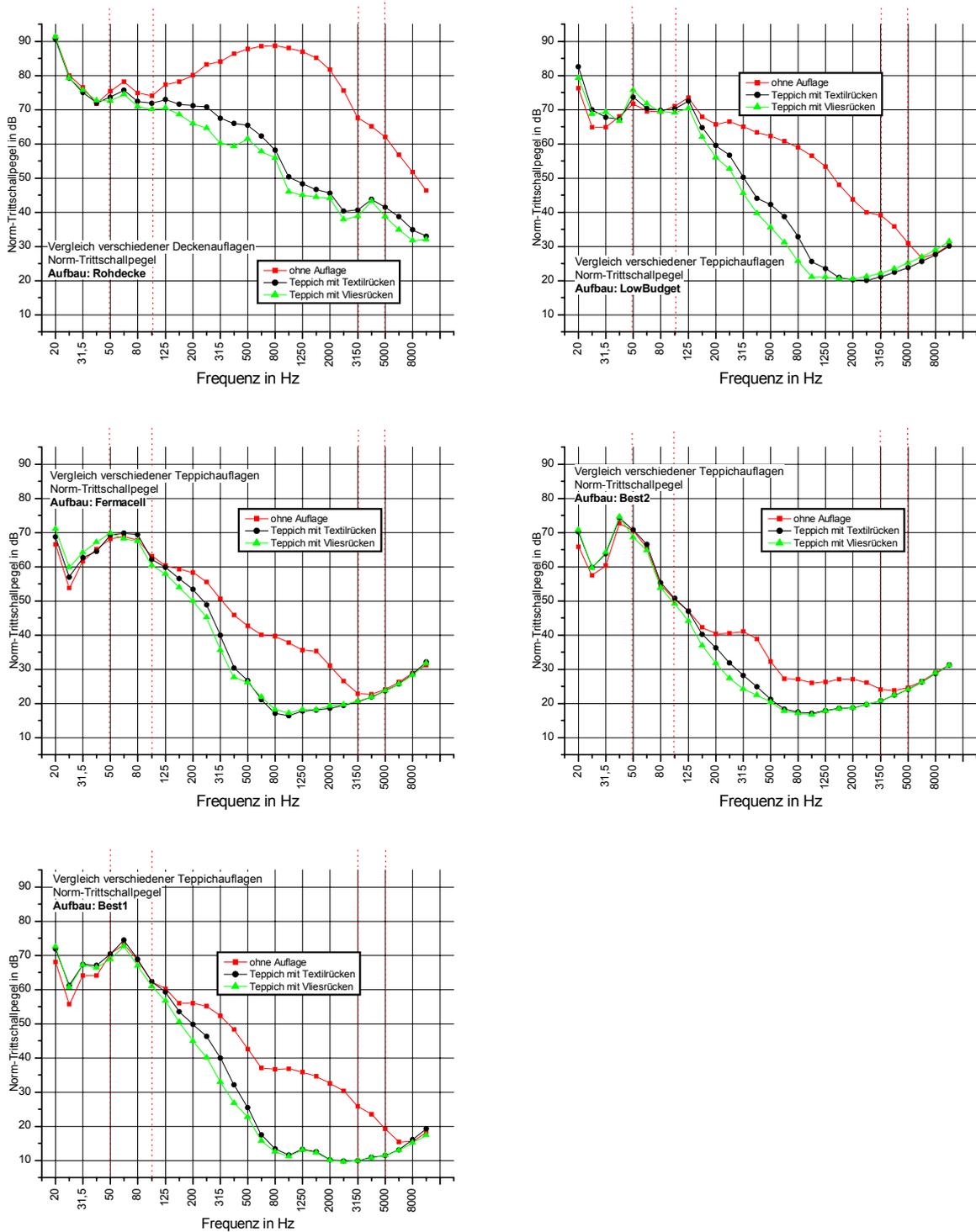


Abbildung 56 Norm-Trittschallpegel der Deckenaufbauten bei jeweils gleicher Auflage

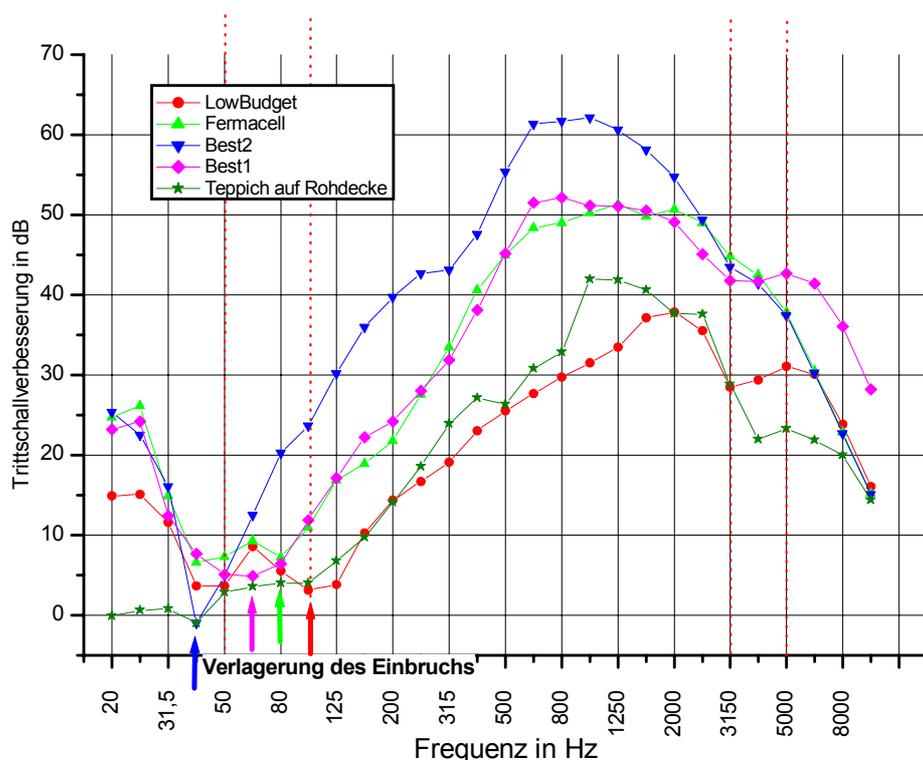
Die Abnahme der Trittschallpegel mit der Qualität des Aufbaus ist vor allem in Frequenzen zwischen 100 und 3150Hz zu erkennen. Abbildung 56 zeigt auch, dass sich der *Best2*-Aufbau bereits bei 63Hz von den anderen Aufbauten abhebt (vergleiche dazu auch Trittschallverbesserung in Abbildung 58).



**Abbildung 57 Auswirkung von weichfedernden Deckenauflagen auf den Norm-Trittschallpegel der einzelnen Deckenaufbauten**

Mit zunehmender schalltechnischer Qualität des Aufbaus zeigt sich aus Abbildung 57, dass ein Teppich immer weniger Auswirkung auf den Trittschallpegel hat (die rote Kurve für den Aufbau ohne Auflage und die entsprechenden Kurven für Aufbauten

mit einer Teppichauflage nähern sich immer weiter an). Die Verbesserung durch einen Teppich ist vor allem in mittleren Frequenzen zu beobachten (200 bis 3150Hz).



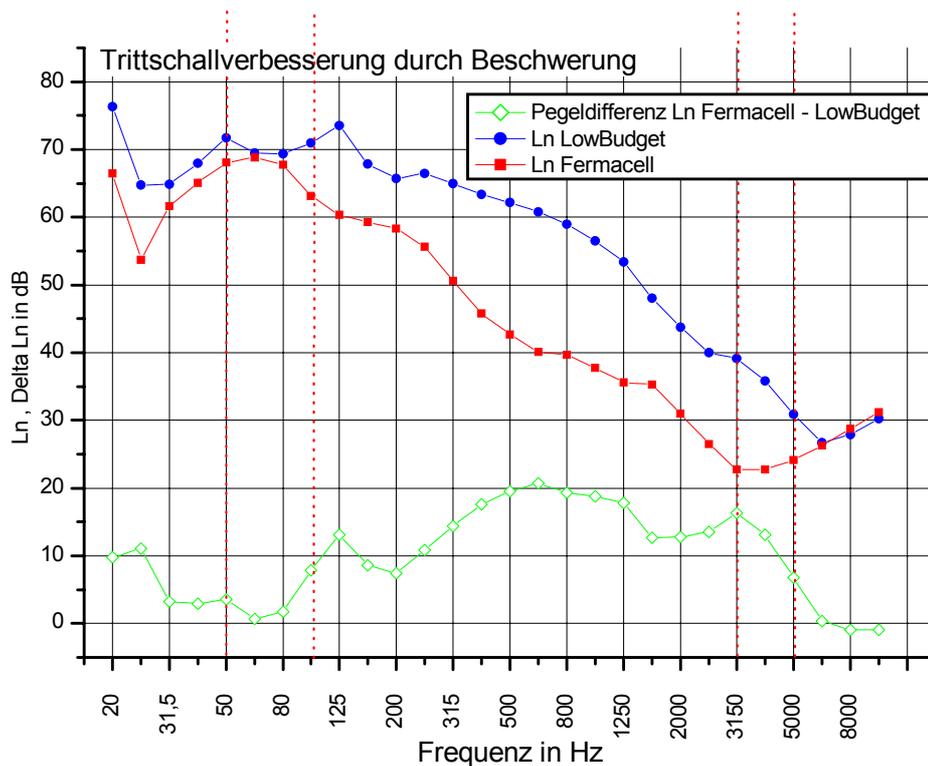
**Abbildung 58 Trittschallverbesserung der Aufbauten im Vergleich zur Rohdecke**

Abbildung 58 zeigt die Trittschallverbesserung der einzelnen Aufbauten und des Teppichs mit Vliesrücken im Vergleich zur Rohdecke auf. Entsprechend dem Verlauf der Schalldämm-Maß-Verbesserung (Abbildung 55) ist auch bei der Verbesserung des Norm-Trittschallpegels bei allen Aufbauten ein Einbruch im tieffrequenten Bereich zu erkennen. Dieser ist hier ebenfalls aufbauweise abgestuft zwischen 40Hz (*Best2*) und 100Hz (*LowBudget*) vorzufinden (vergleiche Kapitel 9.4.1).

Es ist auch ersichtlich, dass der Teppich auf der Rohdecke über weite Strecken ebenso viel Trittschallverbesserung bewirkt wie der *LowBudget*-Aufbau und teilweise sogar noch besser ist. Ein *LowBudget*-Aufbau alleine ist unter diesem Gesichtspunkt aufgrund des höheren Aufwands nicht empfehlenswert. Zusammen mit einem Teppich kann er aber eine Variante für niedrige Ansprüche an den Schallschutz sein (vergleiche Kapitel 9.6.2).

Eine Entscheidung zwischen *Fermacell*- und *Best1*-Aufbau wird aus wirtschaftlichen Gründen zu Gunsten des *Fermacell*-Aufbaus ausfallen (geringerer Verlegeaufwand). Aus schalltechnischer Sicht sind diese beiden Aufbauten gleichwertig zu beurteilen. Die schlechtere Trittschallverbesserung des *Best1*-Aufbaus bei 63 Hz dürfte sogar einen leichten Vorteil für den *Fermacell*-Aufbau bedeuten. Der um 1 dB bessere Einzahlwert des *Best1*-Aufbaus kann hingegen nicht als Kriterium genügen, da dieser überwiegend in mittleren und hohen Frequenzen gewonnen wird, die bei beiden Aufbauten ohnehin unproblematisch sind.

Die Trittschallverbesserung, die durch die Beschwerung erzielt wird, kann anhand des Verlaufes der Pegeldifferenz zwischen *Fermacell*- und *LowBudget*-Aufbau aufgezeigt werden (Abbildung 59).

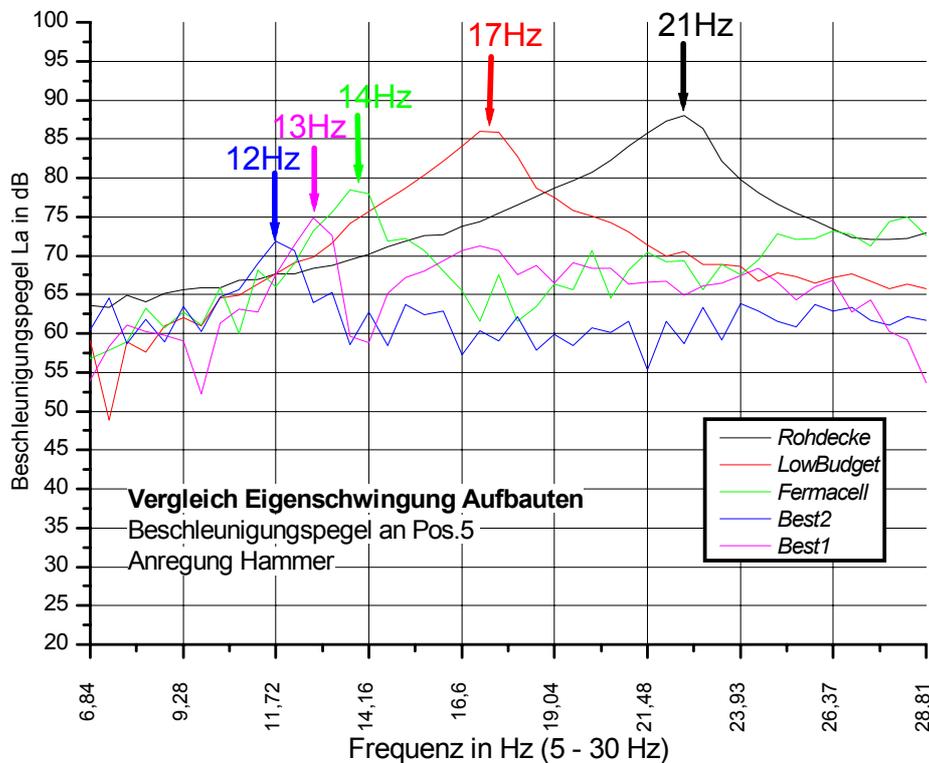


**Abbildung 59 Trittschall-Pegeldifferenz durch Beschwerung**

Der Norm-Trittschallpegel wird durch Beschweren der Rohdecke über einen sehr breiten Frequenzbereich zwischen 100 und 5000 Hz deutlich gesenkt. Die größte Verbesserung durch die Beschwerung tritt zwischen 315 und 1250 Hz auf. Die auffällige Spitze bei 125 Hz kommt dadurch zustande, dass eine offensichtlich bei dieser Frequenz vorhandene Resonanz des *LowBudget*-Aufbaus durch Aufbringen der Beschwerung beseitigt oder verschoben wird.

### 9.6.3 Schwingungen

Der Vergleich der Beschleunigungspegelverläufe der unterschiedlichen Aufbauten ist für eine impulsartige Anregung am aussagekräftigsten. Hier können speziell die Eigenfrequenzen der Deckenkonstruktion am deutlichsten heraus gearbeitet werden (siehe Abbildungen zu Schwingungsuntersuchungen der einzelnen Aufbauten). In Abbildung 60 sind die Ergebnisse der Schwingungsuntersuchungen bei Anregung mit dem Hammer und Messung an Position 5 zusammengefasst.



**Abbildung 60 Vergleich der Beschleunigungspegel im Frequenzbereich der Grundschwingung**

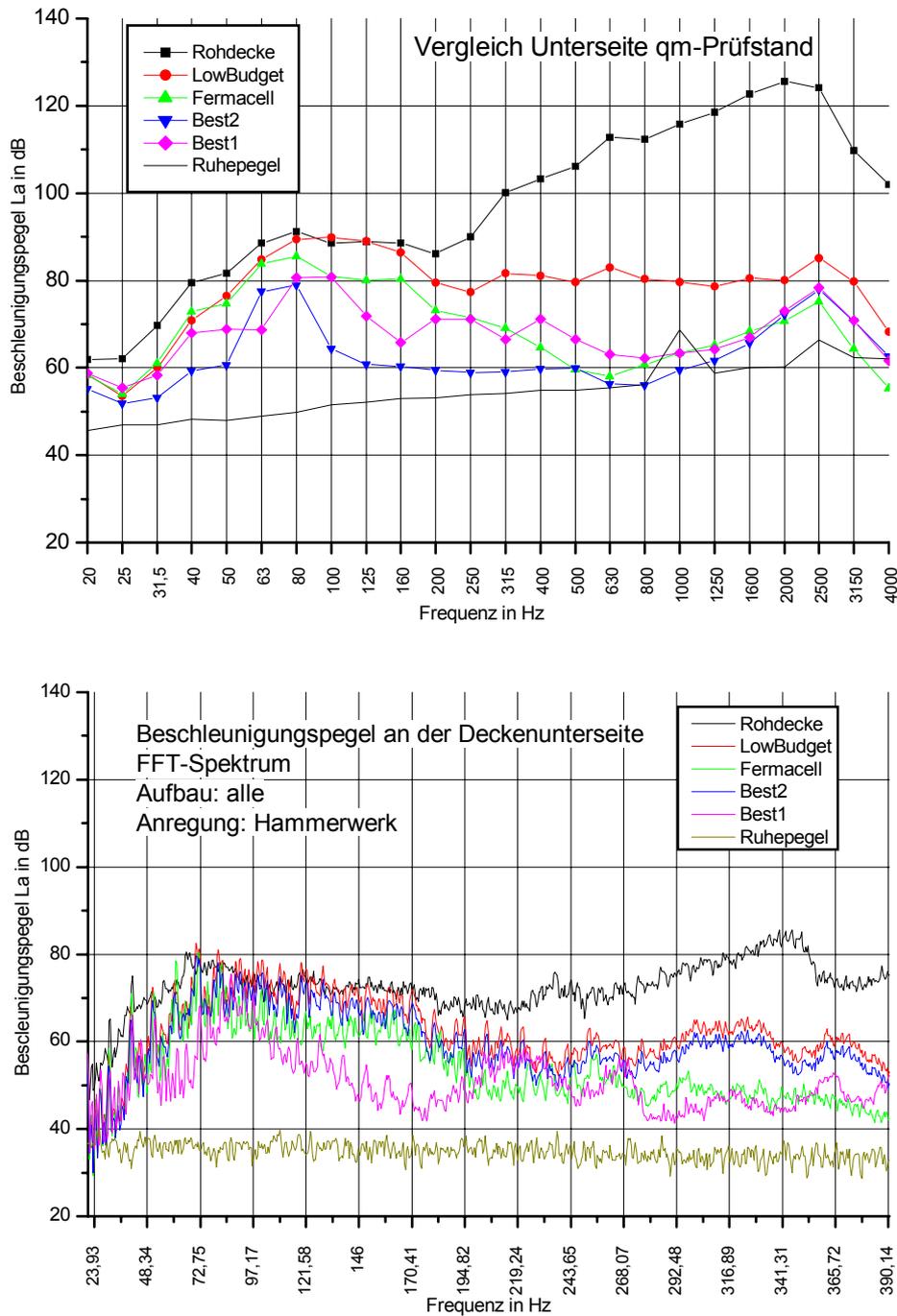
Es zeigt sich eine schrittweise Verlagerung der charakteristischen Spitze. Die Eigenfrequenz hängt von Masse und Biegesteifigkeit der Konstruktion ab (siehe 6.3.2). Da sich die Biegesteifigkeit mit den Aufbauten nicht entscheidend ändert, ist die Verlagerung der Eigenfrequenz auf die Veränderung der flächenbezogenen Masse  $m'$  zurückzuführen. Mit zunehmender Masse des Aufbaus ist eine abnehmende Eigenfrequenz zu beobachten. Dieser Zusammenhang ergibt sich auch aus den entsprechenden Berechnungsformeln in Kapitel 6.3.2 bzw. 7.1.5.

## 9.7 Untersuchungen im Testprüfstand („m<sup>2</sup>-Prüfstand“)

Mit den begleitenden Schwingungsuntersuchungen im Testprüfstand sollen eventuelle Zusammenhänge der Ergebnisse aus dem großen Deckenprüfstand mit denen eines weniger aufwendigen kleinen Prüfstandes aufgezeigt werden. Da sich die tieffrequenten Eigenschwingungen der Decke bei den kleinen Spannweiten des Testprüfstandes nicht ausbilden können (und diese bei den kleinen Abmessungen keinen Praxisbezug hätten), soll der Messbereich erst bei 20Hz beginnen und sich bis 4000Hz erstrecken. Es wird jeweils eine Messreihe im FFT-Modus und eine im Terzfiltermodus durchgeführt.

Bei den Prüfungen im m<sup>2</sup>-Prüfstand werden immer die Ergebnisse der drei Einzelmessungen energetisch gemittelt und der so errechnete Mittelwert für die Auswertung verwendet.

### 9.7.1 Erste Messergebnisse



**Abbildung 61 Beschleunigungspegel im m<sup>2</sup>-Prüfstand bei Anregung mit dem Hammerwerk, Darstellung des Terzfilter- und des FFT-Spektrums**

Abbildung 61 zeigt die an der Prüfstandunterseite gemessenen Beschleunigungspegel bei den verschiedenen Aufbauten. Sowohl bei der Darstellung in Terzen (oben) als auch im FFT-Spektrum ist eine aufbaubezogene Abstufung

erkennbar. Nachfolgend soll eine mögliche Korrelation zwischen den gemessenen Norm-Trittschallpegeln und der im m<sup>2</sup>-Prüfstand gemessenen Beschleunigungspegel überprüft werden. Ein zweckmäßiger Vergleichswert kann die Pegeldifferenz zwischen diesen beiden Pegeln für jeden Aufbau darstellen. Ein unterschiedlicher Frequenzgang der beiden Messapparaturen kann so ausgeblendet werden.

Der Verlauf der so berechneten Pegeldifferenzen in Abbildung 62 unten zeigt, dass über weite Strecken des Spektrums ein relativ eindeutiger Zusammenhang zwischen Beschleunigungspegel im Testprüfstand und Norm-Trittschallpegel im Deckenprüfstand besteht. Die Bildung des energetischen Mittelwertes aus den Pegeldifferenzen erscheint für die Berechnung einer Korrekturkurve sinnvoll. Diese ist in Abbildung 62 unten als orange Linie (mit Sternen) abgebildet.

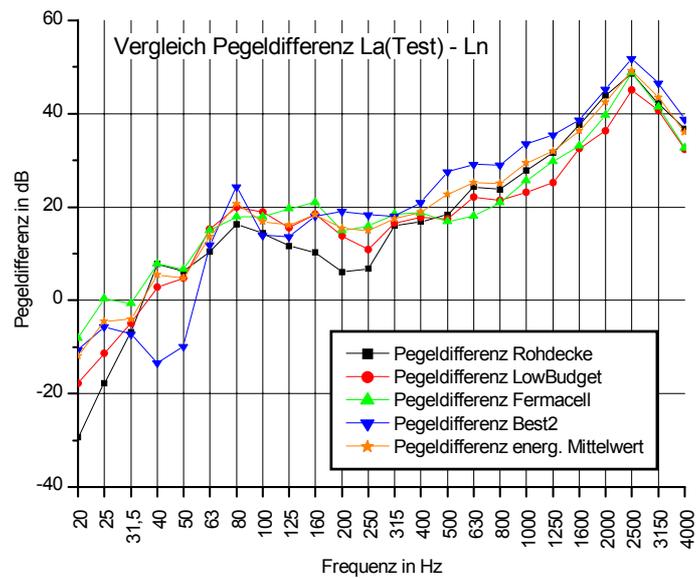
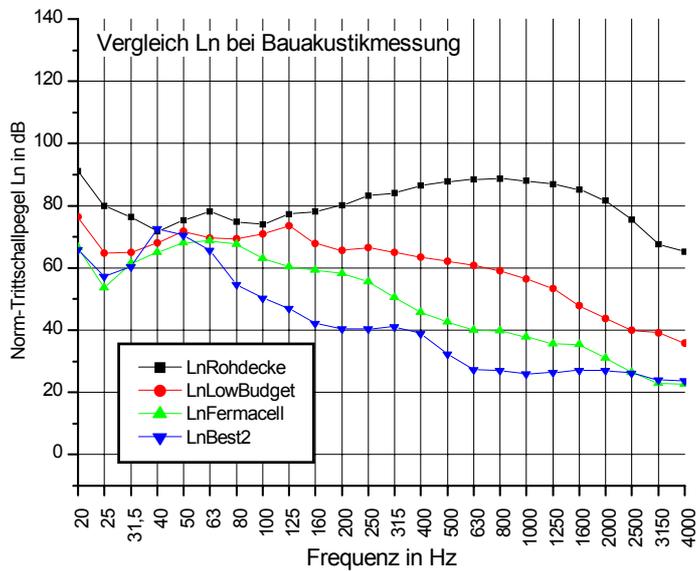
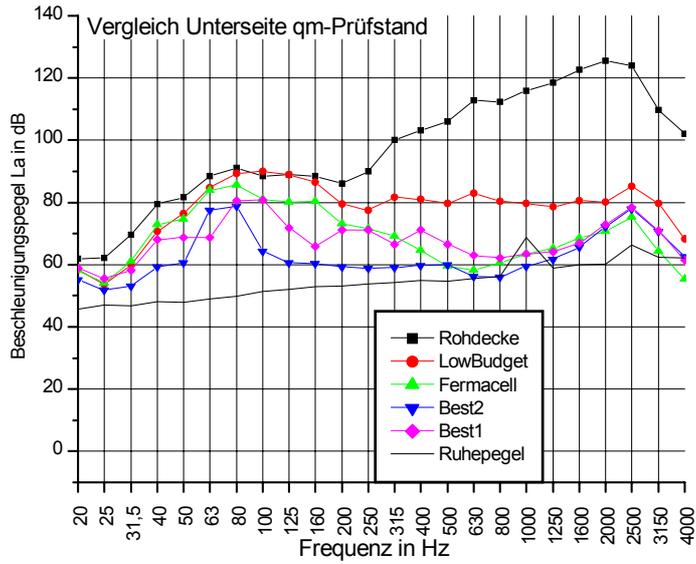
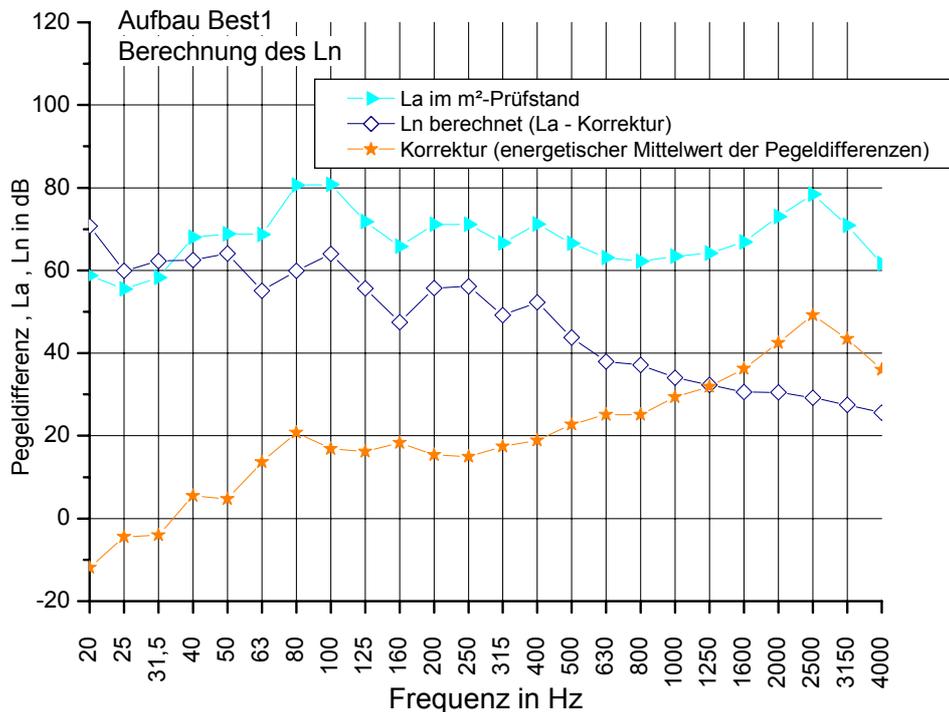


Abbildung 62 Vergleich von Beschleunigungspegeln im m<sup>2</sup>-Prüfstand und Norm-Trittschallpegeln der Bauakustikmessung

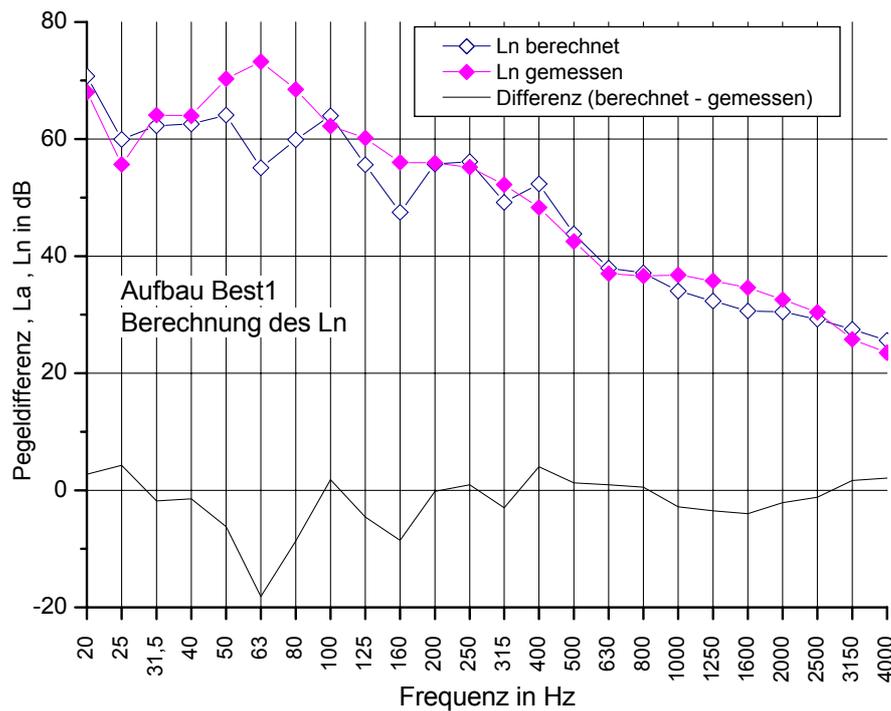
### 9.7.2 Berechnung der Trittschallkurve des *Best1*-Aufbaus

Diese Betrachtung ist vor dem Einbau des *Best1*-Aufbaus im Deckenprüfstand entstanden. Anhand der bis dahin ausgewerteten Aufbauten (*Rohdecke*, *LowBudget*, *Fermacell* und *Best2*) soll eine Vorhersage für den Frequenzverlauf des Norm-Trittschallpegels für den *Best1*-Aufbau gewagt werden. Dazu werden die Beschleunigungspegel des *Best1*-Aufbaus im  $m^2$ -Prüfstand mit den Pegeln aus der Korrekturkurve verrechnet (siehe Abbildung 63).



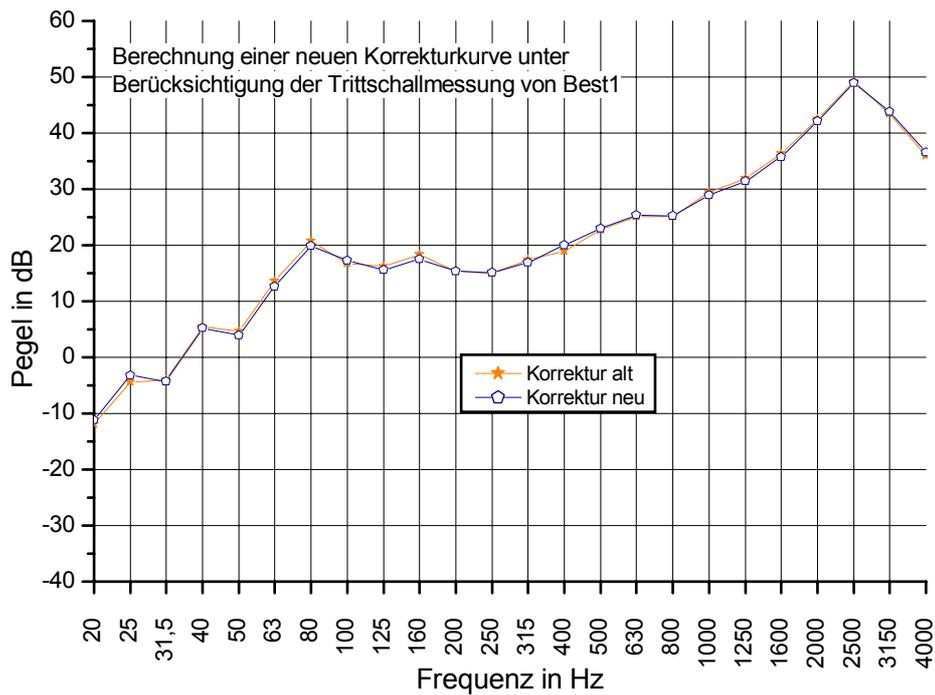
**Abbildung 63** Berechnung des  $L_n$  für den Aufbau *Best1*

Die so gewonnene Vorhersage wird nun mit dem zwischenzeitlich gemessenen Verlauf des Norm-Trittschallpegels des *Best1*-Aufbaus verglichen (Abbildung 64).



**Abbildung 64** Vergleich von berechnetem und gemessenem Trittschallpegelverlauf beim Aufbau *Best1*

Es zeigt sich, dass überwiegend eine relativ exakte Berechnung der Trittschallkurve möglich war. Die Ausreißer bei 160Hz und 63Hz beruhen auf Pegel einbrüchen, die im  $m^2$ -Prüfstand aufgetreten sind, sich aber bei der Prüfdecke nicht ausbilden. Mögliche Ursachen sind hier Fehler aufgrund der wenigen Messwerte, die als Grundlage für die Berechnung vorliegen. Weitere Versuche mit verschiedenen Aufbauten könnten eventuell genauere Berechnungsmethoden ermöglichen.



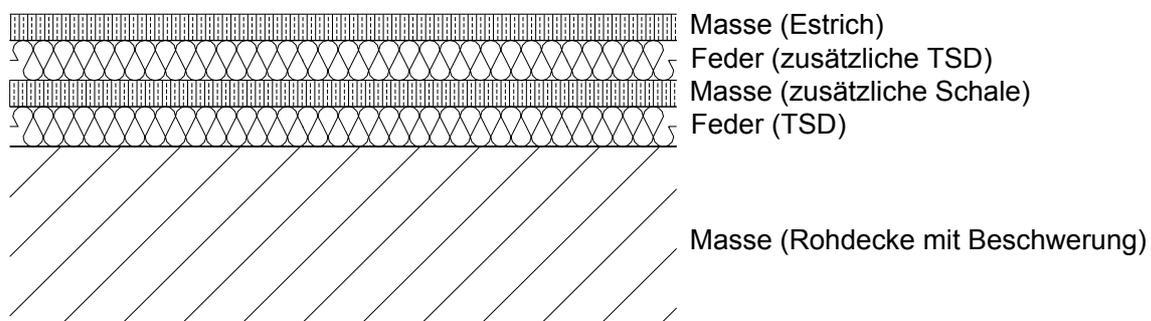
**Abbildung 65** Berechnung einer neuen Korrekturkurve

Unter Berücksichtigung der neuen Ergebnisse aus den bauakustischen Untersuchungen des *Best1*-Aufbaus kann eine neue Korrekturkurve errechnet werden. Wie Abbildung 65 zeigt sind die Unterschiede zwischen alter und neuer Korrekturkurve äußerst gering. Die neue Korrekturkurve soll nun für weitere Tests in dem  $m^2$ -Prüfstand verwendet werden.

### 9.7.3 Prüfung von Sandwichaufbauten im m<sup>2</sup>-Prüfstand

Für den Aufbau mit der Anforderungsstufe  $L'_{n,w} \leq 46\text{dB}$  sind zunächst Aufbauten mit einer Sandwichstruktur vorgesehen gewesen. Obwohl der *Best2*-Aufbau diese Anforderung bereits erfüllt, ist eine Untersuchung solcher Sandwichaufbauten weiterhin interessant um eventuell die Probleme in den tiefen Frequenzen in den Griff zu bekommen.

Das Prinzip eines Sandwich-Aufbaus ist die Anordnung von einer weiteren Schale zwischen Rohdecke und Estrich (siehe Abbildung 66).

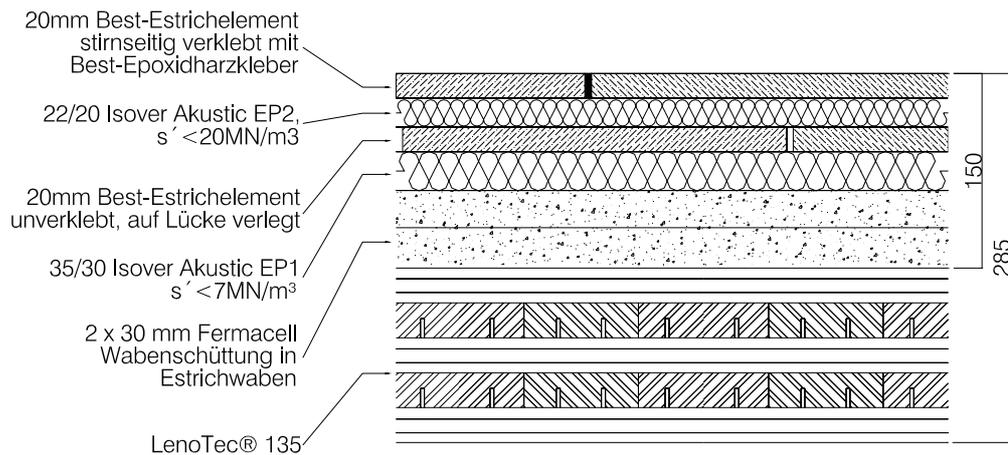


**Abbildung 66** Prinzip eines Sandwich-Aufbaus

Die zusätzlichen Schichten wirken aus schalltechnischer Sicht als zusätzliche Impedanz<sup>75</sup> und erschweren somit den Schalldurchfluss. Des Weiteren kann bei richtiger Zusammenstellung von Trittschalldämmung (dynamische Steifigkeit) und Zwischenschicht (Masse) eine Reduzierung von Resonanzen im ursprünglichen System möglich sein („verstimmen des Systems“).

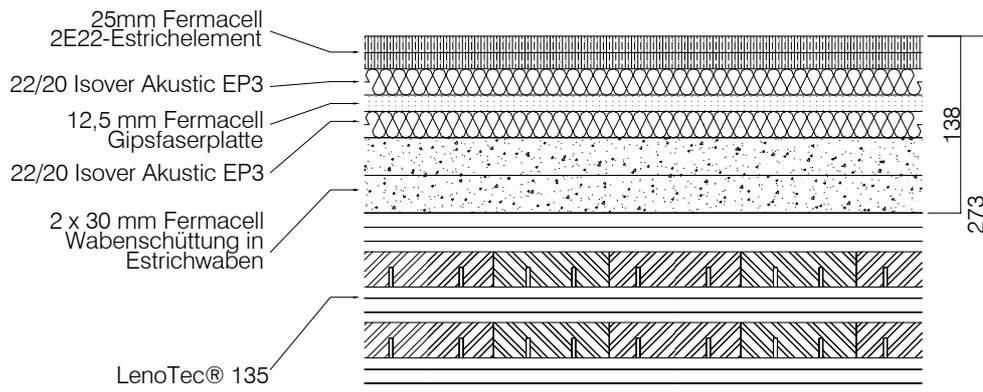
Versuchsweise sollen im m<sup>2</sup>-Prüfstand zwei verschiedene Sandwichaufbauten untersucht werden, die auf bereits getesteten Aufbauten basieren.

<sup>75</sup> Impedanz entspricht Widerstand für Schalldurchfluss



**Abbildung 67 Aufbau Sandwich1**

Basierend auf dem *Best2*-Aufbau ist der *Sandwich1*-Aufbau entstanden (siehe Abbildung 67). Zwischen die beiden Lagen Estrichplatten wird hier eine weitere Schicht Trittschalldämmung eingebracht. Um den Aufbau nicht zu weich zu gestalten, wird für die obere Trittschalldämmung die Isover Akustic EP2 mit einer dynamischen Steifigkeit von  $20\text{MN/m}^3$  eingesetzt. Die unterschiedlichen Steifigkeiten der Trittschalldämmung können sich auch schalltechnisch positiv auswirken, da hierdurch eine Verstimmung des Systems erreicht wird.



**Abbildung 68 Aufbau Sandwich2**

Der Aufbau *Sandwich2* basiert auf dem *Fermacell*-Aufbau. Hier ist zunächst eine 12,5mm starke Lage aus Gipsfaserplatten und dann eine weitere Lage der Trittschalldämmung Isover Akustic EP3 ( $d=20\text{mm}$ ,  $s'=40\text{MN/m}^3$ ) eingebracht. Die Verstimmung des Systems erfolgt hier durch die unterschiedlichen Massen der einzelnen Schalen (Estrich  $30\text{kg/m}^2$ , Gipsfaserplatte  $15\text{kg/m}^2$ , Rohdecke + Beschwerung  $158\text{kg/m}^2$ ).

Die Ergebnisse der Schwingungsuntersuchungen im  $\text{m}^2$ -Prüfstand bei Anregung mit dem Hammerwerk sind im Vergleich mit den anderen Aufbauten in Abbildung 69 dargestellt.

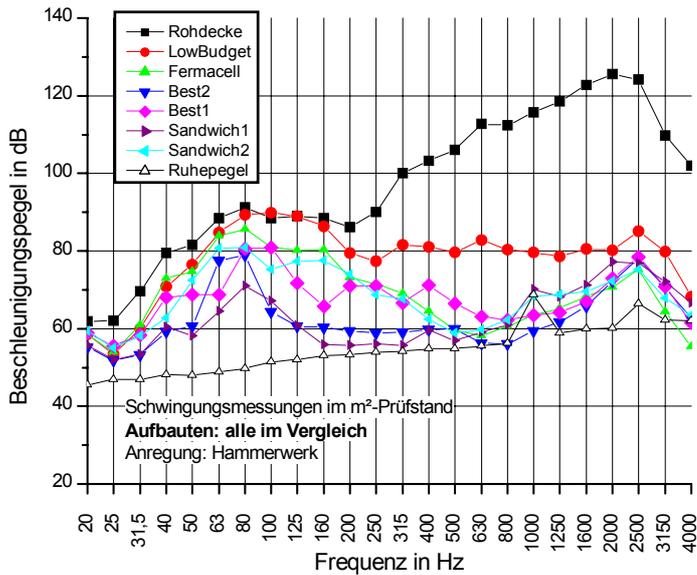
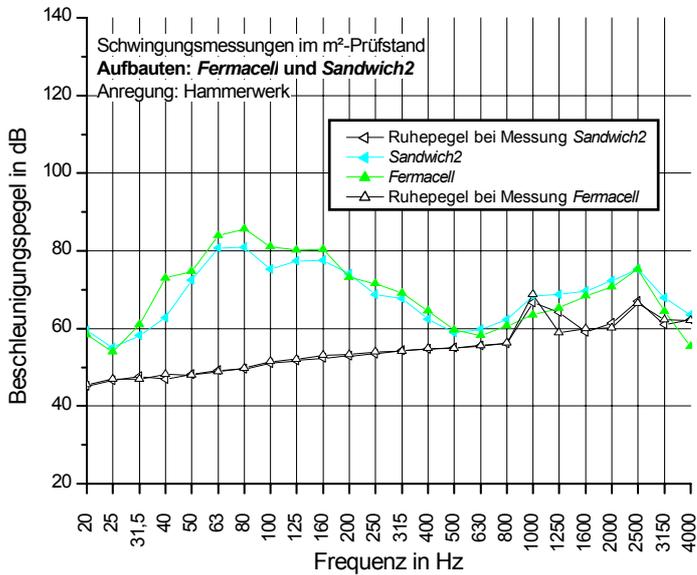
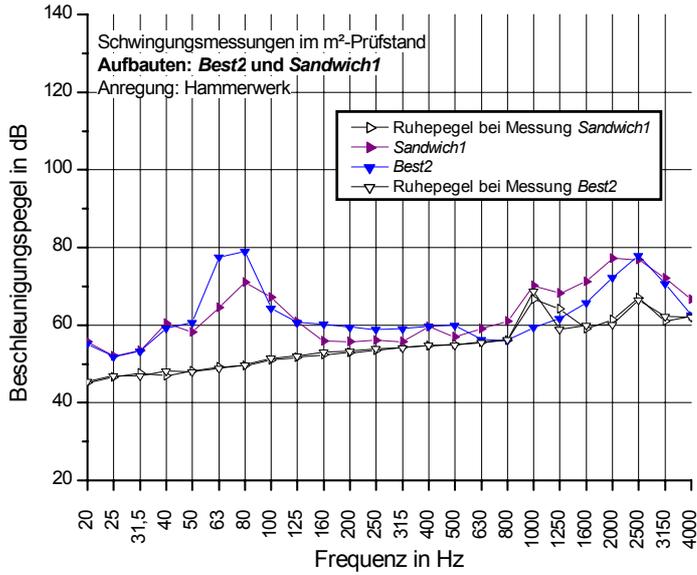


Abbildung 69 Untersuchungen der Sandwich-Aufbauten im m<sup>2</sup>-Prüfstand

Es zeigt sich, dass mit dem Aufbau *Sandwich1* im Vergleich zum *Best2* eine Verringerung des Beschleunigungspegels vor allem in dessen problematischen Bereich zwischen 50 und 100Hz erreicht wird. Auch in mittleren Frequenzen zwischen 150 und 500 Hz liegen die Pegel des *Sandwich1*-Aufbaus unter denen des *Best2*. Dagegen ist der *Best2* in Frequenzen zwischen 100 und 2500Hz besser<sup>76</sup>.

Auch der *Sandwich2*-Aufbau weist im Testprüfstand zwischen 31,5 und 500 Hz etwas geringere Beschleunigungspegel als der vergleichbare *Fermacell*-Aufbau auf. Die Unterschiede sind allerdings nicht so deutlich wie bei dem ersten Vergleich.

Eine Berechnung der zu erwartenden Trittschallpegelverläufe der Sandwich-Aufbauten und die Einordnung in die Ergebnisse der gemessenen Aufbauten wird in Abbildung 70 vorgenommen. Die Berechnung erfolgt dabei mit der neuen Korrekturkurve nach Abbildung 65.

---

<sup>76</sup> hier ist allerdings ein Messfehler bei der Vermessung des *Best2*-Aufbaus nicht auszuschließen, da der ermittelte Pegel hier unter dem Ruhepegel des Systems liegt

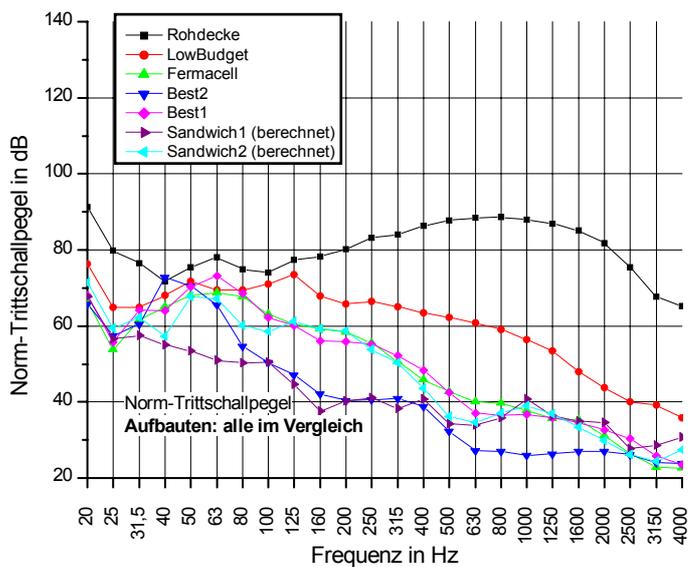
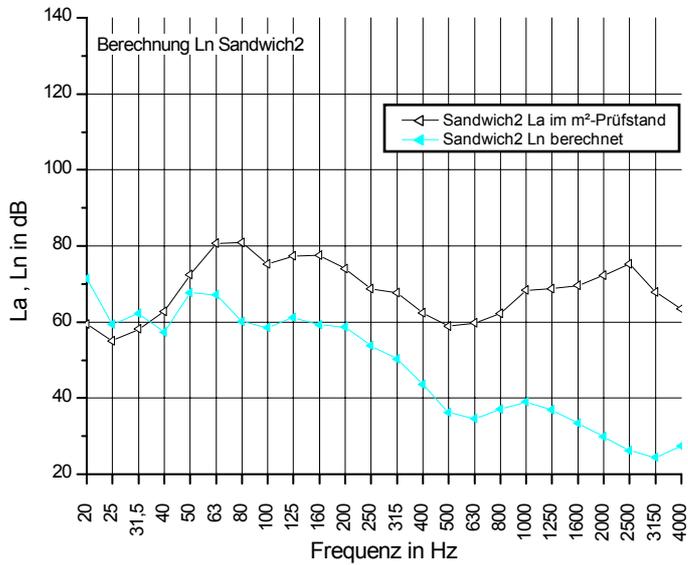
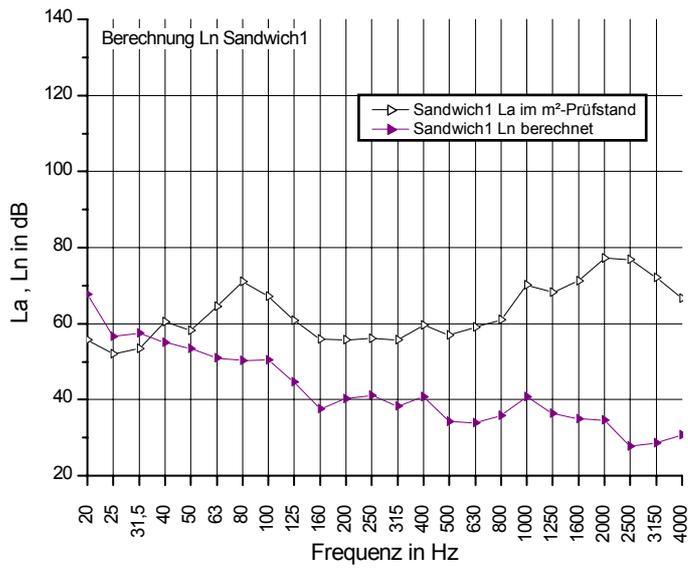


Abbildung 70 Berechnung der Norm-Trittschallpegelverläufe für die Sandwich-Aufbauten

Sehr auffällig ist der deutlich günstigere Verlauf des Norm-Trittschallpegels des *Sandwich1*-Aufbaus in tiefen Frequenzen zwischen 40 und 100Hz. Da dieser allerdings zwischen 500 und 2000Hz deutlich schlechter zu sein scheint als der *Best2*-Aufbau könnte der Einzahlwert des *Sandwich1*-Aufbaus höher liegen als der des *Best2*. Die guten zu erwartenden Werte in den problematischen tiefen Frequenzen würden diesen Nachteil allerdings überlagern.

Der *Sandwich2*-Aufbau scheint etwas besser zu sein als der *Fermacell*- und der *Best1*-Aufbau. Vor allem zwischen 63 und 100Hz sowie zwischen 315 und 800Hz sind hier leichte Vorteile zu verzeichnen.

# 10 Ausblicke

## 10.1 Untersuchung von LenoTec als System

Die gewonnenen Resultate der bauakustischen Untersuchungen sind nach DIN EN ISO 140 in einem Prüfstand mit unterdrückter Flankenübertragung ermittelt worden. Die Umrechnung auf die Werte im eingebauten Zustand ist hier mit Hilfe der Berechnungsmethode nach dem Holzbau Handbuch „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“ erfolgt. Wie bereits mehrfach erwähnt ist die Übertragbarkeit dieser Berechnungsmethode auf die Bauweise auf Basis von LenoTec® noch nicht untersucht worden. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind also nur der erste Schritt für gesicherte schalltechnische Kennwerte der untersuchten Konstruktionen. Aufbauend auf die nun vorliegenden Daten sollten deshalb eingehende Analysen der Flankenschallübertragung von entsprechenden Deckenkonstruktionen in typischen Einbausituationen durchgeführt werden.

Zu diesem Zwecke wäre eine sinnvolle und bereits angedachte Vorgehensweise die Vermessung einer Konstruktion im Labor, die der Bausituation nachempfunden ist. Dazu könnten bauübliche LenoTec®-Wände in den Empfangsraum des Prüfstandes an der FH Rosenheim eingebracht werden und als neues Auflager für die Deckenkonstruktion dienen. Die bauakustischen Untersuchungen könnten so mit einem bauähnlichen Empfangsraum durchgeführt werden. Gut zu überprüfen wäre in dieser Messanordnung auch der Einfluss der Auflagersituation auf die Schallübertragung. Mit einer geeigneten Hebevorrichtung könnte von unten die gesamte Deckenkonstruktion angehoben werden und so das Auflager beispielsweise durch Aufbringen von Elastomeren modifiziert werden.

Begleitend sind auch Messungen an entsprechenden bereits ausgeführten Konstruktionen zweckmäßig. Hier kann überprüft werden, ob die berechneten und gemessenen Werte auch am Bau einzuhalten sind, und ob sich die Deckenkonstruktionen in der Praxis bewähren.

## 10.2 Schwingungsuntersuchungen bei anderen Spannweiten/ Rohdeckenstärken

Interessant sind auch die Ergebnisse der Schwingungsuntersuchungen an der Prüfdecke. Auch hierzu sind Messungen auf im Bau befindlichen und in fertigen Objekten denkbar. So kann beispielsweise durch eine Vorher-Nachher-Untersuchung analysiert werden, wie sich das Schwingungsverhalten einer Rohdecke ändert, wenn sich ihr Einspannungsgrad am Auflager durch Auflasten aufgehender Konstruktionen erhöht.

Ebenfalls sind durch entsprechende Schwingungsmessungen am Bau relativ einfach Informationen über das Schwingverhalten von LenoTec®-Decken mit anderen Spannweiten oder Bauteilstärken einzuholen.

Die so gewonnenen Daten könnten als Grundlage für die Entwicklung von Schwingungstilgern herangezogen werden.

## 10.3 Vertiefung und Weiterführung der Untersuchungen mit dem Testprüfstand

Überraschend gut sind die Ergebnisse der Tests mit dem  $m^2$ -Prüfstand ausgefallen. Natürlich kann man nach dem derzeitigen Kenntnisstand noch nicht davon ausgehen, dass man jeden Aufbau mit der kleinen Prüffläche ausreichend genau vermessen kann, um exakte Aussagen über dessen schalltechnische Kennwerte zu treffen. Die bis jetzt erzielten Ergebnisse rechtfertigen aber durchaus eine Weiterführung der Untersuchungen. Speziell könnten folgende Experimente die bisher gezogenen Schlüsse stützen oder ergänzen:

- Bei der schalltechnischen Untersuchung weiterer Aufbauten parallel die Prüfung im  $m^2$ -Prüfstand durchführen (speziell: Einbau und Vermessung des *Sandwich1*-Aufbaus in den großen Prüfstand zur Kontrolle des berechneten Verlaufes des Norm-Trittschallpegels)
- Vergleichende Messung von bereits getesteten Aufbauten im  $m^2$ -Prüfstand (z.B. Aufbauten die im Rahmen der Diplomarbeit von Herrn Off [3] am Bau vermessen wurden)
- Systematische Messungen am Testprüfstand um Einflüsse wie Position der Anregung, Position der Schwingungsaufnehmer, Art der Anregung oder Art der Auflagerung des Prüfstandes genauer untersuchen zu können

# 11 Literaturnachweis

- [1] Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf, Hrsg; Reihe 1, Teil 1, Folge4: Holzbausysteme; Düsseldorf Dezember 2000
- [2] Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf, Hrsg; Reihe 3, Teil 3, Folge3: Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken; Düsseldorf Dezember 1999
- [3] Off, Christian, Entwicklung und schalltechnische Messungen von Decken in Holzbauweise, Diplomarbeit an der Fachhochschule Rosenheim, Studiengang Holzbau und Ausbau SS2002; Rosenheim Juli 2002
- [4] Prof. Dr. Schanda, Vorlesungsskript Bauphysik HA1, FH Rosenheim, WS 2003/04
- [5] Ostermann, W., Vorlesungsskript, Festigkeitslehre I, Studiengang Holzbau Ausbau, FH Rosenheim, SS2000
- [6] Rieländer, M., Hrsg., Reallexikon der Akustik, Verlag Erwin Bochinsky, Frankfurt a. Main, 1982
- [7] Fasold, Wolfgang und Veres, Eva; Schallschutz und Raumakustik in der Praxis: Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen; 1.Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin 1998
- [8] Veres, Eva und Fischer, H.M.; Entwicklung von Holzbalkendecken mit hoher Trittschalldämmung; Forschungsbericht des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, IBP-Bericht B-BA 1/1992, Stuttgart 1992
- [9] DGFH e.V., Abschlussbericht zum Vorhaben „Optimierung der Trittschalleigenschaften von Holzbalkendecken zum Einsatz im mehrgeschossigen Holzhausbau“, München, 1999
- [10] Dr. Ing. Mohr, Bernhard, Deckenschwingungen – Vorschläge zur Bewertung, Bauen mit Holz 11/2001, Bruderverlag, Karlsruhe 2001

- [11] Gösele, Karl, Hochschalldämmende Trockenestriche, Bauphysik 22, Heft 1, 2000, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2000
- [12] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN-Taschenbuch 74 – Parkettarbeiten, Bodenbelagarbeiten, Holzpflasterarbeiten, VOB/StLB, 7. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1998
- [13] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN18560 Estriche im Bauwesen, Teil 1 Begriffe, Allgemeine Anforderungen, Prüfung, Ausgabe 1992-05, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1992
- [14] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN18560 Estriche im Bauwesen, Teil 2 Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche), Ausgabe 1992-05, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1992
- [15] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN-Taschenbuch 35 – Schallschutz, 10. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1998
- [16] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN1055 Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 3 Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten, Ausgabe 2002-10, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2002
- [17] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 140 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 1 Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung, Ausgabe 1997-10, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1997
- [18] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 140 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 3 Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen, Ausgabe 1995-05, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1995
- [19] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 140 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 6 Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen, Ausgabe 1998-08, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1998

- [20] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 140 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 7 Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden, Ausgabe 1998-08, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1998
- [21] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 140: Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 8: Messung der Trittschallminderung durch eine Deckenauflage auf einer massiven Bezugsdecke in Prüfständen, Ausgabe 1997-10, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1997
- [22] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 717 Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 1 Luftschalldämmung, Ausgabe 1997-01; Beuth Verlag GmbH, Berlin 1997
- [23] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 717 Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 2 Trittschalldämmung, Ausgabe 1997-01; Beuth Verlag GmbH, Berlin 1997
- [24] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., DIN EN ISO 354 Messung der Schallabsorption im Hallraum, Ausgabe 1993-07; Beuth Verlag GmbH, Berlin 1993
- [25] Verein Deutscher Ingenieure VDI, VDI 4100 Schallschutz von Wohnungen, Ausgabe 1994-09, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1994
- [26] Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg., E DIN 4109 Schallschutz im Hochbau, Teil 10 Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz von Wohnungen Messung, Ausgabe 2000-06; Beuth Verlag GmbH, Berlin 2000
- [27] Internetseite der Firma MERK GmbH, [www.merk.de](http://www.merk.de)
- [28] Produktübersicht der Firma VTS, [http://www.vts-schlauchtechnik.de/VTS\\_Produnkte/Flachkanaele/Flach.pdf](http://www.vts-schlauchtechnik.de/VTS_Produnkte/Flachkanaele/Flach.pdf), Stand 27.01.04
- [29] Planungsordner Best-Estrich
- [30] Planungsordner Fermacell im Holzbau

- [31] Produktunterlagen Isover-Akustic
- [32] Produktunterlagen der Perlite-Aquapanel-Systeme

# 12 Abbildungsverzeichnis

KAPITEL 2	
ABBILDUNG 1 LOGO FIRMA MERK (LINKS), LENOtec®-135 (RECHTS).....	8
KAPITEL 3	
ABBILDUNG 2 BEWERTETE FREQUENZBEREICHE BEI MESSUNG IN TERZBÄNDERN .....	17
KAPITEL 4	
ABBILDUNG 3 SCHEMA FUßBODENAUFBAU (SCHWIMMENDER ESTRICH) MIT ANSCHLUSS AN AUFGEHENDE WÄNDE.....	28
KAPITEL 5	
ABBILDUNG 4 KORREKTURSUMMAND ZUR BERÜCKSICHTIGUNG DER FLANKENÜBERTRAGUNG .....	40
ABBILDUNG 5 VERBESSERUNG DER TRITTSCHALLDÄMMUNG DURCH ROHDECKENBESCHWERUNG .....	41
KAPITEL 6	
ABBILDUNG 6 AUFBAU LENOtec®.....	44
ABBILDUNG 7 SCHALLDÄMM-MAß $R_w$ EINES EINSCHALIGEN BAUTEILS IN ABHÄNGIGKEIT SEINER FLÄCHENBEZOGENEN MASSE $M'$ .....	46
ABBILDUNG 8: KENNZEICHNENDE FREQUENZBEREICHE EINSCHALIGER BAUTEILE .....	47
ABBILDUNG 9 SCHWINGUNGSFORMEN EINER GESpanNTEN SAITE .....	52
ABBILDUNG 10 AUSBREITUNGSRICHTUNGEN VON SCHWINGUNGEN JE NACH QUERSCHNITT .....	53
ABBILDUNG 11 GRUNDRISS UND EINBAUSITUATION PRÜFDECKE .....	58
ABBILDUNG 12 SCHALLDÄMM-MAß NACH BERGER IM VERGLEICH ZUM GEMESSENEN VERLAUF .....	62
KAPITEL 7	
ABBILDUNG 13 PRINZIPIELLER VERLAUF DES SCHALLDÄMMMAßES R ZWEISCHALIGER BAUTEILE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER FREQUENZ .....	64
ABBILDUNG 14 UMRECHNUNG DES BAUWERTES IN DEN LABORWERT .....	73
ABBILDUNG 15 <i>LOWBUDGET</i> -AUFBAU .....	76
ABBILDUNG 16 VERLEGUNG DES FERMACELL 2E22-ESTRICH-ELEMENTES AUF DER TRITTSCHALLDÄMMUNG, STUFENFALZ MIT DOPPELTER PU-KLEBER-SPUR .....	78
ABBILDUNG 17 <i>FERMACELL</i> -AUFBAU.....	79
ABBILDUNG 18 PAPPWABEN AUF RIESELSCHUTZFOLIE.....	82
ABBILDUNG 19 FERTIGE ROHDECKENBESCHWERUNG .....	82
ABBILDUNG 20 BEREITSTELLUNG DER SCHÜTTUNG IN SÄCKEN .....	83
ABBILDUNG 21 <i>BEST2</i> -AUFBAU .....	84
ABBILDUNG 22 ERSTE LAGE <i>BEST</i> -ESTRICH.....	87
ABBILDUNG 23 VERLEGESCHEMA <i>BEST</i> -ESTRICH .....	88
ABBILDUNG 24 ZWEITE LAGE <i>BEST</i> -ESTRICH .....	88
ABBILDUNG 25 <i>BEST1</i> -AUFBAU .....	89
KAPITEL 8	
ABBILDUNG 26 BEWERTETE FREQUENZBEREICHE .....	94
KAPITEL 9	
ABBILDUNG 27 SCHALLDÄMM-MAß ROHDECKE.....	98
ABBILDUNG 28 NORM-TRITTSCHALLPEGEL ROHDECKE .....	100
ABBILDUNG 29 NORM-TRITTSCHALLPEGEL ROHDECKE MIT VERSCHIEDENEN AUFLAGEN.....	101
ABBILDUNG 30 TRITTSCHALL-VERBESSERUNG DER ROHDECKE DURCH WEICHFEDERENDE GEHBE LÄGE.....	101
ABBILDUNG 31 SCHWINGUNG DER ROHDECKE BEI VERSCHIEDENARTIGER ANREGUNG, DARSTELLUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN FREQUENZAUSSCHNITTEN.....	103
ABBILDUNG 32 VERGLEICH VON BESCHLEUNIGUNGSPEGEL $L_A$ , NORM-TRITTSCHALLPEGEL $L_N$ UND SCHALLDÄMM-MAß R BEI DER ROHDECKE .....	105
ABBILDUNG 33 SCHALLDÄMM-MAß <i>LOWBUDGET</i> .....	106
ABBILDUNG 34 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>LOWBUDGET</i> .....	108
ABBILDUNG 35 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>LOWBUDGET</i> MIT VERSCHIEDENEN AUFLAGEN .....	109
ABBILDUNG 36 SCHWINGUNG DECKENUNTERSEITE <i>LOWBUDGET</i> BEI VERSCHIEDENARTIGER ANREGUNG, DARSTELLUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN FREQUENZAUSSCHNITTEN .....	111
ABBILDUNG 37 VERGLEICH DER SPEKTRALVERLÄUFE VON SCHALLDÄMM-MAß $R_w$ , NORM-TRITTSCHALLPEGEL $L_N$ UND BESCHLEUNIGUNGSPEGEL $L_A$ FÜR DEN AUFBAU <i>LOWBUDGET</i> .....	113
ABBILDUNG 38 SCHALLDÄMM-MAß <i>FERMACELL</i> .....	114

ABBILDUNG 39 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>FERMACELL</i> .....	116
ABBILDUNG 40 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>FERMACELL</i> MIT VERSCHIEDENEN AUFLAGEN.....	117
ABBILDUNG 41 SCHWINGUNG BEI VERSCHIEDENARTIGER ANREGUNG AUFBAU <i>FERMACELL</i> , VERGLEICH DER MESSPOSITIONEN, DARSTELLUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN FREQUENZAUSSCHNITTEN .....	119
ABBILDUNG 42 VERGLEICH DER SPEKTRALVERLÄUFE VON SCHALLDÄMM-MAß $R_w$ , NORM-TRITTSCHALLPEGEL $L_N$ UND BESCHLEUNIGUNGSPEGEL $L_A$ FÜR DEN AUFBAU <i>FERMACELL</i> .....	121
ABBILDUNG 43 SCHALLDÄMM-MAß <i>BEST2</i> .....	123
ABBILDUNG 44 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>BEST2</i> .....	125
ABBILDUNG 45 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>BEST2</i> MIT VERSCHIEDENEN AUFLAGEN .....	126
ABBILDUNG 46 SCHWINGUNG BEI VERSCHIEDENARTIGER ANREGUNG AUFBAU <i>BEST2</i> , VERGLEICH DER MESSPOSITIONEN, DARSTELLUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN FREQUENZAUSSCHNITTEN .....	128
ABBILDUNG 47 VERGLEICH DER SPEKTRALVERLÄUFE VON SCHALLDÄMM-MAß $R_w$ , NORM-TRITTSCHALLPEGEL $L_N$ UND BESCHLEUNIGUNGSPEGEL $L_A$ FÜR DEN AUFBAU <i>BEST2</i> .....	130
ABBILDUNG 48 SCHALLDÄMM-MAß <i>BEST1</i> .....	132
ABBILDUNG 49 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>BEST1</i> .....	134
ABBILDUNG 50 NORM-TRITTSCHALLPEGEL <i>BEST1</i> MIT VERSCHIEDENEN AUFLAGEN .....	135
ABBILDUNG 51 SCHWINGUNG BEI VERSCHIEDENARTIGER ANREGUNG AUFBAU <i>BEST2</i> , DARSTELLUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN FREQUENZAUSSCHNITTEN .....	137
ABBILDUNG 52 VERGLEICH DER SPEKTRALVERLÄUFE VON SCHALLDÄMM-MAß $R_w$ , NORM-TRITTSCHALLPEGEL $L_N$ UND BESCHLEUNIGUNGSPEGEL $L_A$ FÜR DEN AUFBAU <i>BEST1</i> .....	139
ABBILDUNG 53 SCHALLDÄMM-MAß $R$ DER DECKENAUFBAUTEN .....	141
ABBILDUNG 54 EINZAHLWERTE DER LUFTSCHALLMESSUNGEN NACH DIN EN ISO 717-1 IM VERGLEICH ....	141
ABBILDUNG 55 VERBESSERUNG DES SCHALLDÄMM-MAßES DURCH DIE AUFBAUTEN.....	142
ABBILDUNG 56 NORM-TRITTSCHALLPEGEL DER DECKENAUFBAUTEN BEI JEWEILS GLEICHER AUFLAGE.....	145
ABBILDUNG 57 AUSWIRKUNG VON WEICHFEDERNDEN DECKENAUFBAUTEN AUF DEN NORM-TRITTSCHALLPEGEL DER EINZELNEN DECKENAUFBAUTEN .....	147
ABBILDUNG 58 TRITTSCHALLVERBESSERUNG DER AUFBAUTEN IM VERGLEICH ZUR ROHDECKE.....	148
ABBILDUNG 59 TRITTSCHALL-PEGELDIFFERENZ DURCH BESCHWERUNG.....	149
ABBILDUNG 60 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSPEGEL IM FREQUENZBEREICH DER GRUNDSCHWINGUNG .....	150
ABBILDUNG 61 BESCHLEUNIGUNGSPEGEL IM $m^2$ -PRÜFSTAND BEI ANREGUNG MIT DEM HAMMERWERK, DARSTELLUNG DES TERZFILTER- UND DES FFT-SPEKTUMS .....	152
ABBILDUNG 62 VERGLEICH VON BESCHLEUNIGUNGSPEGELN IM $m^2$ -PRÜFSTAND UND NORM- TRITTSCHALLPEGELN DER BAUAKUSTIKMESSUNG .....	154
ABBILDUNG 63 BERECHNUNG DES $L_N$ FÜR DEN AUFBAU <i>BEST1</i> .....	155
ABBILDUNG 64 VERGLEICH VON BERECHNETEM UND GEMESSENEM TRITTSCHALLPEGELVERLAUF BEIM AUFBAU <i>BEST1</i> .....	156
ABBILDUNG 65 BERECHNUNG EINER NEUEN KORREKTURKURVE.....	157
ABBILDUNG 66 PRINZIP EINES SANDWICH-AUFBAUS .....	158
ABBILDUNG 67 AUFBAU <i>SANDWICH1</i> .....	159
ABBILDUNG 68 AUFBAU <i>SANDWICH2</i> .....	160
ABBILDUNG 69 UNTERSUCHUNGEN DER SANDWICH-AUFBAUTEN IM $m^2$ -PRÜFSTAND.....	161
ABBILDUNG 70 BERECHNUNG DER NORM-TRITTSCHALLPEGELVERLÄUFE FÜR DIE SANDWICH-AUFBAUTEN .	163
<b>ANHANG A</b>	
ABBILDUNG 71 PRÜFSTAND GRUNDRISS EG (SENDERÄUME).....	A3
ABBILDUNG 72 PRÜFSTAND GRUNDRISS KG (EMPFANGSRAUM) .....	A3
ABBILDUNG 73 PRÜFSTAND SCHNITT A-A .....	A4
ABBILDUNG 74 PRÜFSTAND SCHNITT B-B .....	A4
ABBILDUNG 75 UNTERDRÜCKTE SCHALLABSTRAHLUNG DER FLANKIERENDEN BAUTEILE .....	A6
ABBILDUNG 76 KONSOLEN FÜR DIE VORSATZSCHALE IM SENDERAUM.....	A7
ABBILDUNG 77 UNTERKONSTRUKTION FÜR VORSATZSCHALE IM SENDERAUM .....	A7
ABBILDUNG 78 UNTERKONSTRUKTION FÜR VORSATZSCHALE IM SENDERAUM .....	A8
ABBILDUNG 79 FERTIGE VORSATZSCHALE IM SENDERAUM, ANSCHLUSSFUGEN VERKITTET .....	A8
ABBILDUNG 80 UNTERKONSTRUKTION FÜR VORSATZSCHALE IM EMPFANGSRAUM, ABGEDÄMMTER BAUKÖRPER.....	A9
ABBILDUNG 81 AUFLAGERSITUATION DER PRÜFDECKE .....	A10
ABBILDUNG 82 ABGEHÄNGTES MIKRO IM SR MIT SCHWENKMOTOR .....	A14
ABBILDUNG 83 VORLÄUFIGE LAUTSPRECHERPOSITIONEN.....	A17
ABBILDUNG 84 AUSWERTUNG DER VORAUSWAHL DER LS-POSITIONEN .....	A20
ABBILDUNG 85 HAMMERWERKS-POSITIONEN .....	A21
ABBILDUNG 86 PRINZIP EINES ABKLINGVORGANGES .....	A23

ABBILDUNG 87 NACHHALLZEIT IM EMPFANGSRAUM MIT UND OHNE VERKITTETE ANSCHLUSSFUGEN.....	A25
ABBILDUNG 88 REFLEKTOREN AN DEN ER-WÄNDEN.....	A26
ABBILDUNG 89 REFLEKTOR .....	A26
ABBILDUNG 90 AUSWIRKUNG DER REFLEKTOREN AN DEN WÄNDEN AUF DIE NACHHALLZEIT .....	A27
ABBILDUNG 91 NACHHALLZEIT IM ER IN ABHÄNGIGKEIT VON DER LAGE IM RAUM .....	A28
ABBILDUNG 92 STANDARDABWEICHUNG DER NACHHALLZEIT ÜBER ALLE FREQUENZEN.....	A28
ABBILDUNG 93 LS-MIKRO-KOMBINATIONEN FÜR MESSUNG DER NACHHALLZEIT IM ER.....	A29
ABBILDUNG 94 DIFFUSOREN IM ER.....	A30
ABBILDUNG 95 NACHHALLZEIT IM ER MIT UND OHNE DIFFUSOREN.....	A31
ABBILDUNG 96 NACHHALLZEIT MIT UND OHNE ABSORBERMATTEN .....	A32
ABBILDUNG 97 WIEDERHOLUNGSMESSUNG DER NACHHALLZEIT IM ER.....	A33
ABBILDUNG 98 NORM-TRITTSCHALLPEGEL DER ROHDECKE BEI AUSWERTUNG MIT DEN NACHHALLZEITEN AUS MESSUNG UND WIEDERHOLUNGSMESSUNG .....	A34
ANHANG B	
ABBILDUNG 99 MESSANORDNUNG LUFTSCHALLMESSUNG.....	B4
ABBILDUNG 100 BENUTZEROBERFLÄCHE VON NOR-SIC.....	B7
ABBILDUNG 101 FREQUENZVERLAUF DER NACHHALLZEIT IM ER .....	B9
ABBILDUNG 102 BERECHNUNG UND FREQUENZVERLAUF VON R.....	B11
ABBILDUNG 103 BEZUGSKURVE UND BESTIMMUNG DES EINZAHLWERTES FÜR DIESES BEISPIEL .....	B12
ABBILDUNG 104 BERECHNUNG DER VERSCHOBENEN BEZUGSKURVE VON R DURCH NOR-SIC.....	B13
ABBILDUNG 105 SCHALLPEGELSPEKTREN ZUR SPEKTRUMSANPASSUNG 100-3150 Hz .....	B14
ABBILDUNG 106 MESSPROTOKOLL EINER LUFTSCHALLMESSUNG .....	B16
ANHANG C	
ABBILDUNG 107 MESSANORDNUNG TRITTSCHALLMESSUNG.....	C5
ABBILDUNG 108 GRUNDRISS SR MIT ANORDNUNG DER HAMMERWERKSPOSITIONEN .....	C6
ABBILDUNG 109 BERECHNUNG UND FREQUENZVERLAUF VON $L_N$ .....	C11
ABBILDUNG 110 BEZUGSKURVE UND BESTIMMUNG DES EINZAHLWERTES.....	C13
ABBILDUNG 111 BERECHNUNG DER VERSCHOBENEN BEZUGSKURVE VON $L_N$ DURCH NOR-SIC.....	C14
ABBILDUNG 112 MESSPROTOKOLL EINER TRITTSCHALLMESSUNG .....	C16
ANHANG D	
ABBILDUNG 113 MESSANORDNUNG SCHWINGUNGSUNTERSUCHUNG IM DECKENPRÜFSTAND.....	D2
ABBILDUNG 114 POSITIONEN FÜR SCHWINGUNGSUNTERSUCHUNGEN IM GRUNDRISS DER PRÜFDECKE.....	D3
ABBILDUNG 115 ANKOPPELUNG DES SCHWINGUNGS-AUFNEHMERS AN DER BAUTEILOBERFLÄCHE .....	D3
ABBILDUNG 116 VERGLEICH TERZFILTER- UND FFT-MODUS.....	D7
ABBILDUNG 117 VERLAUF BESCHLEUNIGUNGSPEGEL ÜBER DIE ZEIT BEI VERSCHIEDENEN ANREGUNGSARTEN .....	D8
ANHANG E	
ABBILDUNG 118 AUFBAUSCHEMA $M^2$ -PRÜFSTAND .....	E2
ABBILDUNG 119 MESSUNG IM $M^2$ -PRÜFSTAND.....	E2
ANHANG F	
ABBILDUNG 120 SCHALLPEGELSPEKTREN ZUR SPEKTRUMSANPASSUNG 100 - 3150 Hz.....	F1
ABBILDUNG 121 SCHALLSPEKTREN ZUR SPEKTRUMSANPASSUNG 50 - 3150 Hz .....	F2
ABBILDUNG 122 SCHALLSPEKTREN ZUR SPEKTRUMSANPASSUNG 50 - 5000 Hz .....	F2
ABBILDUNG 123 SCHALLSPEKTREN ZUR SPEKTRUMSANPASSUNG 100 - 5000 Hz .....	F3
ANHANG H	
ABBILDUNG 124 FORMBLATT R ROHDECKE.....	H2
ABBILDUNG 125 FORMBLATT $L_N$ ROHDECKE .....	H3
ABBILDUNG 126 FORMBLATT $L_N$ ROHDECKE MIT TEPPICH (TEXTILRÜCKEN).....	H4
ABBILDUNG 127 FORMBLATT $L_N$ ROHDECKE MIT TEPPICH (VLIESRÜCKEN) .....	H5
ABBILDUNG 128 FORMBLATT R <i>LOWBUDGET</i> .....	H6
ABBILDUNG 129 FORMBLATT $L_N$ <i>LOWBUDGET</i> .....	H7
ABBILDUNG 130 FORMBLATT R <i>FERMACELL</i> .....	H8
ABBILDUNG 131 FORMBLATT $L_N$ <i>FERMACELL</i> .....	H9
ABBILDUNG 132 FORMBLATT R <i>BEST2</i> .....	H10
ABBILDUNG 133 FORMBLATT $L_N$ <i>BEST2</i> .....	H11
ABBILDUNG 134 FORMBLATT R <i>BEST1</i> .....	H12
ABBILDUNG 135 FORMBLATT $L_N$ <i>BEST1</i> .....	H13

# A Prüfstand

## A.1 Labor für Schallmesstechnik (LaSM) an der FH Rosenheim

Die zur Bearbeitung der Aufgabenstellung erforderlichen Messungen werden im Labor für Schallmesstechnik (LaSM) der FH Rosenheim durchgeführt. Das Labor untersteht dem Fachbereich Allgemeinwissenschaften. Nach einer längeren Pause in der hier kein Prüfbetrieb stattgefunden hat, hat Professor Dr. Schanda vor etwa zwei Jahren die Laborleitung übernommen. Seitdem ist schrittweise in die Messausrüstung und den Prüfstand investiert worden. Für die Wiederaufnahme des Messbetriebes zu Beginn der Bearbeitung dieser Arbeit sind noch einzelne Vorbereitungen zu treffen.

Das Herzstück des Labors ist der große Prüfstand (nähere Beschreibung unter A.2 Örtliche Gegebenheiten). Zusätzlich wurde der ausgemusterte Holzbauprüfstand der FH Stuttgart nach Rosenheim geholt und hier für interessante Messungen vorbereitet. Leider ist zwischenzeitlich durch einen Brand im Dezember 2003 diese Bereicherung der Forschungsmöglichkeiten in Rosenheim wieder zunichte gemacht worden.

Zur messtechnischen Ausstattung des Labors zählen verschiedene Analytoren (unter anderem ein moderner Zweikanal-Echtzeit-Analysator der Firma Norsonic), diverse Freifeldmikrofone, Schwingungsaufnehmer, Kugellautsprecher, Schwingungsanreger, Normhammerwerk, Impulshammer und Kundt'sche Rohre.

Im Rahmen des bauphysikalischen Praktikums für den Studiengang Holzbau und Ausbau findet im LaSM der bauakustische Teil statt. Daneben werden von hieraus Diplomarbeiten betreut beziehungsweise finden die dazu begleitenden Messungen in den Prüfständen des Labors statt.

Herr Prof. Dr. Schanda legt Wert darauf, mit dem Labor an der FH Rosenheim keine Konkurrenz zu den privat betriebenen Prüfinstituten zu schaffen, sondern nur im Dienste der Forschung zu arbeiten. Deshalb ist auch nicht beabsichtigt in Zukunft Prüfzeugnisse bei Bauteilprüfungen auszustellen.

## A.2 Örtliche Gegebenheiten

Der Prüfstand des LaSM besteht ursprünglich aus vier Räumen, die in zwei Geschossen angeordnet sind (siehe Abbildung 71, Abbildung 72, Abbildung 73, Abbildung 74). Eine selbsttragende Rahmenkonstruktion aus Stahlbeton garantiert eine weitestgehende Entkoppelung vom Rest des Gebäudes. Dieser Stahlbetonrahmen ist mit Kalksandsteinmauerwerk ausgefacht. Die vertikal geteilten Prüfstandshälften sind wiederum durch eine zweigeteilte Rahmenkonstruktion schalltechnisch voneinander entkoppelt. So ist der Prüfstand sehr variabel einsetzbar. Zwischen den Räumen im EG („Senderaum 1“ und „Senderaum 2“) können Fenster- und Türprüfungen durchgeführt werden. Die Räume im KG („Empfangsraum 1“ und „Empfangsraum 2“) können als Prüfstand für Wände genutzt werden. Eine Untersuchung der Trittschallminderung durch Deckenauflagen nach DIN EN ISO 140-8 [21] erfolgt mit Hilfe der nach Abschnitt 5.2.3 dieser Norm konstruierten Stahlbeton-Bezugsrohdecke zwischen Senderaum 2 und Empfangsraum 2 (Abbildung 74, rechts). Die Prüfungen für diese Arbeit werden im Deckenprüfstand (Abbildung 74, links) durchgeführt. Als Senderaum wird dazu der Senderaum 1 benutzt. Den Empfangsraum bilden die beiden unteren Räume.

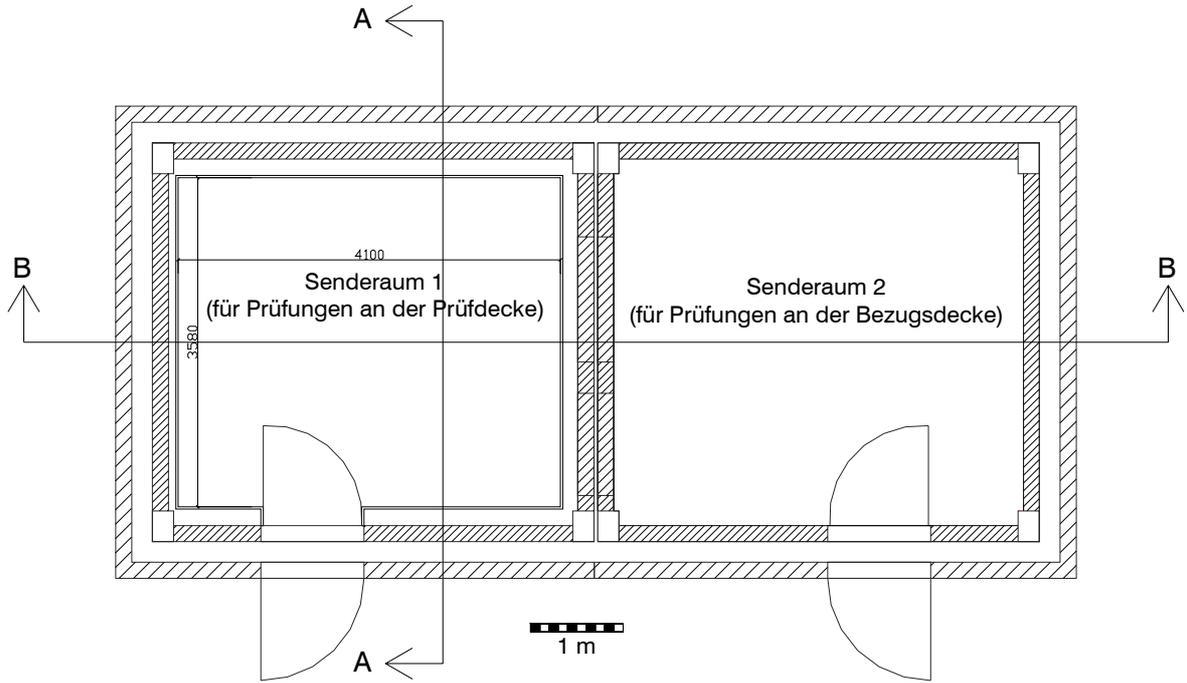


Abbildung 71 Prüfstand Grundriss EG (Senderäume)

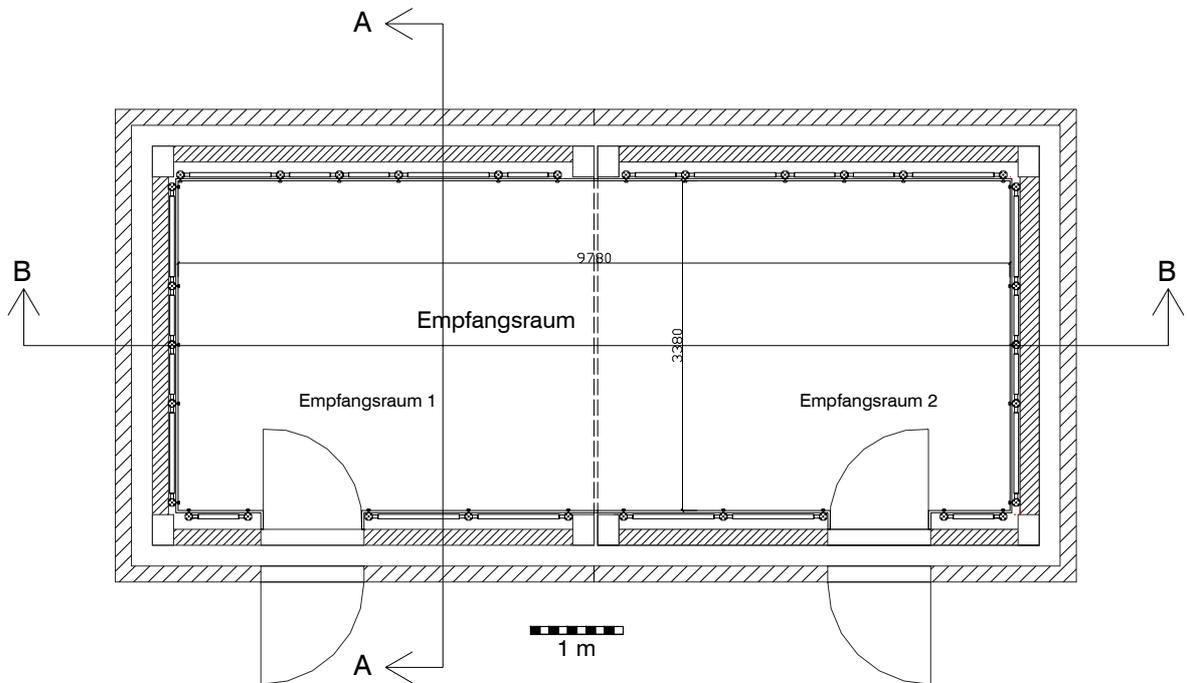


Abbildung 72 Prüfstand Grundriss KG (Empfangsraum)

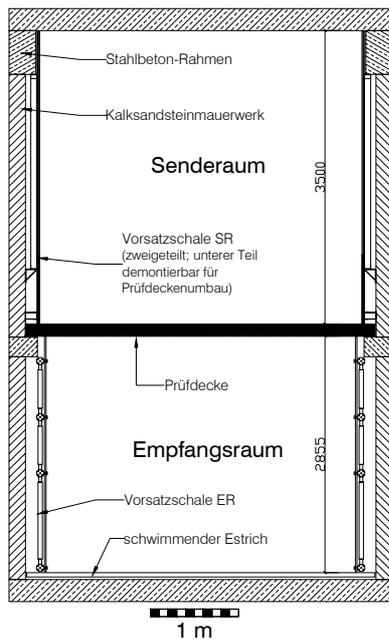


Abbildung 73 Prüfstand Schnitt A-A

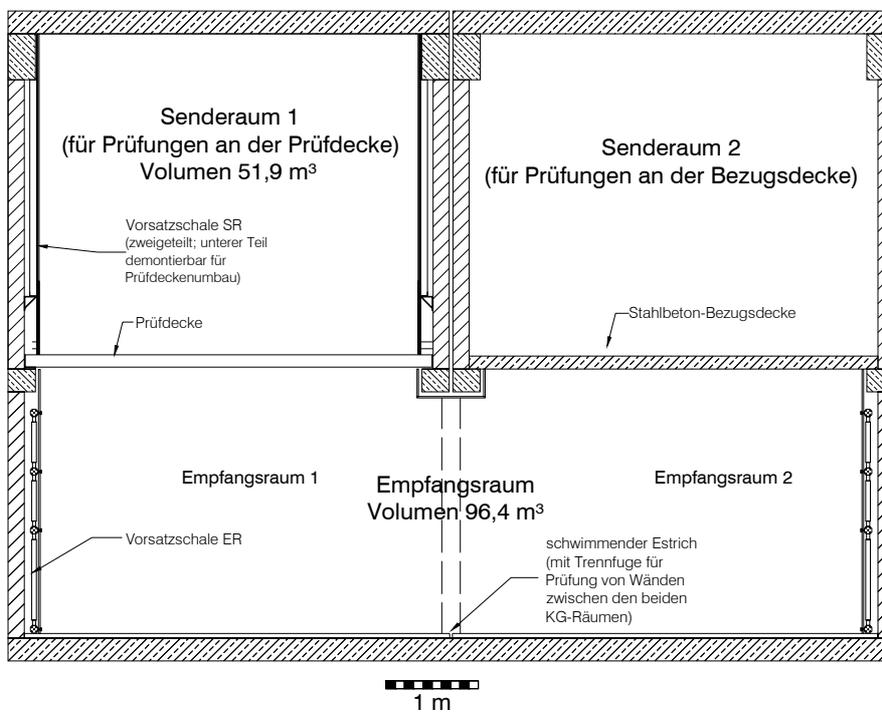


Abbildung 74 Prüfstand Schnitt B-B

## A.3 Anforderungen an den Prüfstand nach DIN EN ISO 140

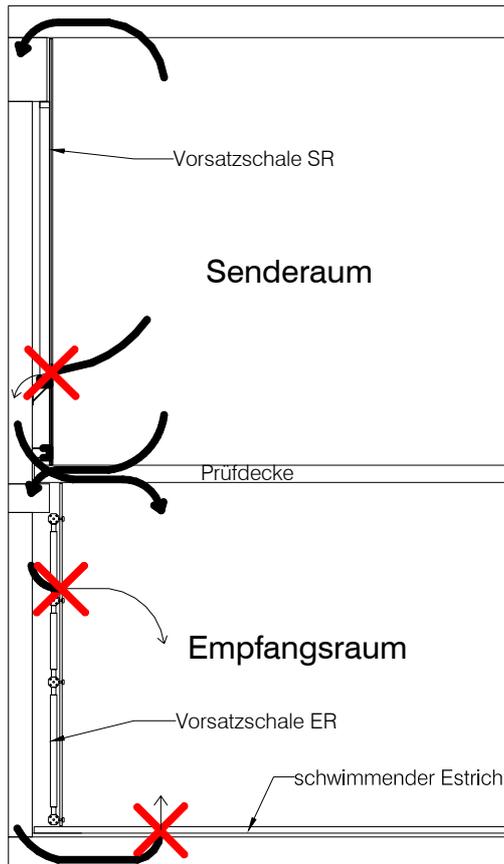
Die Messung der Luftschalldämmung nach DIN EN ISO 140-3 und des Norm-Trittschallpegels nach DIN EN ISO 140-6 erfolgen in Prüfständen mit unterdrückter Flankenübertragung.

DIN EN ISO 140-1 [17] beschreibt die Anforderungen, die an einen Prüfstand mit unterdrückter Flankenübertragung zur Messung der Schalldämmung von Bauteilen gestellt werden. Es wird unterschieden zwischen Prüfständen für die Messung der Luftschalldämmung (Abschnitt 3) und Prüfständen für die Messung der Trittschalldämmung (Abschnitt 4). Nachfolgend soll der Deckenprüfstand des LaSM für die schalltechnische Untersuchung der LenoTec®-Decke auf Einhaltung dieser Anforderungen überprüft werden.

### A.3.1 Flankenübertragung

Die Schallabstrahlung von flankierenden Bauteilen soll unterdrückt und/ oder eine bauliche Trennung zwischen Sende- und Empfangsraum gewährleistet sein (DIN EN ISO 140-1, 1).

Abbildung 75 verdeutlicht die Situation, die aufgrund dieser Forderung im Prüfstand der FH Rosenheim geschaffen wurde.



**Abbildung 75 unterdrückte Schallabstrahlung der flankierenden Bauteile**

Im Senderraum wird der direkte Schalleintrag in die begrenzenden Wände mit Hilfe einer biegeweichen Vorsatzschale unterdrückt. Diese besteht aus einer Konstruktion aus Gipskartonplatten (2 x 12,5 mm Knauf Piano) und einer leichten, ausgedämmten Metallständer-Unterkonstruktion. Um einen direkten Verbund zwischen Vorsatzschale und Prüfdecke zu vermeiden, ist die Unterkonstruktion der Vorsatzschale auf Konsolen montiert (Abbildung 76, Abbildung 77). Zusätzlich ist die Vorsatzschale horizontal geteilt und unterhalb der Konsolen elementweise demontierbar. So kann die Prüfdecke ohne komplette Demontage der Vorsatzschale ausgewechselt werden. Die Anschlussfugen der Vorsatzschale an Prüfdecke und Senderraumdecke sowie die Stossfugen der Vorsatzschalenelemente sind mit dauerelastischem Kit abgefugt (siehe auch Abbildung 81).



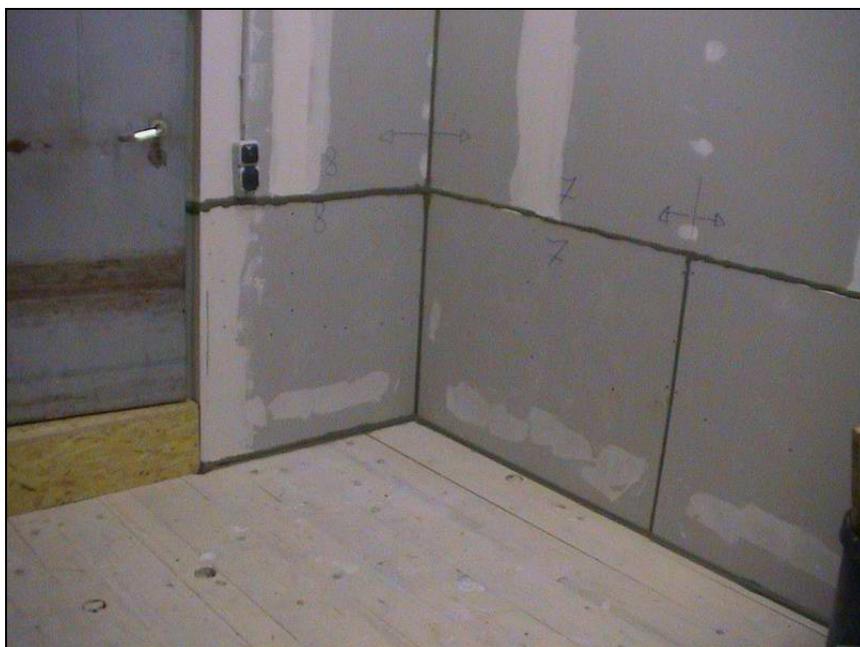
**Abbildung 76 Konsolen für die Vorsatzschale im Senderraum**



**Abbildung 77 Unterkonstruktion für Vorsatzschale im Senderraum**



**Abbildung 78 Unterkonstruktion für Vorsatzschale im Senderraum**



**Abbildung 79 fertige Vorsatzschale im Senderraum, Anschlussfugen verkittet**

Die Wände und der Unterzug im Empfangsraum sind ebenfalls mit einer biegeweichen Vorsatzschale versehen. Diese besteht aus OSB-Platten, die auf einer freitragenden Unterkonstruktion aus einem System auf Basis von Stahlrohren

montiert sind. Der Baukörper hinter der Vorsatzschale ist außerdem mit Mineralwolledämmplatten abgedämmt (vergleiche Abbildung 81, Abbildung 80).



**Abbildung 80 Unterkonstruktion für Vorsatzschale im Empfangsraum, abgedämmter Baukörper**

Die Übertragung von Schall über Baukörper und Bodenplatte des Prüfstandes in den Empfangsraum ist durch den schwimmenden Estrich im Empfangsraum behindert (Abbildung 75). Ein Einfluss der entscheidenden Flankenübertragungswege auf die Messergebnisse ist somit auszuschließen. In wie weit eine Flankenübertragung von der Senderraumdecke über das Kalksandsteingefach bzw. den Betonrahmen in die Prüfdecke stattfindet und so das Ergebnis der Prüfungen beeinflusst sollte eventuell noch weiter untersucht werden. Dies könnte im Rahmen der Ermittlung des Grenzschalldämm-Maßes des Prüfstandes erfolgen (siehe auch 0).

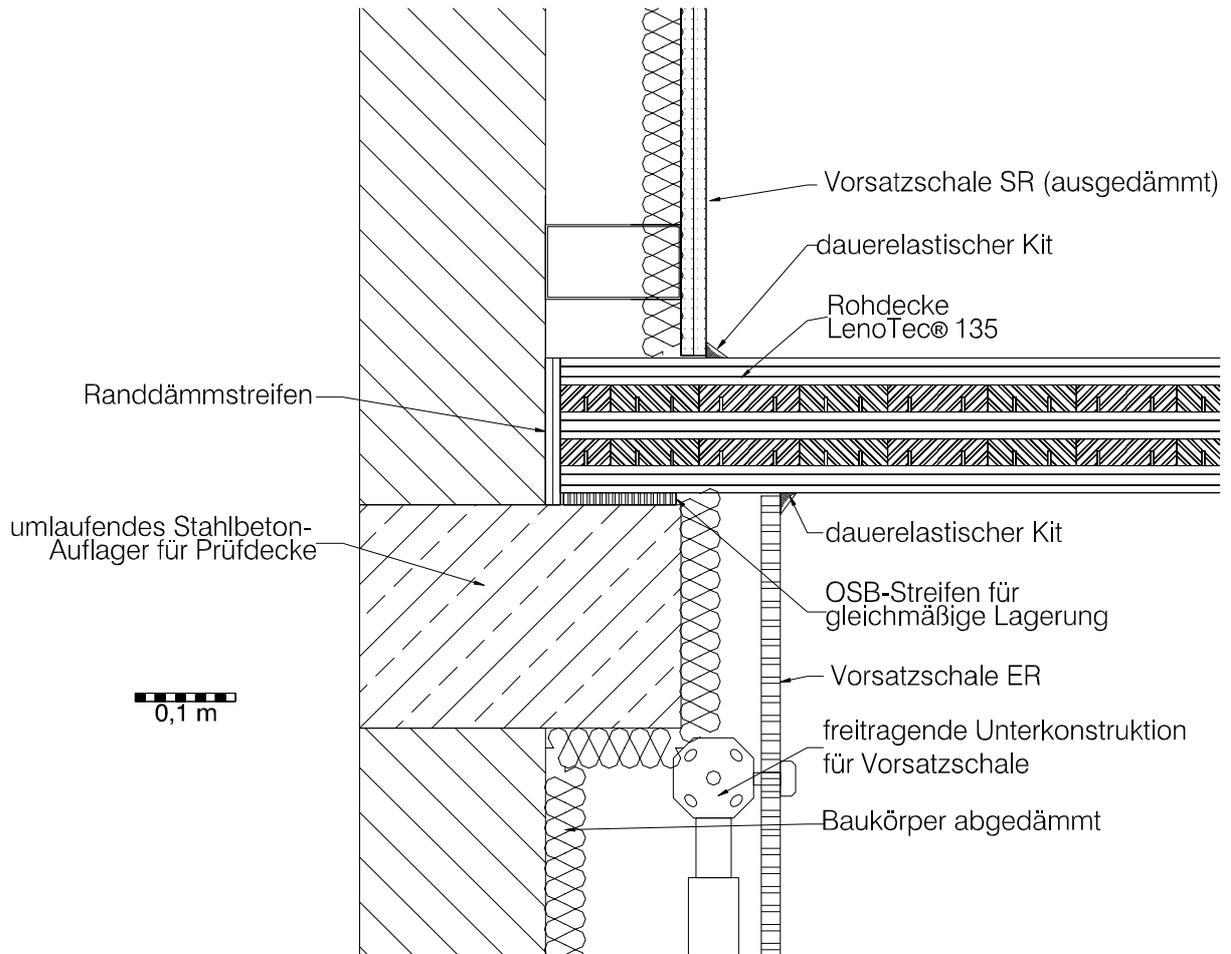


Abbildung 81 Auflagersituation der Prüfdecke

### A.3.2 Prüfräume, Prüföffnung und Prüfgegenstand

**Tabelle 33 Anforderungen an die Prüfräume nach DIN EN ISO 140-1**

Kriterium	Messung	Zustand im LaSM der FH Rosenheim	Anforderung eingehalten
Volumen SR > 50m <sup>3</sup>	Luftschall	V <sub>SR</sub> = 51,9m <sup>3</sup>	ja
Volumen ER > 50m <sup>3</sup>	Luftschall/ Trittschall	V <sub>ER</sub> = 96,4m <sup>3</sup>	ja
Unterschied zwischen V <sub>ER</sub> und V <sub>SR</sub> >10%	Luftschall	V <sub>ER</sub> /V <sub>SR</sub> ≈ 2	ja
Nachhallzeit im ER nicht übermäßig lang oder kurz, in tiefen Frequenzen zwischen 1s und 2s <sup>77</sup>	Luftschall/ Trittschall	siehe Kapitel A.3.7	
ausreichend niedriger Störpegel im ER (abhängig von Senderaumpegel und Schalldämm-Maß des Prüfgegenstandes)	Luftschall/ Trittschall	bei den Prüfungen jeweils gemessen und mit ausgewertet	ja
die über Nebenwege übertragene Schalleistung im Vergleich zu der durch den Prüfgegenstand vernachlässigbar klein	Luftschall	durch Vorsatzschalen und schwimmenden Estrich unterdrückt <sup>78</sup>	ja
Berücksichtigung des Energieverlustes durch umgebende Bauteile <sup>79</sup>	Luftschall	mit m' < 150 kg/m <sup>2</sup> liegt eine leichte Konstruktion des Prüfkörpers vor; es sind daher keine besonderen Voraussetzungen zu beachten	
Prüföffnung für Decken zwischen 10 und 20 m <sup>2</sup>	Luftschall/ Trittschall	≈ 15 m <sup>2</sup>	ja
kürzere Kantenlänge der Prüföffnung nicht kürzer als 2,3m	Luftschall/ Trittschall	≈ 4 m	ja
der Prüfkörper soll die gesamte Prüföffnung ausfüllen	Luftschall/ Trittschall	Prüfdecke ist auf Prüfstandsöffnung zugeschnitten	ja
diffuses Schallfeld im ER	Luftschall/ Trittschall	Maßnahmen nach Kapiteln A.3.5 und A.3.7	ja
bei stark unterschiedlichem Absorptionsgrad der Prüfteiloberflächen muss die stärker absorbierende Fläche zum Senderaum zeigen	Luftschall	bei Prüfung der Rohdecke keine Abweichung, bei den Deckenaufbauten einzeln zu prüfen	
ausreichend große Luftschalldämmung zwischen SR und ER damit bei Trittschallanregung der erzeugte SR-Pegel das Ergebnis (ER-Pegel) nicht beeinflusst	Trittschall	die Trittschallmessungen werden zu dem normalen Verfahren mit einem Verfahren vermessen, das den Luftschallanteil berücksichtigt (in Anlehnung an DIN EN ISO 140-7)	ja (die Ergebnisse der beiden Verfahren sind weitgehend identisch)

Die Anforderung an die Prüfräume sind in Abschnitt 3.1 (Luftschalldämmung) und 4.1 (Trittschalldämmung) der DIN EN ISO 140-1 geregelt. Tabelle 33 fasst die

<sup>77</sup> bei Abweichung sind weitere Untersuchungen notwendig (siehe Kapitel A.3.7)

<sup>78</sup> das Maximalschalldämm-Maß (Grenzdämm-Maß) des Prüfstandes ist noch nicht untersucht worden und kann auch nach dem Verfahren in DIN EN ISO 140-1, Anhang A für die Holzmassivdecke nicht abgeschätzt werden

<sup>79</sup> bei leichten Konstruktionen des Prüfkörpers sind keine besonderen Voraussetzungen zu beachten

Anforderungen an den Prüfstand zusammen, die bei der Untersuchung von Decken zu beachten sind und vergleicht diese mit der vorhandenen Situation im LaSM.

### A.3.3 Messgeräte

Die bauakustischen Untersuchungen in einem Prüfstand haben nach DIN EN ISO 140 3, 6 mit einer technischen Messausstattung nach folgenden Vorgaben zu erfolgen (Tabelle 34).

**Tabelle 34 Vorgaben an die technische Messausstattung**

Gerät	Aufgabe	Anforderung	Verwendete Geräte
Lautsprecher, Verstärker, Rauschgenerator (nur für Luftschall)	Erzeugung des Schallfeldes im SR	stationäres Schallfeld mit kontinuierlichem Spektrum, weißes oder rosa Rauschen wird empfohlen; ausreichend hohe Schallleistung, damit der Schalldruckpegel im ER mindestens 15dB über dem Hintergrundpegel liegt	Lautsprecher: Dodekaeder Nor-229 Ser.-Nr. 25588  Verstärker FG Elektronik E246
Lautsprecher (nur für Luftschall)		gleichmäßige Rundumabstrahlung, empfohlen wird die Anordnung mehrere Lautsprecher in einem Dodekaeder, Anordnung der Lautsprecher im Raum nach A.3.5	
Mikrofone	Abtastung des Schallfeldes	feststehende Mikrofone oder kontinuierlich bewegte Mikrofone im SR und ER, Kalibrierung vor jeder Messung, Anordnung der Mikrofonpositionen nach A.3.4	Mikrofon1: B&K 4165 Ser.-Nr. 1287808 Vorverstärker1: B&K 2639 Ser.-Nr. 1285731  Mikrofon2: B&K 4165 Ser.-Nr. 1287807 Vorverstärker2: B&K 2619 Ser.-Nr. 734948
Analysator	Filterung (in Terzen), Aufzeichnung, Mittelung und Speicherung der Messdaten	messen der Schalldruckpegel terzgefiltert in den Terzmittenfrequenzen von 100-5000Hz (erweitert zusätzlich von 50-80Hz),	Real Time Analyser Nor RTA840-2 von Norsonic Ser.-Nr. 25884
Norm-Hammerwerk (nur für Trittschall)	Erzeugung des Trittschalls	Anforderung an Hammergeometrie und -gewicht, Anregungsfrequenz, Aufschlaggeschwindigkeit, Eichung u.a. sind in DIN EN ISO 140-6, Anhang A geregelt; Anordnung der Hammerwerkspositionen nach 0	Nor-211 Ser.-Nr. 20423

Die verwendeten Messgeräte erfüllen die Anforderungen. Die Messkette wird während der Messungen zu dieser Arbeit mehrmals durch Wiederholungsmessungen auf ein konstantes Messergebnis überprüft.

### A.3.4 Festlegen von Mikrofonpositionen

Im LaSM stehen Vorrichtungen zur Verfügung, die ein Arbeiten mit bewegten Mikrofonen erlauben. Im SR kann das Mikrofon inklusive Schwenkmotor von der Senderaumdecke abgehängt werden (Abbildung 82). So ist eine kontinuierliche Bewegung möglich.



**Abbildung 82 abgehängtes Mikro im SR mit Schwenkmotor**

Im ER ist die Schwenkvorrichtung auf einem Stativ montiert. Hier wird das Mikrofon in einer Schwenkbewegung mit einem Schwenkbereich von 330° geführt (vergleiche dazu Abbildung 99, Seite B4 und Abbildung 107, Seite C5).

Bei Abtastung des Schallfeldes mit bewegten Mikrofonen sind für Luft- und Trittschallmessungen nach DIN EN ISO 140-3 und DIN EN ISO 140-6 Mikrofonpositionen nach folgenden Vorgaben auszuwählen.

**Tabelle 35 Vorgaben für die Auswahl der Mikrofonpositionen nach DIN EN ISO 140-3 und 6 bei Verwendung bewegter Mikrofone**

Kriterium		Senderraum		Empfangsraum	
		Luftschall	Trittschall (bei Messung mit Luftschall- anteil)	Luftschall	Trittschall
Anzahl Positionen		2 (siehe 0)	1	1	1
Mindest- abstände (bei Messung in tiefen Frequenzen <sup>80</sup> )	Mikrofone untereinander	0,7 m (1,2 m)		0,7 m (1,2 m)	
	zur Schallquelle	1,0 m und außerhalb des Direktfeldes der Schallquelle <sup>81</sup>		-	
	zum Prüfgegenstand	1,0 m (1,2 m)		1,0 m (1,2 m)	
	zu den Raum- begrenzungs- flächen oder Diffusoren	0,7 m (1,2 m)		0,7 m (1,2 m)	
Umlaufbahn	Mindest- bahnradius	1,0m			
	Mindestneigung gegen Begrenzungs- flächen	10°			
	minimale Bahnperioden- dauer	15s			

<sup>80</sup> in tiefen Frequenzen sind nach DIN EN ISO 140-3, Anhang F bzw. DIN EN ISO 140-6, Anhang C größere Mindestabstände gefordert; da im Rahmen dieser Arbeit in möglichst tiefen Frequenzen realistische Ergebnisse erzielt werden sollen, sind nach Möglichkeit die entsprechenden Mindestabstände für die tiefen Frequenzen (Klammerwerte) einzuhalten

<sup>81</sup> bei gleichmäßiger ungerichteter Strahlung der Schallquelle (davon kann bei dem verwendeten Dodekaeder ausgegangen werden) ist der Mindestabstand  $d_{\min}=0,1 \cdot (V/(\pi \cdot T))^{1/2}$  (möglichst doppelt so hoch), bei dem SR im LaSM entspricht dieser doppelte Wert in etwa 1,0 m

### A.3.5 Festlegen von Lautsprecherpositionen

Für die Messung des Schalldämm-Maßes schreibt DIN EN ISO 140-3 in Abschnitt 6.1 allgemein vor, dass die Anordnung der Lautsprecher so gewählt werden soll, dass ein möglichst diffuses Schallfeld erzeugt wird und dass der Prüfgegenstand überwiegend nicht im direkten Schallfeld liegt. Ein genaues Verfahren für die Ermittlung der benötigten Anzahl und der Lage der Lautsprecherpositionen ist in Anhang C dieser Norm beschrieben.

Dieses Verfahren soll mit einem Prüfgegenstand durchgeführt werden, der in dem relevanten Frequenzbereich (100 – 315Hz) die Werte für das Schalldämm-Maß nach DIN EN ISO 140-3, Tabelle C.2 nicht überschreitet. Die Gegenüberstellung in Tabelle 36 zeigt auf, dass das Schalldämm-Maß der im Prüfstand befindlichen LenoTec®-Rohdecke die Maximalwerte teilweise leicht überschreitet. Diese Überschreitung ist aber zulässig, da die Anmerkung 12 der DIN EN ISO 140-3 darauf hinweist, dass das Prüfverfahren auch mit einem Prüfgegenstand durchgeführt werden darf, das den hauptsächlich verwendeten Typ repräsentiert. Das beschriebene Verfahren zur Bestimmung der Lautsprecherpositionen ist also mit der LenoTec®-Rohdecke möglich.

**Tabelle 36 maximales Schalldämm-Maß für Ermittlung der LS-Positionen**

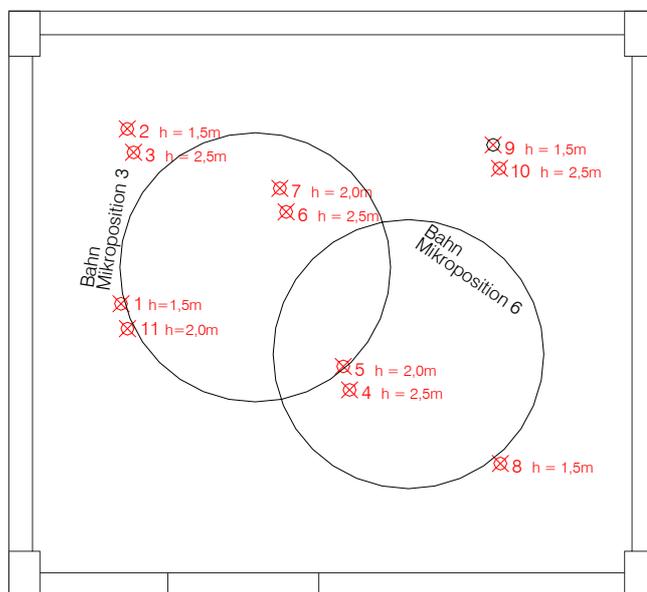
Frequenz in Hz	max. R in dB nach DIN EN ISO 140-3, Tabelle C.2	R <sub>LenoTec-Rohdecke</sub> in dB nach Abbildung 27 S.98
100	27	29
125	28	32
150	29	31
200	30	31
250	31	29
315	32	30

Nach dem Verfahren müssen zunächst  $m$  Positionen ( $m = 152/V^{2/3}$ ; für den SR im LaSM also 11 Positionen) ausgewählt werden, die folgende Kriterien erfüllen:

- mindestens 0,7m Abstand untereinander; bei mindestens zwei Positionen wenigstens 1,4m Abstand untereinander

- Abstand zwischen Raumbegrenzung und Mittelpunkt der Schallquelle mindestens 0,7m
- keine symmetrische Anordnung hinsichtlich der Achse oder zentralen Ebene des Senderraumes
- keine Positionen in der gleichen Ebene parallel zu den Raumbegrenzungen, mindestens 0,1m Abstand zwischen diesen Ebenen
- genaue Reproduzierbarkeit der Position sowie der Orientierung der Lautsprecher

Diese vorläufigen Lautsprecherpositionen im LaSM werden nach Abbildung 83 fixiert<sup>82</sup>. Die Reproduzierbarkeit der Positionen wird sichergestellt, indem der Lautsprecher an Ketten angebracht wird, die von der Decke abgehängt sind. Um den Raum gut abtasten zu können und die Mindestabstände zwischen Schallquelle und Mikrofon einhalten zu können, werden zwei Mikrofonbahnen festgelegt. Jeder Mikrofonposition ist eine bestimmte Lautsprecherposition zugeordnet. Es entstehen feste Mikro-Lautsprecher-Kombinationen.



**Abbildung 83 vorläufige Lautsprecherpositionen**

<sup>82</sup> die Anforderung des Mindestabstandes der Ebenen zueinander wird nicht immer eingehalten

Für alle festgelegten Kombinationen wird die Differenz  $D$  zwischen Sende- und Empfangsraumpegel gemessen und ihre Standardabweichung  $s_i$  für die Terzbänder zwischen 100 und 315 Hz nach Gleichung 18 bestimmt.

**Gleichung 18:**

$$s_i = \sqrt{\left[ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (D_{j,i} - \mu_i)^2 \right]}$$

- $s_i$  Standardabweichung der Pegeldifferenzen im i-ten Frequenzband  
 $m$  Anzahl getesteter Lautsprecherpositionen  
 $D_{j,i}$  Pegeldifferenz für die j-te Lautsprecherposition im i-ten Frequenzband  
 $\mu_i$  arithmetischer Mittelwert der Pegeldifferenzen im i-ten Frequenzband

Die eigentlichen Luftschallmessungen für die Bestimmung des Schalldämm-Maßes des Prüfgegenstandes sind mit  $N$  Lautsprecherpositionen durchzuführen, wobei  $N$  nach folgenden Bedingungen bestimmt wird:

- $N \geq 2$
- $N \geq (s_i / \sigma_i)^2$  mit  $s_i$  nach Gleichung 18 und  $\sigma_i$  maximale Standardabweichung für das i-te Frequenzband nach DIN EN ISO 140-3, Tabelle C.1
- $N \geq (\sum s_i / 4,8 \text{ dB})^2$

Aus Tabelle 37 ergibt sich  $N = 3$  für den Senderraum im LaSM.

**Tabelle 37 Bestimmung von  $N$  für Senderraum (Mittelwert und Standardabweichung aus den 11 Messungen)**

Differenz SR-ER					
Frequenz $i$ in Hz	Mittelwert in dB	SD in dB	$\sigma$ in dB	$(SD/\sigma)^2$	SD/4,8dB
20	14,83		2,43		
25	13,36		3,16		
31,5	23,85		1,22		
40	31,12		2,07		
50	26,53		1,97		
63	23,21		1,66		
80	26,81		5,68		
<b>100</b>	<b>29,06</b>	<b>2,34</b>	<b>1,4</b>	<b>2,79</b>	<b>0,49</b>
<b>125</b>	<b>30,26</b>	<b>1,59</b>	<b>1,2</b>	<b>1,75</b>	<b>0,33</b>
<b>160</b>	<b>29,81</b>	<b>1,28</b>	<b>1</b>	<b>1,64</b>	<b>0,27</b>
<b>200</b>	<b>28,51</b>	<b>1,09</b>	<b>0,8</b>	<b>1,86</b>	<b>0,23</b>
<b>250</b>	<b>28,45</b>	<b>0,95</b>	<b>0,8</b>	<b>1,40</b>	<b>0,20</b>
<b>315</b>	<b>28,88</b>	<b>0,75</b>	<b>0,8</b>	<b>0,88</b>	<b>0,16</b>
400	30,78		0,49		
500	32,57		0,41		
630	33,85		0,49		
800	36,32		0,24		
1000	38,65		0,31		
1250	40,94		0,32		
1600	42,46		0,30		
2000	43,91		0,27		
2500	45,16		0,33		
3150	47,09		0,33		
4000	46,01		0,38		
5000	45,49		0,44		
6300	47,46		0,44		
8000	47,59		0,44		
10000	44,38		0,68		
Summe (R-MW) <sup>2</sup> für 100 - 315 Hz					
<b>(Summe SD/4,8)<sup>2</sup></b>					<b>2,77</b>

Anschließend muss festgelegt werden, welche  $N$  getesteten Mikro-Lautsprecher-Kombinationen geeignet sind. Dazu wird die Summe  $S_j$  für jede Lautsprecherposition  $j$  nach gebildet.

**Gleichung 19:**

$$S_j = \sum_{i=1}^6 (D_{j,i} - \mu_i)^2$$

$S_j$  Summe der quadratischen Abweichungen der Pegeldifferenzen vom Mittelwert

Die  $N$  Positionen für die  $S_j$  am kleinsten ist, werden schließlich ausgewählt. Das Diagramm in Abbildung 84 trägt die für den Senderraum ermittelten  $S_j$ -Werte der verschiedenen Lautsprecherpositionen auf. Zur Auswahl kommen danach die LS-Positionen 1,4 und 6. Da die Position 4 aus messtechnischer Sicht ungünstig liegt<sup>83</sup>, kann vertreten werden, auf Position 10 zurückzugreifen.

<sup>83</sup> Kabelführung für bewegtes Mikrofon

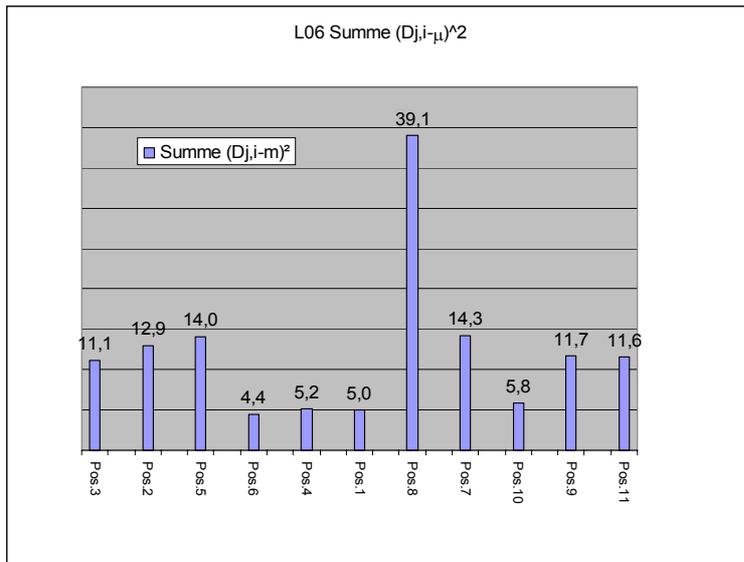


Abbildung 84 Auswertung der Vorauswahl der LS-Positionen

Die Luftschallmessungen im Rahmen dieser Arbeit werden also mit den folgenden drei Lautsprecher-Mikrofon-Kombinationen durchgeführt.

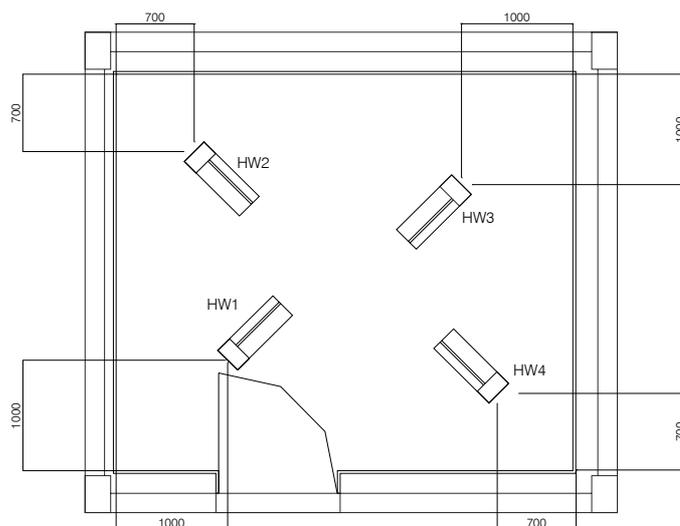
LS-Position	Mikro-Position
1	6
6	6
10	3

### A.3.6 Festlegen von Hammerwerkspositionen

Die Hammerwerkspositionen für die Trittschallpegelmessung nach DIN EN ISO 140-6 sind nach folgenden Bestimmungen aus dieser Norm festzulegen:

- mindestens vier Positionen
- Positionen unregelmäßig auf der zu prüfenden Decke verteilt
- Abstand des Hammerwerkes zu den Deckenkanten mindestens 0,5m
- Verbindungslinie der Hämmer im Winkel von  $45^\circ$  zu den Balken oder Rippen (nur bei anisotropen Deckenaufbauten)

Demnach werden für die Ermittlung der Norm-Trittschallpegel in dieser Arbeit Hammerwerkspositionen nach Abbildung 85 festgelegt.



**Abbildung 85 Hammerwerks-Positionen**

### A.3.7 Nachhallzeit im Empfangsraum

Die Nachhallzeit im Empfangsraum beeinflusst die Messergebnisse von Luft- und Trittschallmessungen. Deshalb sind in der Normenreihe DIN EN ISO 140 Anforderungen an die Nachhallzeit gestellt und eine Nachhallkorrektur der Messergebnisse eingeführt.

a) Messung der Nachhallzeit gemäß DIN EN ISO 354:

Die Nachhallzeit  $T$  im Empfangsraum des Prüfstandes sollte nicht übermäßig lang oder kurz sein (DIN EN ISO 140-1, 3.1 und 4.1). In tiefen Frequenzen soll  $T$  zwischen 1s und 2s liegen. Falls dies nicht der Fall ist, muss überprüft werden, ob die gemessene Schalldämmung bzw. der Trittschallpegel des Prüfgegenstandes von der Nachhallzeit abhängen. Ist diese Abhängigkeit feststellbar, obwohl Diffusoren im Raum angebracht sind, muss die Nachhallzeit in tiefen Prüffrequenzen auf Werte zwischen 1s und  $2 \cdot (V/50)^{2/3}$ s (für ER mit  $V = 92\text{m}^3$  ergeben sich hier 3s) eingestellt werden.

Für die Messungen dieser Arbeit sollen möglichst ideale Prüfbedingungen herrschen. Ziel ist deshalb zunächst, die Nachhallzeit auf Werte zwischen 1s und 2s in allen relevanten Frequenzen (50 – 5000 Hz) einzustellen.

Die Nachhallzeit wird nach den Vorschriften der DIN EN ISO 354 [24] ermittelt. Danach muss in dem Prüfraum mittels geeignetem Lautsprecher ein möglichst diffuses Schallfeld erzeugt werden. Es ist entweder ein breitbandiges Spektrum (rosa Rauschen) oder terzgefiltertes Rauschen zu erzeugen. Die Anregungszeit vor dem Abschalten muss so lange gewählt werden, dass sich ein stationäres Schallfeld einstellt.

Nach Abschalten der Schallquelle wird terzbandweise gemessen, welche Zeit verstreicht bis der Schalldruckpegel um einen bestimmten Wert abgenommen hat. Dieser Wert muss mindestens 20dB betragen. In der Praxis werden hier üblicherweise 20dB (T20) oder 30dB (T30) verwendet. Der Abklingverlauf darf nicht so lang sein, dass er nicht mehr durch eine Gerade angenähert werden kann. Die Messung der Nachhallzeit beginnt etwa 0,1s nach Abschalten der Schallquelle oder wenn der Schalldruckpegel um einige dB gesunken ist. Diese Forderung resultiert aus der Tatsache, dass der Abklingvorgang zu Beginn (Early Decay Time EDT) eine

große Platzabhängigkeit aufweist und deshalb nicht repräsentativ für den betrachteten Raum ist. Erst nach verstreichen der EDT kann der Abklingvorgang für die Beurteilung der akustischen Qualität des Raumes herangezogen werden ([7], Seite 141 f.). Der Schalldruckpegel am Ende der Messung muss mindestens 10 dB über dem Fremdgeräuschpegel liegen. Der prinzipielle Verlauf eines Abklingvorganges ist in Abbildung 86 dargestellt. Die Nachhallzeit benachbarter Terzbänder darf sich nicht um mehr als Faktor 1,5 voneinander unterscheiden.

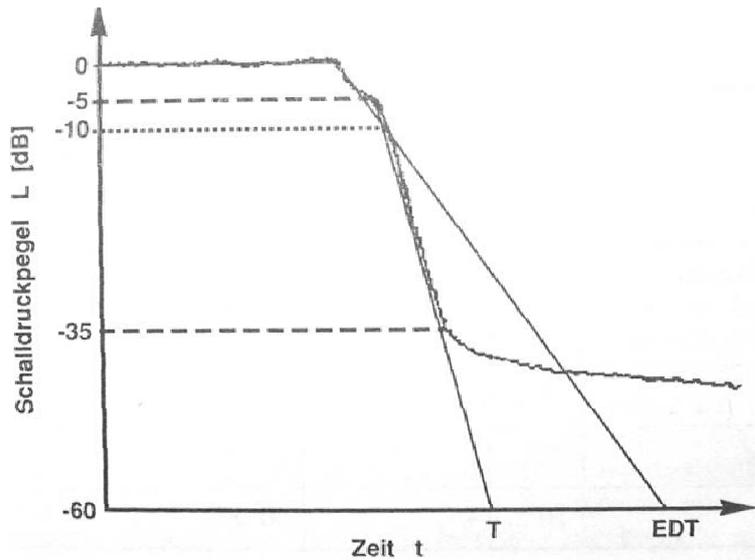


Abbildung 86 Prinzip eines Abklingvorganges<sup>84</sup>

Für jedes betrachtete Frequenzband sind mindestens zwölf Abklingverläufe zu ermitteln (bei Frequenzen unter 250 Hz). Dazu sind mindestens an einer Lautsprecherposition und drei Mikrofonpositionen Abklingverläufe auszuwerten. Beispielsweise können für sechs verschiedene Lautsprecher-Mikro-Kombinationen jeweils zwei Abklingverläufe ausgewertet werden. Die Nachhallzeiten der Abklingverläufe werden gemittelt und fließen dann in die Auswertung der bauakustischen Messungen ein.

Der Abstand der Lautsprecherpositionen untereinander muss mindestens 3 m betragen. Der Abstand der Mikrofonpositionen untereinander muss mindestens  $\lambda/2$  betragen<sup>85</sup>. Bei Messung bis hinab zu 50 Hz müssen also mindestens 3,44 m Abstand zwischen den Mikrofonpositionen eingehalten werden. Des Weiteren müssen Mikrofone

<sup>84</sup> entnommen aus [7], S. 141

<sup>85</sup>  $\lambda$  ist die Wellenlänge der betrachteten Frequenz; bei 50 Hz:  $\lambda = 6,88 \text{ m}$

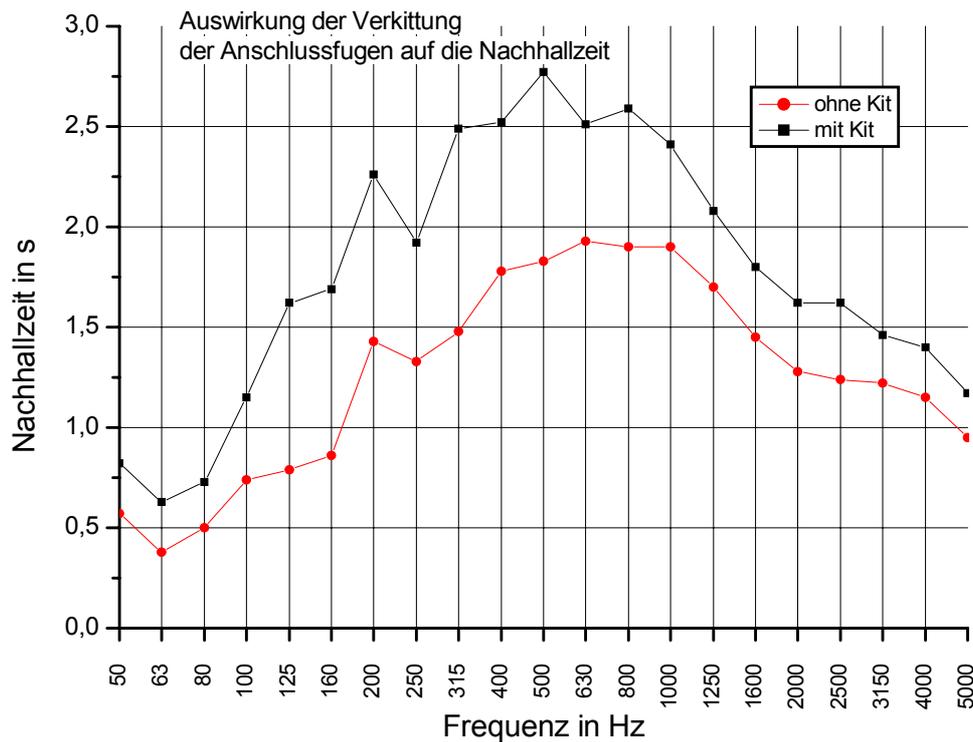
in einem Mindestabstand von 1,0 m zu Raumbooberflächen, Diffusoren und Prüfmaterial sowie 2,0 m zu einem Lautsprecher angeordnet werden.

b) Einstellen der Nachhallzeit:

Die Nachhallzeit eines Raumes ist vor allem von dem Absorptionsgrad der Materialien im Raum abhängig. Im Empfangsraum des LaSM besteht der Großteil der Oberflächen der Raumbegrenzungsflächen aus OSB-Platten (Vorsatzschale der Wände). Daneben bestehen der Boden aus Zementestrich, ein Teil der Decke aus Stahlbeton (Bezugsdecke) und der andere Teil der Decke aus Fichtenholz (Prüfdecke). Holzoberflächen haben aufgrund ihrer hohen Porosität einen vergleichsweise hohen Absorptionsgrad und führen somit zu niedrigen Nachhallzeiten. Es wird sich also eine relativ niedrige Nachhallzeit einstellen. Zudem kann die kubische und lang gestreckte Geometrie des Empfangsraumes zu einer unzureichenden Diffusität des Schallfeldes führen.

Die Nachhallzeit für den Empfangsraum im LaSM wird vorbereitend für die bauakustischen Messungen dieser Arbeit systematisch gemessen und schrittweise durch geeignete Maßnahmen eingestellt. Die wichtigsten Schritte dazu sollen nachfolgend aufgeführt werden.

Zu Beginn der Nachhalluntersuchungen sind die Anschlussfugen der Vorsatzschale noch nicht verkittet. Ansonsten ist der Empfangsraum fertig für die Prüfungen. Die ersten Messungen der Nachhallzeit erfolgen mit 2 verschiedenen Lautsprecher-Mikro-Kombinationen und jeweils 3 Abklingkurven (insgesamt 6 Abklingkurven). In Abbildung 87 sind die Nachhallzeiten mit und ohne verkittete Fugen dargestellt.



**Abbildung 87 Nachhallzeit im Empfangsraum mit und ohne verkittete Anschlussfugen**

Es zeigt sich, dass die Verkittung im gesamten Spektrum eine eindeutige Erhöhung der Nachhallzeit hervorgerufen hat. Dies dürfte auf den ausgedämmten Zwischenraum zwischen Vorsatzschale und Baukörper zurückzuführen sein. Durch die offenen Fugen treten Schallwellen in diesen Zwischenraum ein und werden dort durch den Dämmstoff stark absorbiert. Sind die Fugen verkittet, steht der Dämmstoff im Zwischenraum nicht mehr als Absorberfläche zur Verfügung und die Nachhallzeit erhöht sich dadurch.

Die Nachhallzeit in dem nun vorliegenden Zustand ist zum einen bis 80 Hz mit unter einer Sekunde zu niedrig. Zum anderen werden zwischen 315 und 1000 Hz Nachhallzeiten von mehr als 2s erreicht. In diesen Frequenzen sollte also nachgebessert werden.

Zunächst soll über „Reflektoren“ an den Wänden versucht werden, die Nachhallzeit (speziell in tiefen Frequenzen) zu erhöhen. Diese Reflektoren sind statistisch an den Wänden verteilte Blechelemente (Einlegeböden) (siehe Abbildung 88 und Abbildung 89).

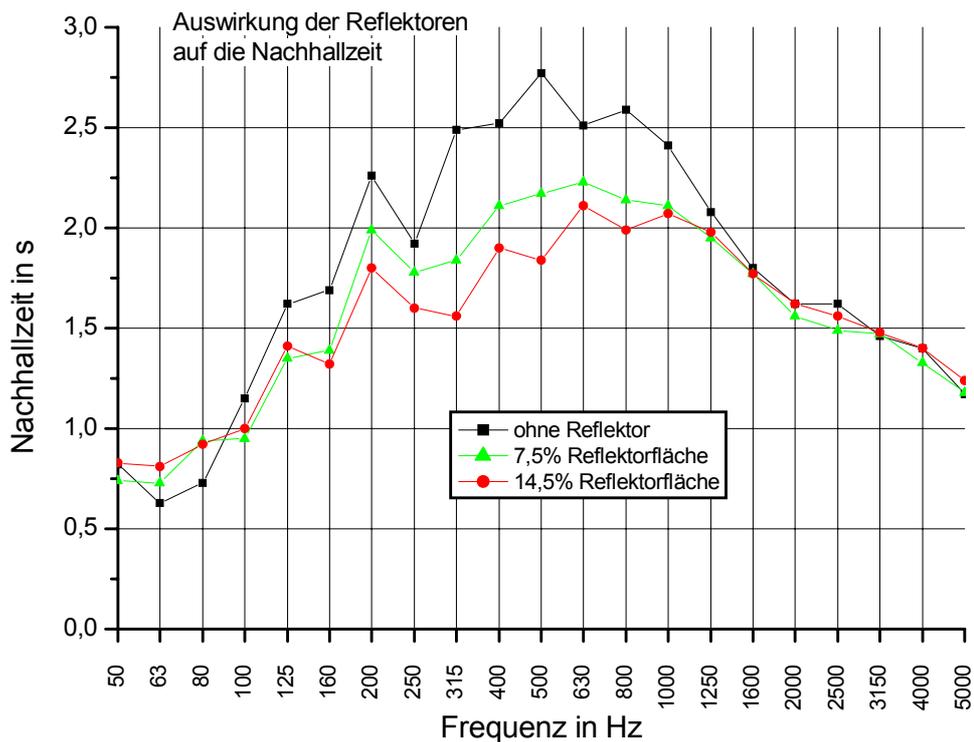


**Abbildung 88 Reflektoren an den ER-Wänden**



**Abbildung 89 Reflektor**

Die Anzahl dieser Reflektoren wird in zwei Schritten erhöht (7,5% und 14,5% der Wandoberfläche). Die Auswirkung der Reflektoren auf die Nachhallzeit ist in Abbildung 90 dargestellt.



**Abbildung 90 Auswirkung der Reflektoren an den Wänden auf die Nachhallzeit**

In tiefen Frequenzen sind leichte Erhöhungen der Nachhallzeiten erkennbar. Zwischen 100 und 1600 Hz werden durch die Reflektoren geringere Nachhallzeiten erzielt. Dies war nicht zu erwarten, ist aber vermutlich auf Resonanzen zwischen Reflektorfläche und Vorsatzschale zurückzuführen<sup>86</sup>. Die Elemente wirken dann als Plattenschwinger und führen so zu einer höheren Absorption in einem bestimmten Frequenzbereich ([7], S.81).

Bezüglich der Nachhallzeit im Empfangsraum haben die Reflektoren also zu einer Verbesserung geführt. Zum einen ist die Nachhallzeit dort gesenkt worden wo sie zu hoch gewesen ist (in den mittleren Frequenzen) und zum anderen dort erhöht worden wo sie zu niedrig gewesen ist (tiefe Frequenzen).

Als nächstes werden umfangreiche Untersuchungen zur Abhängigkeit der Nachhallzeit von der Lage im Raum angestellt. Dazu wird die Nachhallzeit mit einer Lautsprecherposition an 48 Mikropositionen gemessen. Unter den Mikropositionen sind auch solche, die die Mindestabstände nach a) nicht einhalten („unerlaubte

<sup>86</sup> durch die Aufkantung der Einlegeböden hat die Reflektorfläche etwa 15 mm Abstand zur Wandoberfläche (vergleiche Abbildung 89)

Positionen“). Abbildung 91 zeigt die Nachhallzeiten an den einzelnen Positionen in Abhängigkeit der Frequenz.

Messreihen: ps28-ps51  
 Ziel: Vergleich verschiedener Mikrofon-Positionen  
 Kanal1 rechte Reihe; 0,7m von Wand entfernt  
 Kanal2 linke Reihe (Tür); 1,2m von Wand entfernt

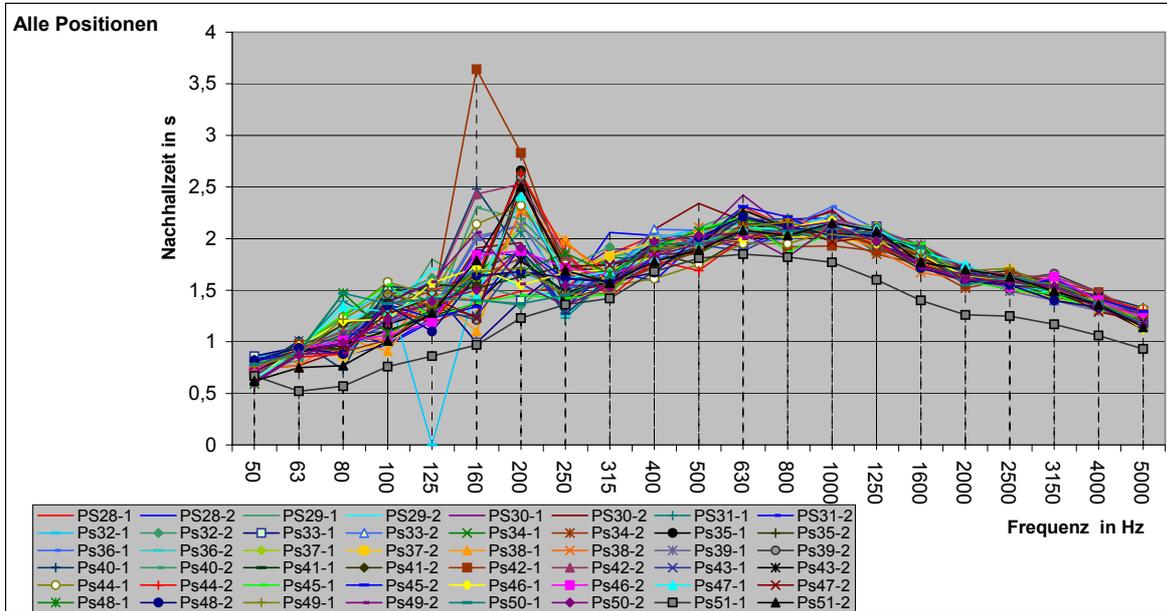


Abbildung 91 Nachhallzeit im ER in Abhängigkeit von der Lage im Raum

Es zeigt sich, dass vor allem in Frequenzen unter 315 Hz eine große Abhängigkeit der Nachhallzeit von der Position im Raum besteht. Des Weiteren sind bei 160 und 200 Hz über viele Positionen auffällige Spitzenwerte der Nachhallzeit vorhanden. Diese Spitzen können auf Raummoden zurückzuführen sein.

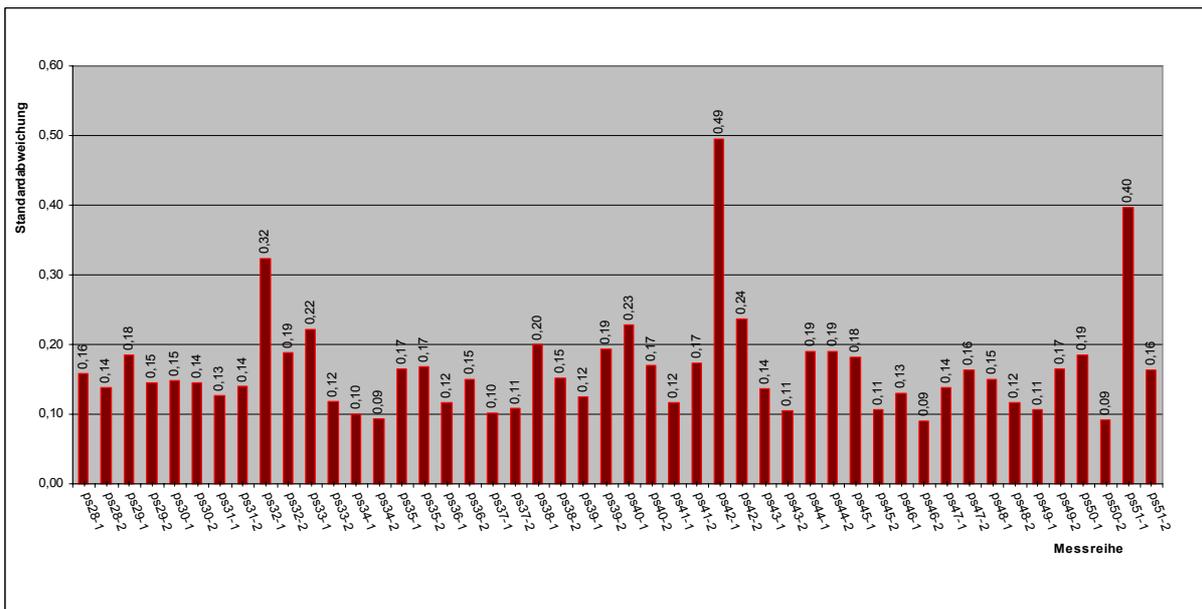


Abbildung 92 Standardabweichung der Nachhallzeit über alle Frequenzen

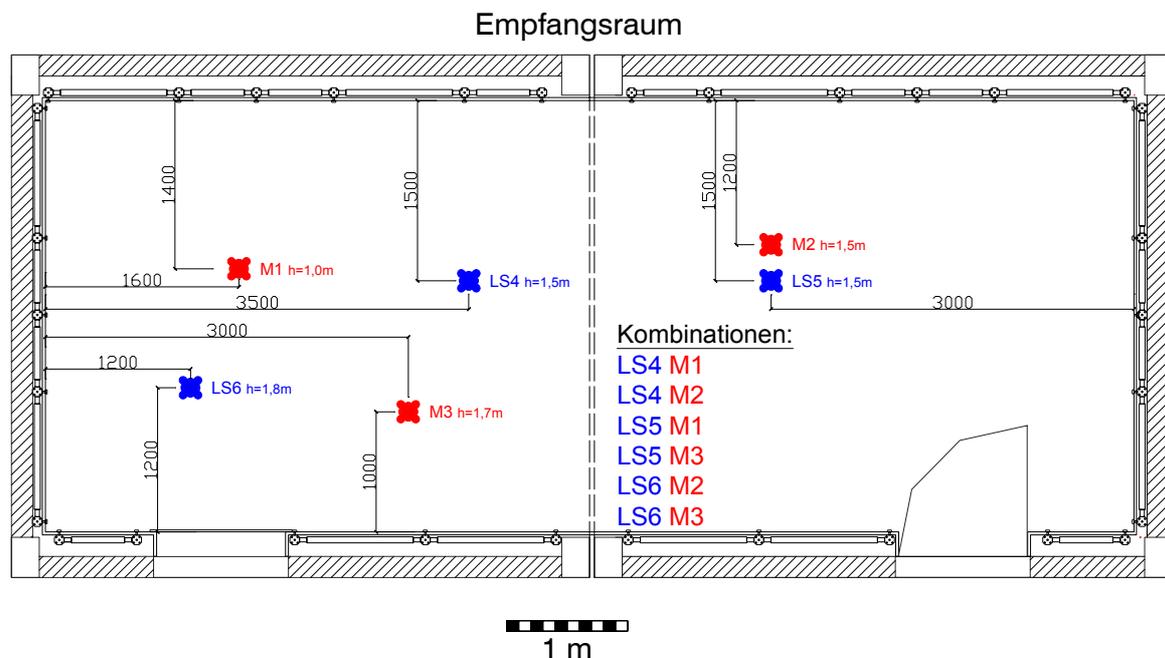
Abbildung 92 stellt die Standardabweichung der Nachhallzeit der einzelnen Messungen über alle Frequenzen dar. Die Standardabweichung ist ermittelt nach Gleichung 20:

**Gleichung 20:**

$$s_n = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{p=1}^m (T_{p,n} - \mu_n)^2}$$

- $s_n$  Standardabweichung der Nachhallzeit für die n-te Position  
 $m$  Anzahl der Frequenzbänder (hier 21)  
 $T_{p,n}$  Nachhallzeit für das p-te Frequenzband an der n-ten Position  
 $\mu_n$  arithmetischer Mittelwert der Nachhallzeiten im p-ten Frequenzband über alle Positionen.

Die Auswertung ergibt, dass im mittleren Bereich des Empfangsraumes („erlaubter Bereich“ für Mikropositionen) die geringeren Standardabweichungen  $s_n$  auftreten. Das Messen der Nachhallzeit außerhalb dieses Bereiches kann also zu nicht repräsentativen Werten führen. Aus diesen Erkenntnissen werden für die Nachhallmessungen sechs Mikrofon-Lautsprecherkombinationen bestimmt (Abbildung 93).



**Abbildung 93 LS-Mikro-Kombinationen für Messung der Nachhallzeit im ER**

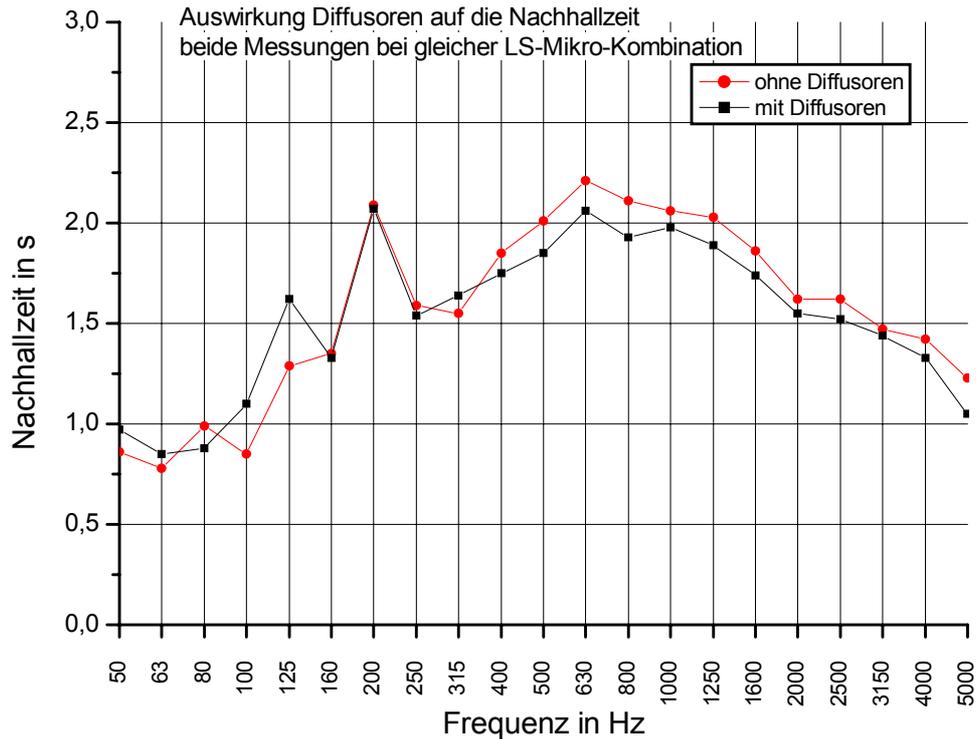
Die große Abhängigkeit der Nachhallzeit von der Position (Abbildung 91) lässt darauf schließen, dass das Schallfeld noch nicht ausreichend diffus ist. Dies ist auf den symmetrischen Aufbau des Raumes mit ausschließlich rechtwinklig angeordneten Begrenzungsflächen erklärbar, und durch schräg angeordnete Diffusoren in den Griff zu bekommen. Als Diffusoren sollen nach DIN EN ISO 354, Anhang A.1 gedämpfte Platten mit geringer Schallabsorption, einem Flächengewicht von mindestens  $5\text{kg/m}^2$  und einer Fläche zwischen  $0,8\text{m}^2$  und  $3,0\text{m}^2$  verwendet werden. Diese werden mit regelloser Orientierung, eventuell leicht gekrümmt über den ganzen Raum verteilt. Da bei den bauakustischen Untersuchungen mit einem bewegten Mikrofon im Empfangsraum gearbeitet werden soll, und zwischen Mikrofon und Diffusoren Mindestabstände einzuhalten sind (Kapitel A.3.4), ist beim Anbringen der Diffusoren darauf zu achten, dass um die gewählte Mikrofonposition ausreichend Raum frei bleibt. Diesen Vorgaben entsprechend werden im Empfangsraum Tafeln aus  $1\text{mm}$  starkem Stahlblech<sup>87</sup> aufgehängt (siehe Abbildung 94).



**Abbildung 94 Diffusoren im ER**

Einige systematische Tests mit verschiedenen Anordnungen der Diffusoren führen zu ihrer endgültigen Positionierung.

<sup>87</sup> Flächengewicht  $7,9\text{kg/m}^2$ ; Abmessungen  $1000 \times 2000 \text{ mm}$  ( $2\text{m}^2$ )



**Abbildung 95 Nachhallzeit im ER mit und ohne Diffusoren**

Neben der erhöhten Diffusität des Schallfeldes ist aufgrund anderer Flächenverhältnisse auch die Länge der Nachhallzeit von den Diffusoren beeinflusst. Den Zusammenhang zeigt Abbildung 95. Die Nachhallzeit in tiefen Frequenzen hat demnach zugenommen während ab 315Hz eine Abnahme der Nachhallzeit zu verzeichnen ist. Die Spitze bei 200Hz ist durch die Diffusoren nicht verändert worden.

Mit Hilfe von Absorbermatten an den Wänden (Glaswolle) soll versucht werden, diese Spitze zu senken und auch in den mittleren Frequenzen eine leichte Glättung der Kurve zu erzielen. Dabei soll die Nachhallzeit in den tiefen Frequenzen aber nicht beeinträchtigt werden. Der Vergleich von Messungen mit und ohne Absorbermatten verdeutlicht deren Auswirkung auf die Nachhallzeit (Abbildung 96).

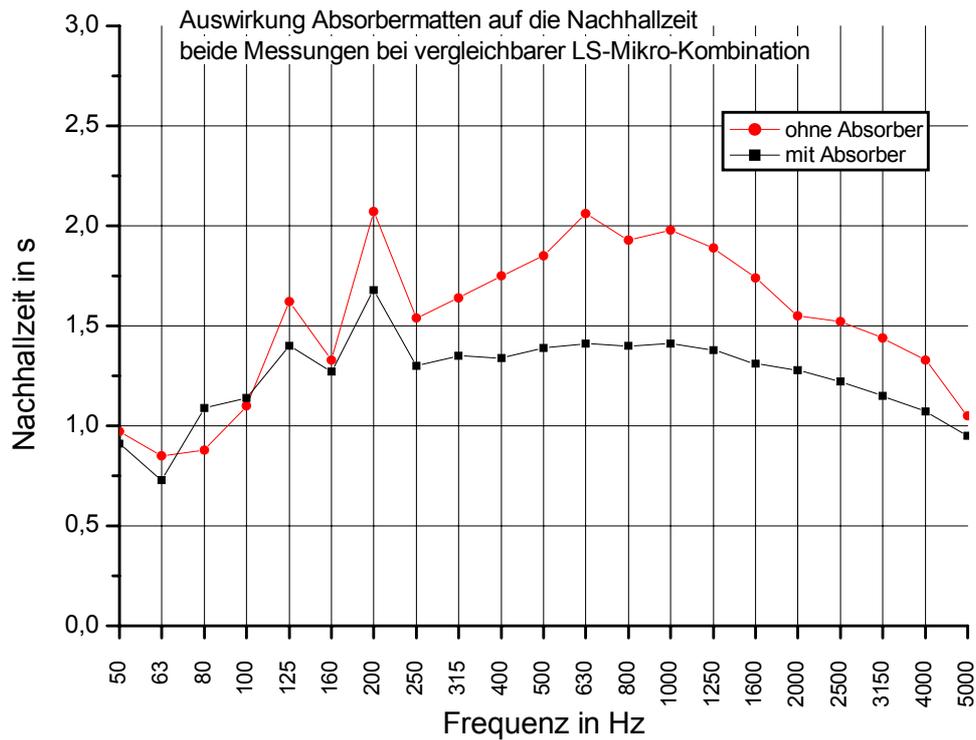
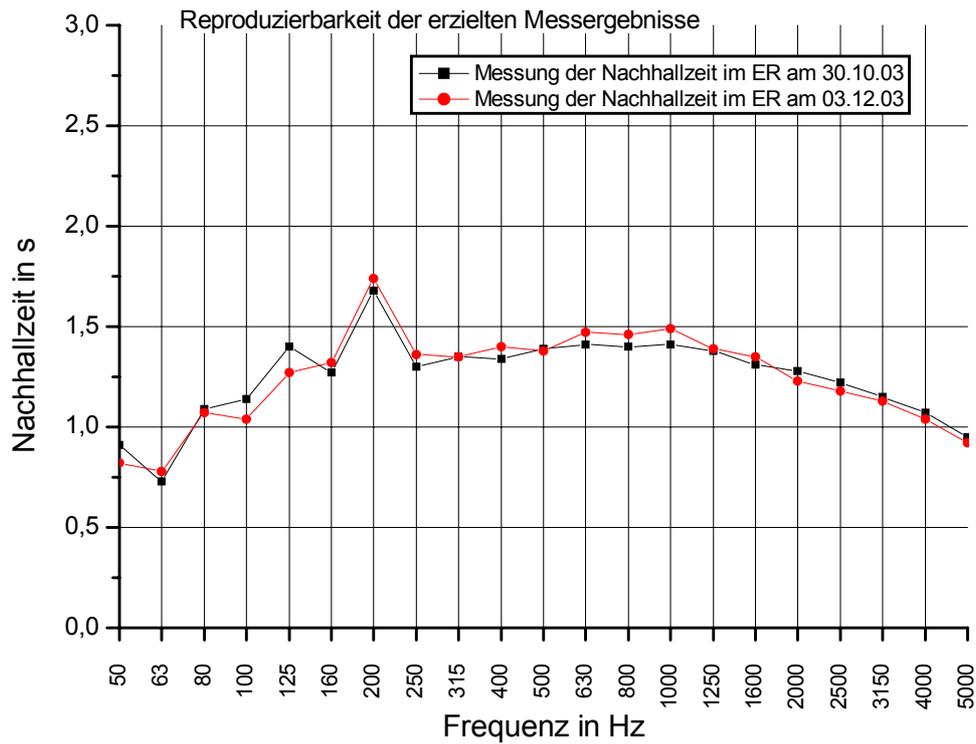


Abbildung 96 Nachhallzeit mit und ohne Absorbermatten<sup>88</sup>

Zu sehen ist, dass durch die Absorber ab 160 Hz die Nachhallzeit deutlich gesenkt wird. Ab 250 Hz liegt jetzt eine geglättete Kurve vor, die keine großen Sprünge der Nachhallzeit mit der Frequenz aufweist. Spitzen sind nach wie vor bei 125 und 200 Hz zu verzeichnen. Nachhallzeiten über 2s liegen aber nicht mehr vor. Ab 80 Hz wird empfohlene Mindestnachhallzeit von 1s eingehalten. Darunter wird sie leicht unterschritten. Der Empfangsraum sollte nun bezüglich der Nachhallzeit für die bauakustischen Messungen gut eingestellt sein.

Abschließend soll noch überprüft werden, wie gut die Wiederholgenauigkeit der Nachhalluntersuchung bei ansonsten gleichen Bedingungen ist. Abbildung 97 zeigt die Ergebnisse von Nachhalluntersuchungen, die in etwa einem Monat Abstand voneinander angestellt worden sind.

<sup>88</sup> die Messungen sind nicht mit exakt gleichen LS-Mikro-Kombinationen durchgeführt worden; ein genauer Vergleich ist daher nicht möglich, Tendenzen können aber abgelesen werden



**Abbildung 97 Wiederholungsmessung der Nachhallzeit im ER**

Die Abweichungen der beiden Kurven sollten tolerierbar sein. Dies zeigt sich noch deutlicher, wenn man die Auswirkung der Abweichung auf die Nachhallkorrektur des Trittschallpegels der Rohdecke betrachtet (Abbildung 98). Die Korrektur mit den unterschiedlichen Nachhallzeiten bei sonst gleich bleibenden Eingangsdaten ergibt nahezu identische Verläufe des Norm-Trittschallpegels über die Frequenz. Dementsprechend ergibt sich auch keine Änderung des Einzahlwertes  $L_{n,w}$  (bei Auswertung in 0,1dB-Schritten).

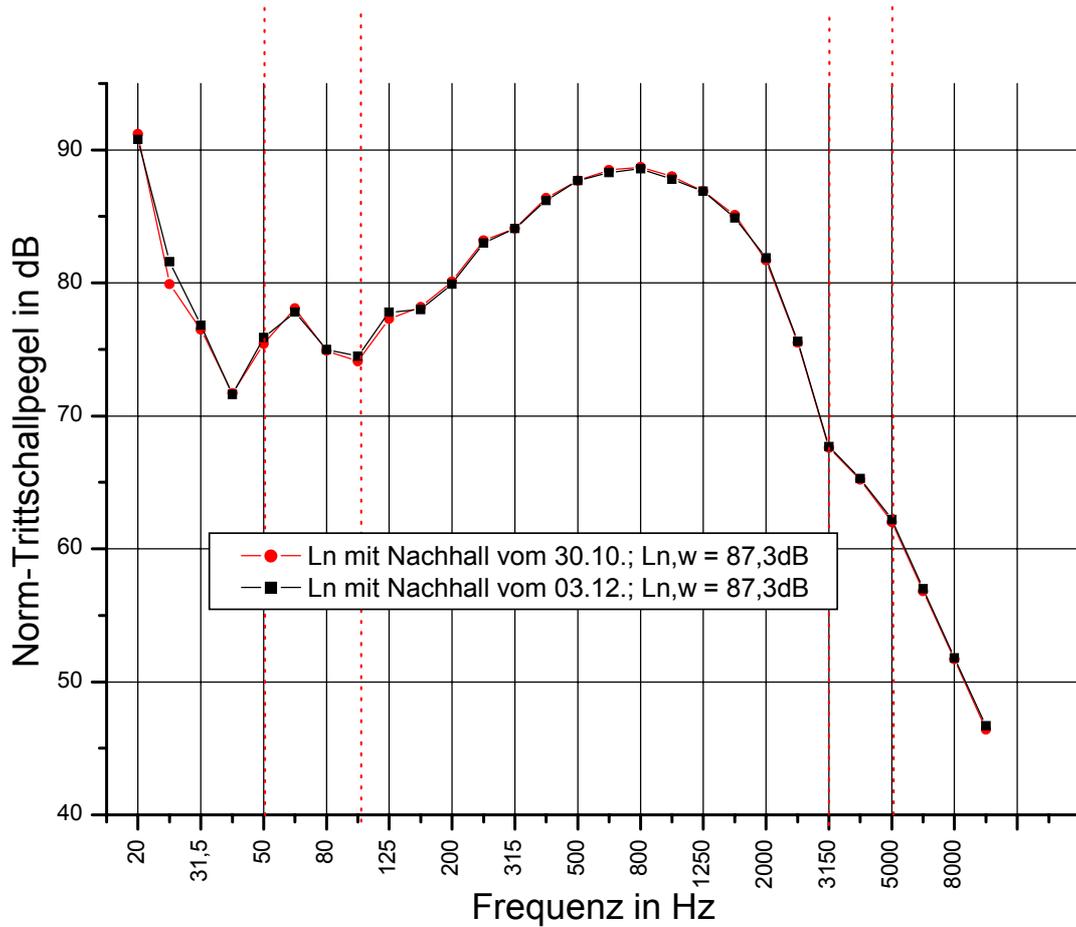


Abbildung 98 Norm-Trittschallpegel der Rohdecke bei Auswertung mit den Nachhallzeiten aus Messung und Wiederholungsmessung

## B Messung und Bewertung des Schalldämm-Maßes

Die Ermittlung des Schalldämm-Maßes  $R_w$  nach DIN EN ISO 140-3 [18] erfolgt in Prüfständen mit unterdrückter Flankenübertragung nach DIN EN ISO 140-1 [17] (siehe auch Anhang A). Der Prüfgegenstand ist dabei zwischen dem Senderaum (SR) und dem Empfangsraum (ER) eingebaut. Im SR wird durch entsprechende Lautsprecher ein Luftschallfeld erzeugt. Durch Abtastung der beiden Räume mit Mikrofonen werden die Schallpegel im ER und im SR gemessen, aufgezeichnet und über die Messzeit gemittelt. Mit Hilfe eines genormten Auswerteverfahrens, das zuvor gemessene Störpegel und die Nachhallzeit im ER berücksichtigt, werden die Pegel miteinander verrechnet und einer Bewertung nach DIN EN ISO 717-1 [22] unterzogen. Das Ergebnis ist das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  des Bauteils.

## B.1 Prüfvorschriften

### **Erzeugung des Schallfeldes:**

- die Erzeugung des Schallfeldes erfolgt durch Lautsprecher mit gleichmäßiger Rundumabstrahlung („Kugellautsprecher“)
- es ist ein weißes oder rosa Rauschen zu erzeugen
- das erzeugte Schallfeld soll möglichst diffus sein (siehe auch Anhang A)
- die Messung kann entweder erfolgen während der Lautsprecher kontinuierlich durch den Raum bewegt wird
- oder die Messung wird an mindestens drei verschiedenen<sup>89</sup>, nach Norm festzulegenden, festen Lautsprecherpositionen wiederholt und gemittelt<sup>90</sup>
- der erzeugte Schalldruckpegel muss mindestens so hoch sein, dass der gemessene ER-Pegel (Kombination aus Störgeräusch und erzeugtem Pegel) in allen Frequenzbändern um 15dB über dem ER-Störpegel liegt. Ansonsten sind Störpegelkorrekturen nach B.6 notwendig

### **Messung der Schalldruckpegel:**

- der Schalldruckpegel wird im ER und im SR gleichzeitig mit Hilfe von möglichst ungerichteten Mikrofonen gemessen
- es sind bei festen Mikrofonen Messungen an mindestens 5 Positionen pro Raum durchzuführen und zu mitteln<sup>91</sup>
- kontinuierlich bewegte Mikrofone müssen mindesten 15s Bahnumlaufzeit, mindestens einen Bahnradius von 1m und eine Bahnneigung von mindestens 10° aufweisen
- die Mittelungszeit beträgt bei festen Mikrofonen 15s/ Position und bei bewegten Mikrofonen mindestens 60s<sup>92</sup> und ein ganzes Vielfaches einer Bahnumlaufzeit
- die Messung der Schalldruckpegel erfolgt in Terzbändern zwischen 100 und 3150Hz oder Oktavbändern zwischen 125 und 2000Hz.
- die Messung kann auch im erweiterten Frequenzbereich für Terzbänder zwischen 50 und 5000Hz erfolgen

---

<sup>89</sup> bei Messung in tiefen Frequenzen (50Hz)

<sup>90</sup> Festlegung und Anzahl der Lautsprecherpositionen siehe A.3.5

<sup>91</sup> Festlegung der Mikrofonpositionen siehe A.3.4

<sup>92</sup> bei Messung in tiefen Frequenzen (50Hz)

## B.2 Mess-Equipment

Die Luftschallmessungen für diese Arbeit werden mit folgender technischer Ausstattung ausgeführt:

- Verstärker FG Elektronik E246
- Kugellautsprecher (Dodekaeder) , Fa. Norsonic Nor-229 Ser.-Nr. 25588



- Senderraum-Mikrofon, Fa. B&K, Typ 4165, Ser.-Nr. 1287808;  
Vorverstärker: Fa. B&K, Typ 2639, Ser.-Nr. 1285731



- Empfangsraum-Mikrofon, Fa. B&K, Typ 4165, Ser.-Nr. 1287807;  
Vorverstärker: Fa. B&K Typ 2619, Ser.-Nr. 734948
- zwei Schwenkmotoren, Umlaufzeit auf 32s eingestellt
- Zweikanal-Echtzeitanalysator, Fa. Norsonic, Typ Nor RTA840-2,  
Ser.-Nr. 25884, Rauschgenerator integriert



- Ctr-Sic Software, Fa. Norsonic zur Steuerung von bauakustischen Messungen
- Nor-Sic Software, Fa. Norsonic für Auswertung bauakustischer Messungen

## B.3 Messanordnung

Die Messanordnung für die Luftschallmessungen an den Deckenkonstruktionen ist Abbildung 99 zu entnehmen

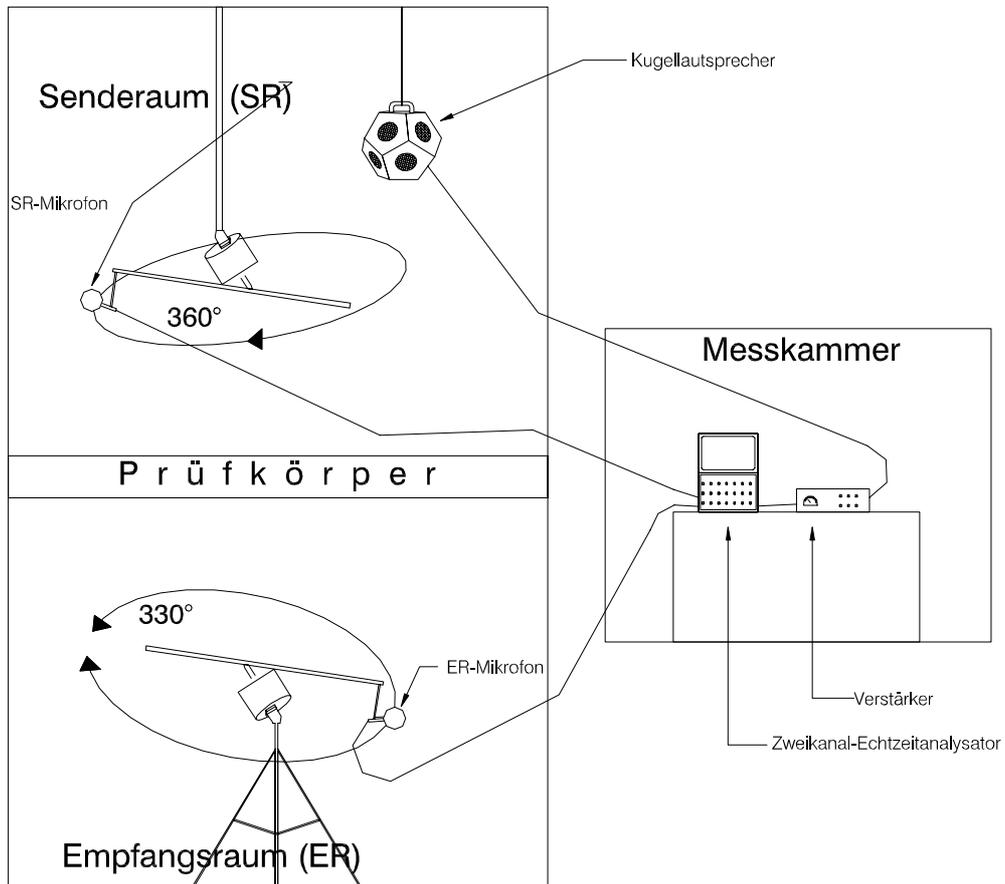


Abbildung 99 Messanordnung Luftschallmessung

## B.4 Vorbereitungen

Bevor eine Messung gestartet werden kann, sind folgende Vorbereitungen zu treffen:

- Messung der Nachhallzeit (siehe Anhang A.3.7)
- Kalibrieren der Mikrofone
- Einstellen des erzeugten Rauschens (rosa/ weiß)
- Einstellen geeigneter Ausgangspegel um einen ausreichenden ER-Pegel zu erzeugen, den Lautsprecher aber nicht zu übersteuern
- Einstellen der Mittelungszeit und Abstimmen der Bahnumlaufzeiten der Mikrofone
- Überprüfen der Schwenkmikrofone auf eine gleichmäßige, störungsfreie Umlaufbahn
- Überprüfen der Verkabelung auf eventuellen Kontakt mit Schwenkarm oder Boden bei der Rotation. Vor allem im ER sollten Schleifgeräusche durch derartige Einflüsse verhindert werden um keine Störgeräusche zu verursachen
- Licht in den Prüfräumen ausschalten
- Türen der Prüfräume schließen

Die Steuerung der Messung kann jetzt von der Messkammer aus erfolgen.

## B.5 Prüfablauf

Die bauakustischen Messungen für diese Arbeit werden im Terzfiltermodus ausgeführt. Der Messbereich wird auf die Terzen von 20 bis 10000 Hz festgelegt. Somit wird ein größeres Spektrum aufgezeichnet als für die bauakustischen Messungen vorgeschrieben ist<sup>93</sup>. Die zusätzlich gewonnenen Daten finden für weiterführende Betrachtungen (siehe 8.2) Verwendung.

Zunächst ist der Störpegel im ER zu messen. Hier wird über etwa 30 Sekunden (ganzes Vielfaches einer Bahnumlaufzeit) der Pegel im ER gemessen, ohne dass eine Anregung stattfindet. Wenn keine Änderung der Störgeräusche eintritt, kann dieser Störpegel auch für die anderen Messungen herangezogen werden.

Jede Messreihe für die Ermittlung des Schalldämm-Maßes umfasst drei Einzelmessungen, da für diesen Prüfstand drei Kombinationen aus Mikro- und Lautsprecherpositionen zu testen sind (siehe Anhang A.3.4, A.3.5). Die energetische Mittelung über die Messreihen wird frequenzbandweise durch Nor-Sic ausgeführt. Diese Mittelung erfolgt nach Gleichung 21.

**Gleichung 21:**

$$L_{2sb,f} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{i,f}} \right)$$

$L_{2sb,f}$	gemittelter ER-Pegel der Frequenz f in dB
n	Anzahl der Messungen über die gemittelt wird
$L_{i,f}$	ER-Pegel der Frequenz f bei i-ten Messung in dB

<sup>93</sup> das bauakustisch bewertete Spektrum reicht normalerweise von 100-3150 Hz und erweitert von 50-5000Hz

Die Benutzeroberfläche des Programms mit den Aufzeichnungen von drei Messungen und der entsprechenden Mittelung ist in Abbildung 100 dargestellt.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	Frequenz	Mittelwert	SD	N	Korr		L15100A6	L15600A6	L15Z00A3			
3	[Hz]	[dB]			[dB]	S	[dB]	S	[dB]	S	[dB]	S
3	20	62.2	0.25	3	--	--	62.2	61.9	62.4			
4	25	65.3	0.87	3	--	--	65.7	64.2	65.7			
5	31.5	68.9	1.85	3	--	--	69.6	66.5	69.8			
6	40	73.9	2.95	3	--	--	74.9	69.9	75.1			
7	50	77.4	3.50	3	--	--						
8	63	76.8	4.19	3	--	--						
9	80	85.2	4.98	3	--	--						
10	100	91.7	1.77	3	--	--						
11	125	97.9	3.23	3	--	--						
12	160	104.8	1.00	3	--	--						
13	200	106.3	0.81	3	--	--						
14	250	104.7	0.36	3	--	--						
15	315	102.1	0.58	3	--	--						
16	400	101.3	0.32	3	--	--						
17	500	100.5	0.17	3	--	--						
18	630	98.5	0.35	3	--	--						
19	800	96.6	0.23	3	--	--						
20	1000	96.4	0.26	3	--	--						
21	1250	98.1	0.43	3	--	--						
22	1600	96.7	0.30	3	--	--						
23	2000	95.0	0.20	3	--	--						
24	2500	94.9	0.21	3	--	--						
25	3150	92.4	0.30	3	--	--						
26	4000	91.6	0.41	3	--	--						
27	5000	88.6	0.46	3	--	--						
28	6300	86.2	0.46	3	--	--						
29	8000	83.8	0.76	3	--	--						
30	10000	78.6	1.07	3	--	--						

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	Frequenz	Mittelwert	SD	N	Korr		L151A100	L156A100	L15ZA100			
3	[Hz]	[dB]			[dB]	S	[dB]	S	[dB]	S	[dB]	S
3	20	49.7	1.24	3	--	--	48.2	50.4	50.3			
4	25	38.9	2.04	3	--	--	36.3	39.5	40.1			
5	31.5	35.5	1.70	3	--	--	35.3	33.6	37.0			
6	40	41.8	2.09	3	--	--	40.0	40.4	43.8			
7	50	57.0	3.76	3	--	--	52.1	56.4	59.6			
8	63	51.4	2.51	3	--	--	52.0	48.1	52.8			
9	80	56.4	3.33	3	--	--	52.7	59.2	54.7			
10	100	67.1	3.82	3	--	--	65.5	62.4	70.0			
11	125	68.3	1.57	3	--	--	69.9	67.0	67.4			
12	160	69.7	1.53	3	--	--	68.2	71.2	69.2			
13	200	68.7	0.96	3	--	--	67.6	69.5	68.8			
14	250	64.7	1.40	3	--	--	65.9	64.6	63.1			
15	315	58.6	1.21	3	--	--	58.3	59.8	57.4			
16	400	52.4	1.11	3	--	--	53.5	52.1	51.3			
17	500	46.8	0.27	3	--	--	46.9	47.0	46.5			
18	630	41.8	0.46	3	--	--	42.1	42.1	41.3			
19	800	36.2	0.15	3	--	--	36.3	36.2	36.0			
20	1000	34.4	0.36	3	--	--	34.1	34.8	34.3			
21	1250	36.6	0.47	3	--	--	36.7	36.9	36.0			
22	1600	34.8	0.32	3	--	--	34.9	35.0	34.4			
23	2000	30.1	0.06	3	--	--	30.2	30.1	30.1			
24	2500	29.0	0.47	3	--	--	29.4	29.4	29.4			

Abbildung 100 Benutzeroberfläche von Nor-Sic

Zwischen den Messungen müssen Mikrofon und Lautsprecher in die entsprechende Position gebracht werden.

## B.6 Auswerteverfahren

Die Umrechnung der gemessenen Pegel in das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  des Prüfkörpers erfolgt in mehreren Schritten die in diesem Fall durch die Auswertesoftware Nor-Sic vorgenommen werden.

### 1. Störgeräuschkorrektur des ER-Pegels nach DIN EN ISO 140-3, 6.5

Der gemessene ER-Pegel ( $L_{2sb}$ ) wird mit dem gemessenen Störpegel im ER ( $L_b$ ) in allen Frequenzbändern verglichen und nach Bedarf korrigiert. Das Ergebnis ist der störgeräuschkorrigierte ER-Pegel  $L_2$ :

$L_{2sb} - L_b > 15\text{dB}$                       keine Störpegelkorrektur;  $L_2 = L_{2sb}$

$15\text{dB} < L_{2sb} - L_b < 6\text{dB}$               Störpegelkorrektur. Der korrigierte ER-Pegel  $L_2$  ergibt sich nach Gleichung 22

**Gleichung 22:**

$$L_2 = 10 \cdot \log\left(10^{0,1 \cdot L_{2sb}} - 10^{0,1 \cdot L_b}\right)$$

$L_{2sb} - L_b < 6\text{dB}$                       zu hoher Störpegel;  $L_2 = L_{2sb} + 1,3\text{dB}$

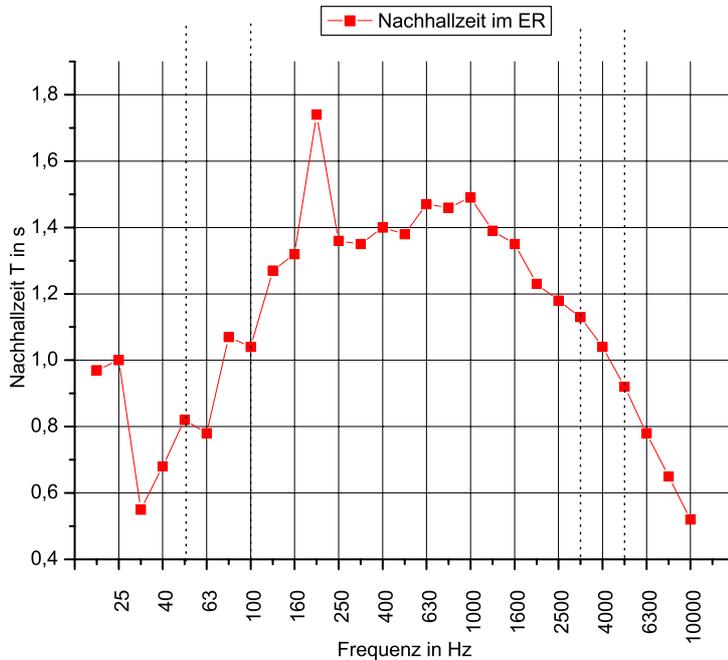
Beispielhaft wird die Störpegelkorrektur der Messreihe aus Abbildung 100 in Tabelle 38 aufgezeigt.

**Tabelle 38 Störgeräuschkorrektur einer Messreihe**

Frequenz in Hz	L2 in dB	L2sb in dB	Lb in dB	L2sb- L2 in dB	Bemerkung
20	49,4	49,7	37,4	-0,3	Störpegel-Korrektur
25	37,6	38,9	38,7	-1,3	Zu hoher Störpegel
31,5	34,2	35,5	32,2	-1,3	Zu hoher Störpegel
40	41,6	41,8	27,9	-0,2	Störpegel-Korrektur
50	57	57	35,6	0	
63	51,4	51,4	26,5	0	
80	56,4	56,4	33,5	0	
100	67,1	67,1	28,4	0	
125	68,3	68,3	22,3	0	
160	69,7	69,7	25,3	0	
200	68,7	68,7	16,7	0	
250	64,7	64,7	16,5	0	
315	58,6	58,6	16,5	0	
400	52,4	52,4	16,8	0	
500	46,8	46,8	16,7	0	
630	41,8	41,8	16,6	0	
800	36,2	36,2	16,5	0	
1000	34,4	34,4	16,5	0	
1250	36,6	36,6	17,2	0	
1600	34,8	34,8	18,5	0	
2000	29,8	30,1	18,7	-0,3	Störpegel-Korrektur
2500	27,6	28,2	19,5	-0,6	Störpegel-Korrektur
3150	25,4	26,7	21,5	-1,3	Zu hoher Störpegel
4000	25,8	27,1	24,6	-1,3	Zu hoher Störpegel
5000	25,9	27,2	23,3	-1,3	Zu hoher Störpegel
6300	26,2	27,5	23,1	-1,3	Zu hoher Störpegel
8000	26,9	28,2	28,9	-1,3	Zu hoher Störpegel
10000	27,9	29,2	26,2	-1,3	Zu hoher Störpegel

## 2. Nachhallkorrektur nach DIN EN ISO 140-3, 3.2 und 6.4

Im nächsten Schritt wird eine Korrektur für die Nachhallzeit im ER eingeführt. Für den ER des Prüfstandes der FH Rosenheim ist die Nachhallzeit aller gemessenen Terzbänder in Abbildung 101 dargestellt <sup>94</sup>.



**Abbildung 101** Frequenzverlauf der Nachhallzeit im ER

Zusammen mit dem Volumen des Empfangsraumes lässt sich nun die äquivalente Schallabsorptionsfläche A des Empfangsraumes nach Gleichung 23 berechnen.

**Gleichung 23:**

$$A = 0,163 \cdot \frac{V}{T}$$

A	äquivalente Schallabsorptionsfläche in m <sup>2</sup>
V	Volumen des ER in m <sup>3</sup>
T	Nachhallzeit im ER in s

<sup>94</sup>Ermittlung der Nachhallzeit nach 0

Die Korrektur für die Nachhallzeit  $K_T$ <sup>95</sup> ergibt sich aus Gleichung 24

**Gleichung 24:**

$$K_T = 10 \cdot \log\left(\frac{S}{A}\right)$$

$K_T$	Nachhall-Korrektur in dB
$S$	Fläche der Prüfdecke in $m^2$
$A$	äquivalente Schallabsorptionsfläche in $m^2$

3. Berechnung des Schalldämm-Maßes  $R$  in den einzelnen Frequenzbändern unter Beachtung der Nachhallkorrektur  $K_T$

Dazu wird vom Senderaumpegel  $L_1$  der störgeräuschkorrigierte Empfangsraumpegel  $L_2$  abgezogen und  $K_T$  aufaddiert (Gleichung 25).

**Gleichung 25**

$$R_f = L_1 - L_2 + K_T$$

$R_f$	Schalldämm-Maß des Bauteils bei der Frequenz $f$ in dB
$L_1$	gemessener SR-Pegel in dB
$L_2$	störgeräuschkorrigierter ER-Pegel in dB
$K_T$	Nachhallkorrektur in dB

Die Berechnung des Schalldämm-Maßes über die Frequenzen für das verwendete Beispiel ist in Abbildung 102 dargestellt.

<sup>95</sup> keine genormte Bezeichnung,  $K_T$  ist hier aus Gründen der Übersichtlichkeit eingefügt

Frequenz in Hz	R in dB	L1 in dB	L2 in dB	T in s	Korr. in dB
20	12,4	62,2	49,7	0,97	-0,1
25	26,4	65,3	38,9	1	0
31,5	30,8	68,9	35,5	0,55	-2,6
40	30,4	73,9	41,8	0,68	-1,7
50	19,5	77,4	57	0,82	-0,9
63	24,3	76,8	51,4	0,78	-1,1
80	29,1	85,2	56,4	1,07	0,3
100	24,8	91,7	67,1	1,04	0,2
125	30,6	97,9	68,3	1,27	1
160	36,3	104,8	69,7	1,32	1,2
200	40	106,3	68,7	1,74	2,4
250	41,3	104,7	64,7	1,36	1,3
315	44,8	102,1	58,6	1,35	1,3
400	50,3	101,3	52,4	1,4	1,4
500	55,1	100,5	46,8	1,38	1,4
630	58,3	98,5	41,8	1,47	1,6
800	62	96,6	36,2	1,46	1,6
1000	63,7	96,4	34,4	1,49	1,7
1250	62,9	98,1	36,6	1,39	1,4
1600	63,2	96,7	34,8	1,35	1,3
2000	65,8	95	30,1	1,23	0,9
2500	67,4	94,9	28,2	1,18	0,7
3150	66,2	92,4	26,7	1,13	0,5
4000	64,7	91,6	27,1	1,04	0,2
5000	61	88,6	27,2	0,92	-0,4
6300	57,6	86,2	27,5	0,78	-1,1
8000	53,7	83,8	28,2	0,65	-1,9
10000	46,5	78,6	29,2	0,52	-2,9

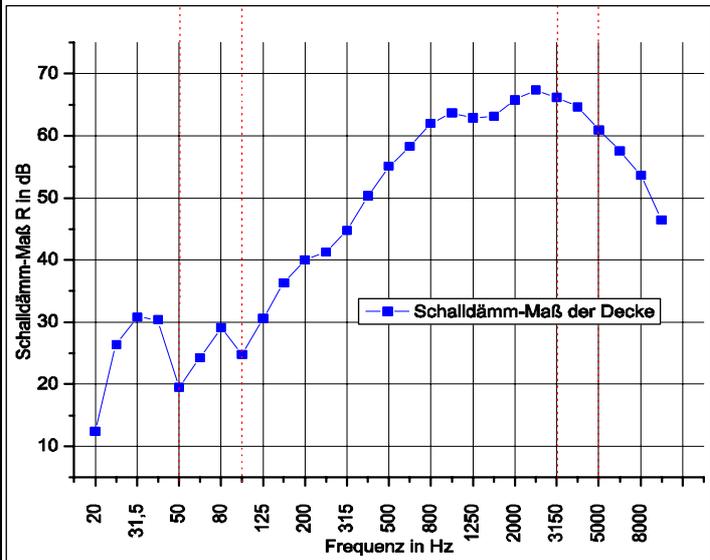


Abbildung 102 Berechnung und Frequenzverlauf von R

#### 4. Bewertung des Schalldämm-Maßes und Ermittlung des Einzahlwertes $R_w$

Die Bewertung erfolgt nach DIN 717-1 [22]. Darin ist zunächst eine Bezugskurve festgelegt (siehe Abbildung 103 oben). Diese wird vertikal so verschoben, dass die Summe der ungünstigen Abweichungen zwischen Bezugskurve und der Kurve des Schalldämm-Maßes möglichst groß wird, aber 32 dB nicht übersteigt (DIN EN ISO 717-1, 4.4). Ungünstige Abweichungen sind beim Schalldämm-Maß die Unterschreitungen. Das Verschieben erfolgt in 1dB-Schritten (bei höherer Anforderung an die Genauigkeit auch in 0,1dB-Schritten). Der Einzahlwert für das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  wird von der verschobenen Bezugskurve bei 500Hz abgelesen (siehe Abbildung 103 unten).

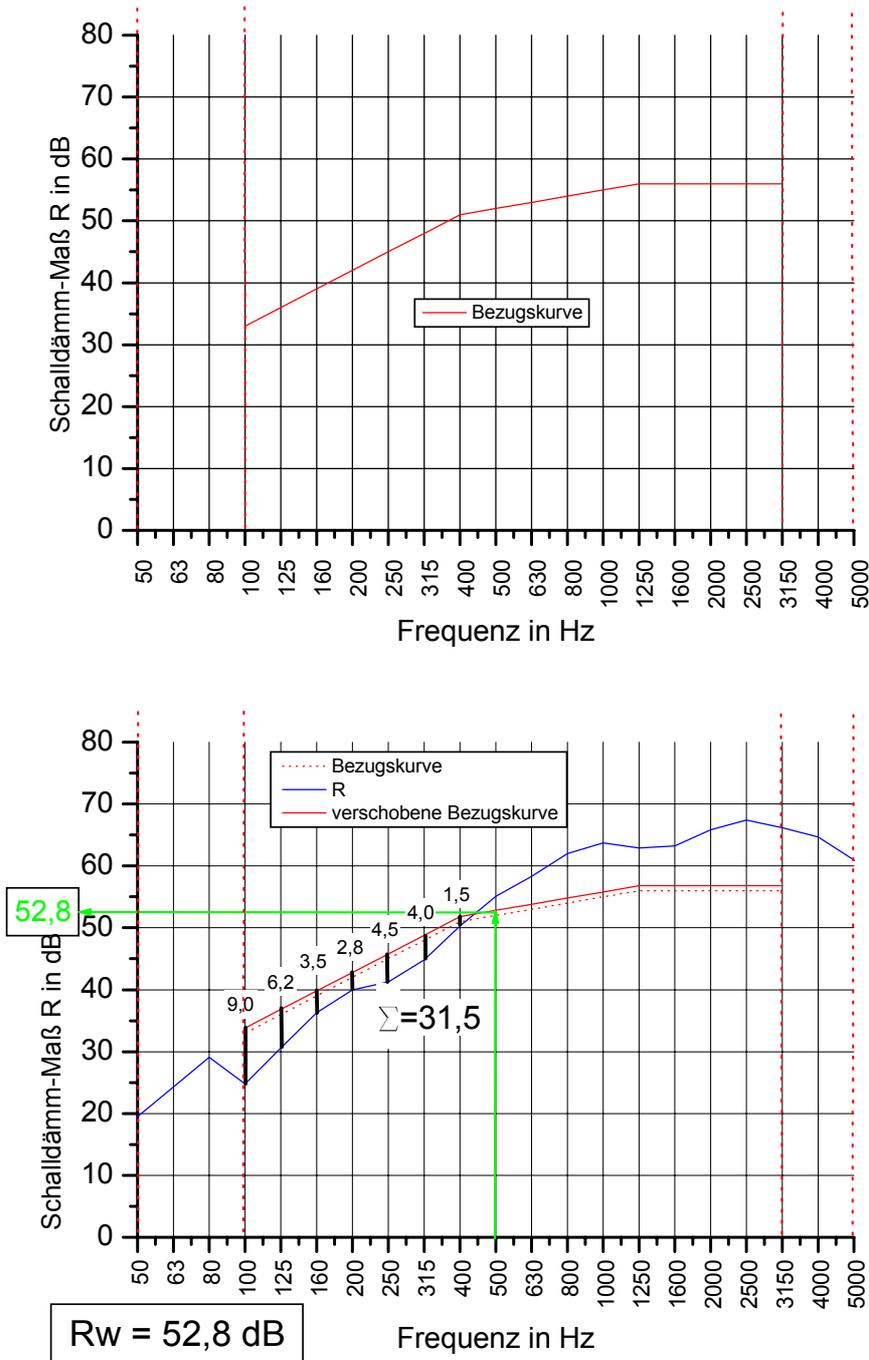


Abbildung 103 Bezugskurve<sup>96</sup> und Bestimmung des Einzelwertes für dieses Beispiel

Durch die Auswertesoftware Nor-Sic entfällt das manuelle Verschieben der Bezugskurve. Zur Kontrolle werden hier in der Berechnungstabelle lediglich die ungünstigen Abweichungen angegeben wie der Abbildung 104 zu entnehmen ist.

<sup>96</sup> nach DIN EN ISO 717-1, Tabelle3

Frequenz in Hz	R in dB	L1 in dB	L2 in dB	T in s	Korr. in dB	u.Abw. in dB
20	12,4	62,2	49,7	0,97	-0,1	-,-
25	26,4	65,3	38,9	1	0	-,-
31,5	30,8	68,9	35,5	0,55	-2,6	-,-
40	30,4	73,9	41,8	0,68	-1,7	-,-
50	19,5	77,4	57	0,82	-0,9	-,-
63	24,3	76,8	51,4	0,78	-1,1	-,-
80	29,1	85,2	56,4	1,07	0,3	-,-
100	24,8	91,7	67,1	1,04	0,2	9
125	30,6	97,9	68,3	1,27	1	6,2
160	36,3	104,8	69,7	1,32	1,2	3,5
200	40	106,3	68,7	1,74	2,4	2,8
250	41,3	104,7	64,7	1,36	1,3	4,5
315	44,8	102,1	58,6	1,35	1,3	4
400	50,3	101,3	52,4	1,4	1,4	1,5
500	55,1	100,5	46,8	1,38	1,4	-,-
630	58,3	98,5	41,8	1,47	1,6	-,-
800	62	96,6	36,2	1,46	1,6	-,-
1000	63,7	96,4	34,4	1,49	1,7	-,-
1250	62,9	98,1	36,6	1,39	1,4	-,-
1600	63,2	96,7	34,8	1,35	1,3	-,-
2000	65,8	95	30,1	1,23	0,9	-,-
2500	67,4	94,9	28,2	1,18	0,7	-,-
3150	66,2	92,4	26,7	1,13	0,5	-,-
4000	64,7	91,6	27,1	1,04	0,2	-,-
5000	61	88,6	27,2	0,92	-0,4	-,-
6300	57,6	86,2	27,5	0,78	-1,1	-,-
8000	53,7	83,8	28,2	0,65	-1,9	-,-
10000	46,5	78,6	29,2	0,52	-2,9	-,-

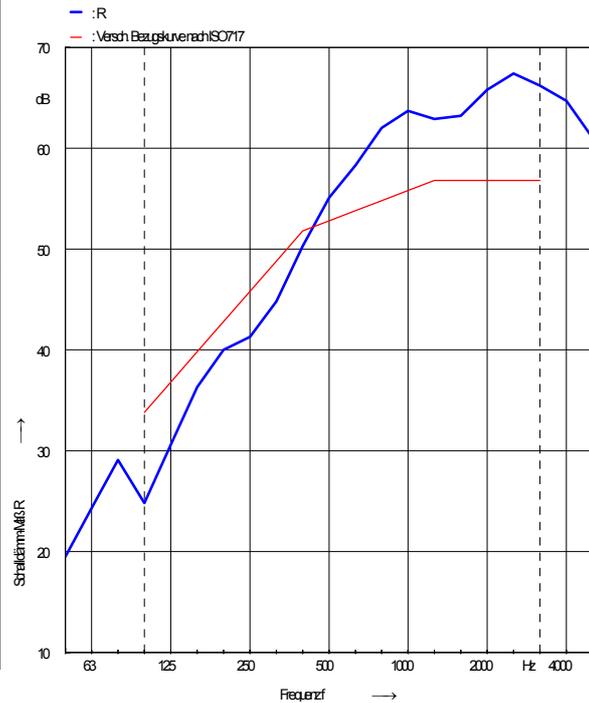


Abbildung 104 Berechnung der verschobenen Bezugskurve von R durch Nor-Sic

Um andere Schallanregungsspektren berücksichtigen zu können, wird der ermittelte Einzahlwert mit Spektrumsanpassungswerten ergänzt. Je nach Anwendungsfall kann nach verschiedenen Spektren bewertet werden. Eine Übersicht der in DIN EN ISO 717-1 aufgeführten Spektren bietet Tabelle 39.

Tabelle 39 Spektrumsanpassungswerte für  $R_w$

Kurzbezeichnung	Bewertetes Spektrum	Frequenzbereich	Anwendung
C	Spektrum Nr. 1 A-bewertetes rosa Rauschen	100 – 3150 Hz	Wohnaktivitäten, Kinderspielen, Schienenverkehr mit mittlerer u. hoher Geschw. Autobahnverkehr bei >80km/h, Düsenflugzeuge in kleinem Abstand, Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequenten Lärm abstrahlen
$C_{50-3150}$		50 – 3150 Hz	
$C_{50-5000}$		50 – 5000 Hz	
$C_{100-5000}$		100 – 5000 Hz	
$C_{tr}$	Spektrum Nr. 2	100 – 3150 Hz	Städt. Straßenverkehr, Schienenverkehr geringer Geschw., Propellerflugz., Düsenflugz. in großem Abstand, Diskomusik, Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen
$C_{tr,50-3150}$		50 – 3150 Hz	
$C_{tr,50-5000}$		50 – 5000 Hz	
$C_{tr,100-5000}$		100 – 5000 Hz	

Werden Spektrumsanpassungswerte angegeben, so kann abgelesen werden in welchem Frequenzbereich ein Bauteil schalltechnisch Probleme hat. Im Holzbau sind aufgrund der geringen Masse in der Regel tiefe Frequenzen

problematisch. Spektrumsanpassungswerte, die tiefe Frequenzen stark gewichten (oder Frequenzen unter 100Hz mit bewerten), weisen bei Bauteilen aus Holz deshalb häufig sehr geringe (negative) Werte auf.

Zur Berechnung der Spektrumsanpassungswerte sind in DIN EN ISO 717-1, Tabellen 4 und B.1 Schallpegelspektren für die verschiedenen Frequenzbereiche festgelegt. Beispielhaft für die Anpassungswerte C und  $C_{tr}$  (100 – 3150 Hz) sind die Schallspektren in Abbildung 105 tabellarisch und graphisch jeweils im Vergleich zur Bezugskurve dargestellt<sup>97</sup>.

	Freq (L)	Bezug (Y)	C (Y)	$C_{tr}$ (Y)
1	20	--	--	--
2	25	--	--	--
3	31,5	--	--	--
4	40	--	--	--
5	50	--	--	--
6	63	--	--	--
7	80	--	--	--
8	100	33	-29	-20
9	125	36	-26	-20
10	160	39	-23	-18
11	200	42	-21	-16
12	250	45	-19	-15
13	315	48	-17	-14
14	400	51	-15	-13
15	500	52	-13	-12
16	630	53	-12	-11
17	800	54	-11	-9
18	1000	55	-10	-8
19	1250	56	-9	-9
20	1600	56	-9	-10
21	2000	56	-9	-11
22	2500	56	-9	-13
23	3150	56	-9	-15
24	4000			
25	5000			
26	6300			

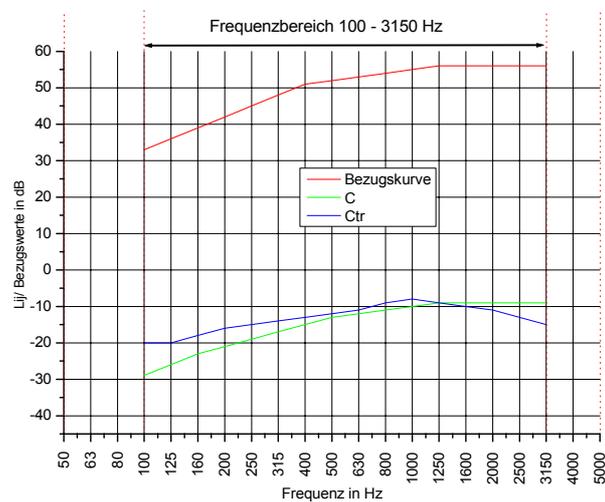


Abbildung 105 Schallpegelspektren zur Spektrumsanpassung 100-3150 Hz

Die Berechnung des Spektrumsanpassungswertes  $C_{ji}$  erfolgt nach Gleichung 26.

<sup>97</sup> Schallpegelspektren der anderen Anpassungswerte finden sich in Anhang F

**Gleichung 26**

$$C_{ji} = X_{Aj} - X_w$$

- C<sub>ji</sub> Spektrumsanpassungswert in dB (z.B. C<sub>tr,50-3150</sub>)  
 j Index für Schallspektrum (1( ) oder 2(tr) nach Tabelle 39)  
 i Index für Terzbänder  
 X<sub>Aj</sub> berechnet nach Gleichung 27

**Gleichung 27**

$$X_{Aj} = -10 \cdot \log \left( \sum 10^{0,1 \cdot (L_{ij} - X_i)} \right)$$

- L<sub>ij</sub> Pegel aus Spektrum (Bsp. Abbildung 105) in dB für Schallspektrum j und Frequenz i  
 X<sub>i</sub> Schalldämm-Maß R des Bauteils in dB bei Frequenz

In Tabelle 40 ist für das vorangehende Beispiel der Spektrumsanpassungswert für das Spektrum Nr. 1 im Frequenzbereich 100-3150 Hz C<sub>100-3150</sub> (auch „C“ genannt) berechnet worden (Schallpegel L<sub>ij</sub> aus Abbildung 105 Spalte „C“; Schalldämm-Maß X<sub>i</sub> aus Abbildung 104 Spalte „R“; X<sub>w</sub> ist der Einzahlwert nach Abbildung 103).

**Tabelle 40 Beispiel für Berechnung des Spektrumsanpassungswertes C<sub>100-3150</sub>**

Frequenz i in Hz	Schalldämm-Maß Xi in dB	Schallpegel Lij in dB	10 <sup>0,1(Lij-Xi)</sup>
20	12,4	--	--
25	26,4	--	--
31,5	30,8	--	--
40	30,4	--	--
50	19,5	--	--
63	24,3	--	--
80	29,1	--	--
100	24,8	-29	4,17E-06
125	30,6	-26	2,19E-06
160	36,3	-23	1,17E-06
200	40	-21	7,94E-07
250	41,3	-19	9,33E-07
315	44,8	-17	6,61E-07
400	50,3	-15	2,95E-07
500	55,1	-13	1,55E-07
630	58,3	-12	9,33E-08
800	62	-11	5,01E-08
1000	63,7	-10	4,27E-08
1250	62,9	-9	6,46E-08
1600	63,2	-9	6,03E-08
2000	65,8	-9	3,31E-08
2500	67,4	-9	2,29E-08
3150	66,2	-9	3,02E-08
4000	64,7		
5000	61		
6300	57,6		
8000	53,7		
10000	46,5		
Summe			1,08E-05
	X <sub>Aj</sub>		49,7
	X <sub>w</sub>		52,8
	C <sub>ij</sub>		-3,1

Sind alle Berechnungs- und Bewertungsschritte ausgeführt, kann durch Nor-Sic ein fertiges Prüfprotokoll erstellt werden das alle Ergebnisse zusammenfasst. Für das durchgespielte Beispiel ist das Prüfprotokoll in Abbildung 106 dargestellt.

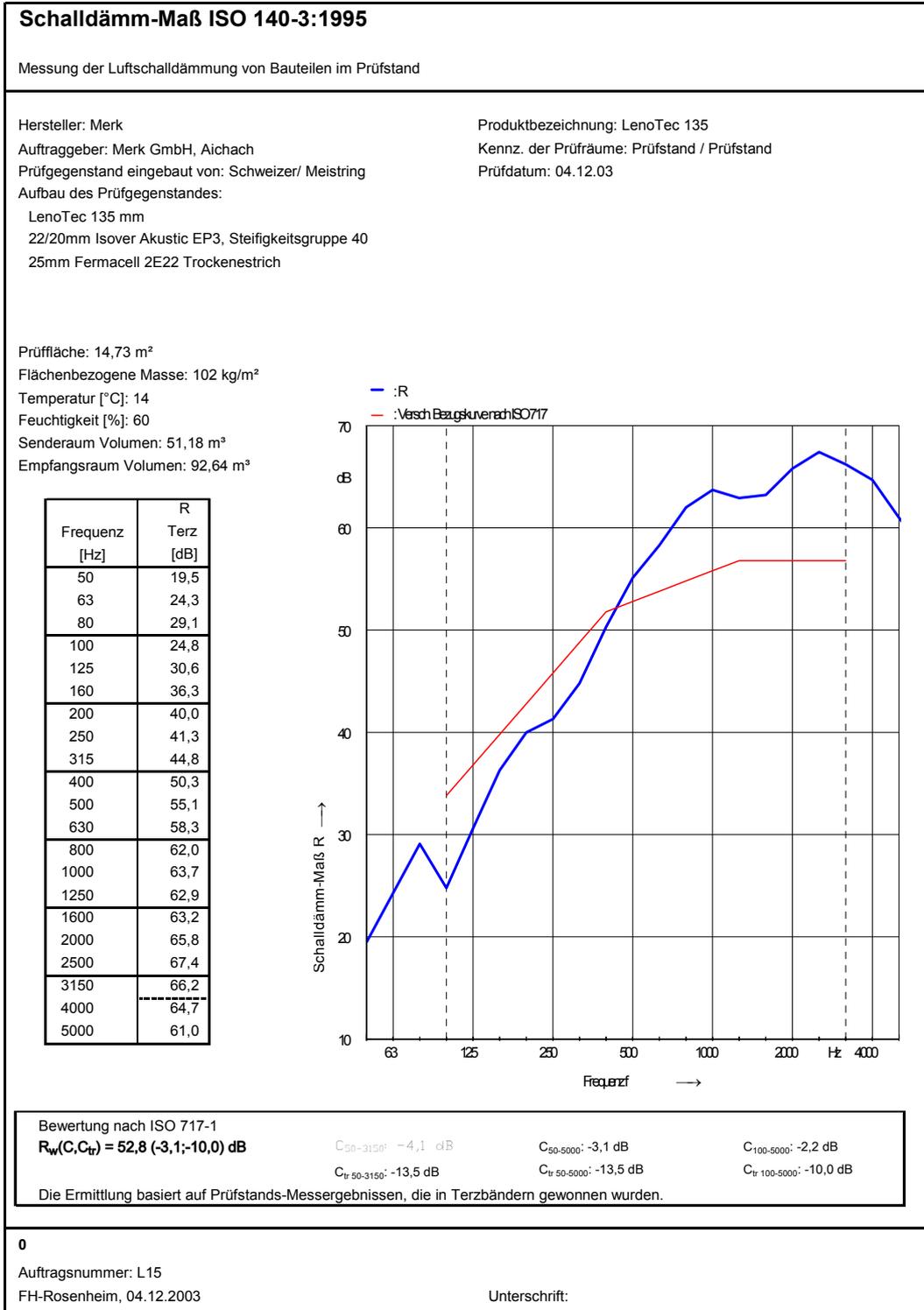


Abbildung 106 Messprotokoll einer Luftschalldämmung

# C Messung und Bewertung des Trittschallpegels

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  nach DIN EN ISO 140-6 erfolgt in Prüfständen mit unterdrückter Flankenübertragung nach DIN EN ISO 140-1 [17] (siehe auch Anhang A). Der Prüfgegenstand ist dabei zwischen dem Senderaum (SR) und dem Empfangsraum (ER) eingebaut. Im SR wird mittels Normhammerwerk auf dem Prüfkörper Trittschall angeregt. Im ER stellt sich durch Abstrahlung des Körperschalls von dem Prüfkörper ein gewisser Schalldruckpegel (=Trittschallpegel  $L_i$ ) ein. Durch Abtastung des ER mit einem Mikrofon wird  $L_i$  frequenzbandweise gemessen, aufgezeichnet und über die Messzeit gemittelt. Mit Hilfe eines genormten Auswerteverfahrens, das zuvor gemessene Störpegel und die Nachhallzeit im ER berücksichtigt, wird der Trittschallpegel normiert und einer Bewertung unterzogen. Das Ergebnis ist der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$ .

Für Trittschallmessungen am Bau (DIN EN ISO 140-7) ist zudem ein Verfahren eingeführt, das bei bekanntem Schalldämm-Maß  $R_w$  (und des zugehörigen Spektralverlaufes) die Luftschallübertragung aus dem SR in den ER berücksichtigt („Trittschallpegel mit Luftschallanteil“). Dazu wird das bei der Anregung durch das Hammerwerk im SR vorherrschende Schallfeld mittels eines Mikrofones (wie bei der Luftschallmessung) gemessen, aufgezeichnet und gemittelt. Der so gemessene Pegel ist eine Kombination aus dem durch das Hammerwerk erzeugten Luftschallpegel und eventuellen Störpegeln von außerhalb. Unter Berücksichtigung des Schalldämm-Maßes wird dann errechnet in wie weit dieser Luftschallpegel im SR Auswirkung auf den gemessenen ER-Pegel hat. Um zu untersuchen, ob die gemessenen Trittschallpegels wirklich nur aus dem Trittschall oder auch aus einem Luftschallanteil resultieren, wird im Rahmen dieser Arbeit bei jeder Messung der SR-Pegel mit gemessen und aufgezeichnet.

## C.1 Prüfvorschriften

### **Erzeugung des Schallfeldes:**

- die Erzeugung des Schallfeldes erfolgt mit einem Normhammerwerk nach Vorgaben der DIN EN ISO 140-6, Anhang A [19]
- die Messung wird für mindestens vier verschiedene, unregelmäßig verteilt liegende Hammerwerkspositionen durchgeführt
- der Abstand der Hammerwerkspositionen von den Deckenkanten muss mindestens 0,5 m betragen
- bei anisotropen Deckenkonstruktionen (mit Balken, Rippen o.ä.) sind eventuell mehrere Positionen notwendig; die Verbindungslinie der Hämmer sollte in einem Winkel von 45° zu der Richtung der Balken verlaufen
- der erzeugte Schalldruckpegel muss mindestens so hoch sein, dass der gemessene Trittschallpegel (Kombination aus Störgeräusch und erzeugtem Pegel) in allen Frequenzbändern um 15dB über dem ER-Störpegel liegt. Ansonsten sind Störpegelkorrekturen nach C.6 notwendig

### **Messung des Trittschallpegels:**

- der Trittschallpegel wird im ER mit Hilfe eines möglichst ungerichteten Mikrofons gemessen
- es sind bei festen Mikrofonen insgesamt mindestens sechs Messungen an mindestens fünf Mikrofonpositionen durchzuführen und zu mitteln<sup>98</sup>
- kontinuierlich bewegte Mikrofone müssen mindesten 15s Bahnumlaufzeit, mindestens einen Bahnradius von 1m und eine Bahnneigung von mindestens 10° aufweisen, es ist mindestens eine Mikrofonposition zu verwenden
- die Mittelungszeit beträgt bei festen Mikrofonen 15s/ Position und bei bewegten Mikrofonen mindestens 60s<sup>99</sup> und ein ganzes Vielfaches einer Bahnumlaufzeit
- die Messung der Trittschallpegel erfolgt in Terzbändern zwischen 100 und 3150Hz oder Oktavbändern zwischen 125 und 2000Hz

---

<sup>98</sup> Festlegung der Mikrofonpositionen siehe A.3.4

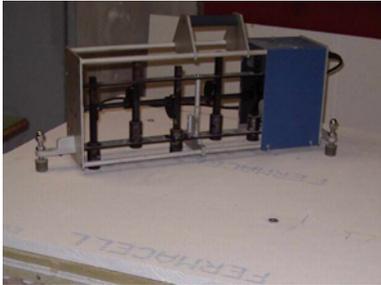
<sup>99</sup> bei Messung in tiefen Frequenzen (50Hz)

- Die Messung kann auch im erweiterten Frequenzbereich für Terzbänder zwischen 50 und 5000Hz erfolgen

## C.2 Mess-Equipment

Die Trittschallmessungen für diese Arbeit werden mit folgender technischer Ausstattung durchgeführt:

- Normhammerwerk, Fa. Norsonic, Nor-211, Ser.-Nr. 20423



- Senderraum-Mikrofon, Fa. B&K, Typ 4165, Ser.-Nr. 1287808;  
Vorverstärker: Fa. B&K, Typ 2639, Ser.-Nr. 1285731
- Empfangsraum-Mikrofon, Fa. B&K, Typ 4165, Ser.-Nr. 1287807;  
Vorverstärker: Fa. B&K Typ 2619, Ser.-Nr. 734948
- zwei Schwenkmotoren, Umlaufzeit auf 32s eingestellt
- Zweikanal-Echtzeitanalysator, Fa. Norsonic, Typ Nor RTA840-2,  
Ser.-Nr. 25884
- Ctr-Sic Software, Fa. Norsonic zur Steuerung von bauakustischen Messungen
- Nor-Sic Software, Fa. Norsonic für Auswertung bauakustischer Messungen

## C.3 Messanordnung

Die Messanordnung für die Trittschallmessungen an den Deckenkonstruktionen ist Abbildung 107 zu entnehmen. Der Grundriss des SR (Abbildung 108) zeigt die Verteilung der Hammerwerkspositionen.

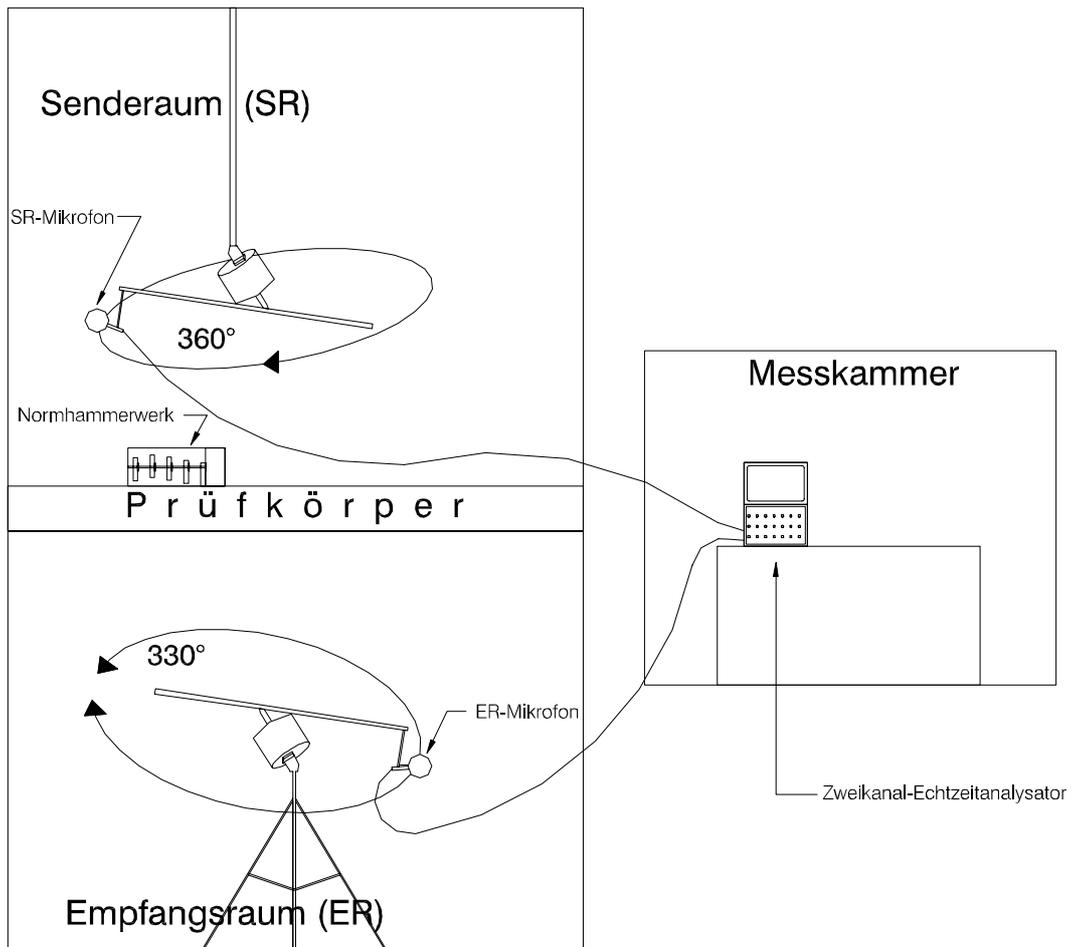
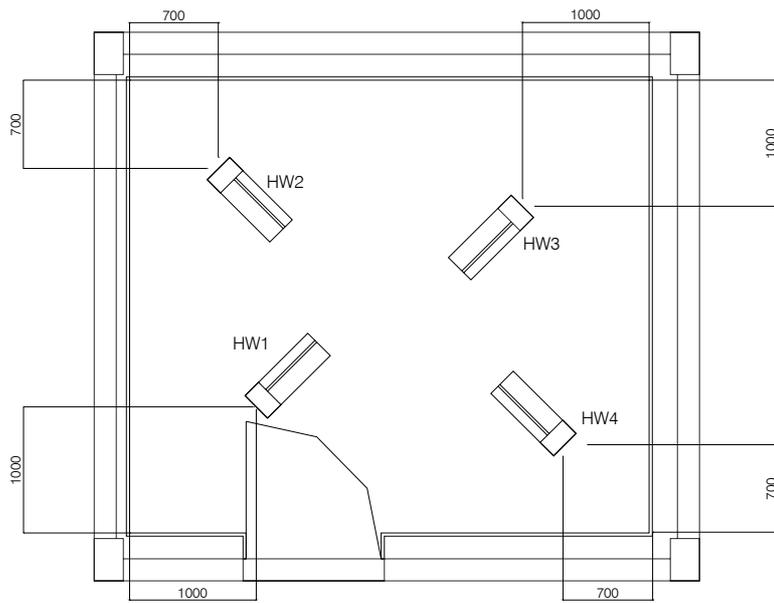


Abbildung 107 Messanordnung Trittschallmessung



---

**Abbildung 108 Grundriss SR mit Anordnung der Hammerwerkspositionen**

## C.4 Vorbereitungen

Bevor eine Messung gestartet werden kann, sind folgende Vorbereitungen zu treffen:

- Messung der Nachhallzeit (siehe Anhang A.3.7)
- Kalibrieren der Mikrofone
- Einstellen der Mittelungszeit und abstimmen der Bahnumlaufzeiten der Mikrofone
- Überprüfen der Schwenkmikrofone auf eine gleichmäßige, störungsfreie Umlaufbahn
- Überprüfen der Verkabelung auf eventuellen Kontakt mit Schwenkarm oder Boden bei der Rotation. Vor allem im ER sollten Schleifgeräusche durch derartige Einflüsse verhindert werden um keine Störgeräusche zu verursachen
- Licht in den Prüfräumen ausschalten
- Türen der Prüfräume schließen

Die Steuerung der Messung kann jetzt von der Messkammer aus erfolgen.

## C.5 Prüfablauf

Die bauakustischen Messungen für diese Arbeit werden im Terzfiltermodus ausgeführt. Der Messbereich wird auf die Terzen von 20 bis 10000 Hz festgelegt. Somit wird ein größeres Spektrum aufgezeichnet als für die bauakustischen Messungen vorgeschrieben ist<sup>100</sup>. Die zusätzlich gewonnenen Daten finden für weiterführende Betrachtungen (siehe 8.2) Verwendung.

Zunächst ist der Störpegel im ER zu messen. Hier wird über etwa 30 Sekunden (ganzes Vielfaches einer Bahnumlaufzeit) der Pegel im ER gemessen, ohne dass eine Anregung stattfindet. Wenn keine Änderung der Störgeräusche eintritt, kann dieser Störpegel auch für die anderen Messungen herangezogen werden.

Jede Messreihe für die Ermittlung des Trittschallpegels umfasst vier Einzelmessungen (für jede Hammerwerksposition eine). Die energetische Mittelung über die Messreihen wird frequenzbandweise durch Nor-Sic ausgeführt. Diese Mittelung erfolgt nach Gleichung 28

**Gleichung 28:**

$$L_{2sb,f} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{i,f}} \right)$$

$L_{2sb,f}$	gemittelter ER-Pegel der Frequenz f in dB
n	Anzahl der Messungen über die gemittelt wird
$L_{i,f}$	ER-Pegel der Frequenz f bei i-ten Messung in dB

Zwischen den Messungen muss das Hammerwerk in die entsprechende Position gebracht werden.

<sup>100</sup> das bauakustisch bewertete Spektrum reicht normalerweise von 50-3150 Hz und erweitert von 50-5000Hz

## C.6 Auswerteverfahren

Die Umrechnung der gemessenen Trittschallpegel  $L_i$  in den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_n$  des Prüfkörpers erfolgt in mehreren Schritten, die auch hier durch die Auswertesoftware Nor-Sic vorgenommen werden.

### 1. Störgeräuschkorrektur des ER-Pegels nach DIN EN ISO 140-3, 6.5

Der gemessene ER-Pegel ( $L_{2sb}$ ) wird mit dem gemessenen Störpegel im ER ( $L_b$ ) in allen Frequenzbändern verglichen und nach Bedarf korrigiert. Das Ergebnis ist der störgeräuschkorrigierte ER-Pegel  $L_2$ :

$L_{2sb} - L_b > 15\text{dB}$                       keine Störpegelkorrektur;  $L_2 = L_{2sb}$

$15\text{dB} < L_{2sb} - L_b < 6\text{dB}$               Störpegelkorrektur. Der korrigierte ER-Pegel  $L_2$  ergibt sich nach Gleichung 29

**Gleichung 29:**

$$L_2 = 10 \cdot \log\left(10^{0,1 \cdot L_{2sb}} - 10^{0,1 \cdot L_b}\right)$$

$L_{2sb} - L_b < 6\text{dB}$                       zu hoher Störpegel;  $L_2 = L_{2sb} + 1,3\text{dB}$

Dieses Verfahren ist das gleiche wie bei der Luftschallmessung. Ein entsprechendes Beispiel ist in Kapitel B.6 enthalten.

## 2. Nachhallkorrektur nach DIN EN ISO 140-6, 3.3 und 6.4

Im nächsten Schritt wird eine Korrektur für die Nachhallzeit im ER eingeführt. Für den ER des Prüfstandes der FH Rosenheim ist die Nachhallzeit aller gemessenen Terzbänder in Abbildung 101 (S.B 9, Kapitel B.6) dargestellt.

Zusammen mit dem Volumen des Empfangsraumes lässt sich nun die äquivalente Schallabsorptionsfläche A des Empfangsraumes nach Gleichung 30 berechnen.

**Gleichung 30:**

$$A = 0,163 \cdot \frac{V}{T}$$

- A     äquivalente Schallabsorptionsfläche in m<sup>2</sup>  
 V     Volumen des ER in m<sup>3</sup>  
 T     Nachhallzeit im ER in s

Die Korrektur für die Nachhallzeit  $K_T^{101}$  ergibt sich aus Gleichung 31

**Gleichung 31:**

$$K_T = 10 \cdot \log\left(\frac{A}{A_0}\right)$$

- $K_T$     Nachhall-Korrektur in dB  
 A     äquivalente Schallabsorptionsfläche in m<sup>2</sup>  
 $A_0$     Bezugsabsorptionsfläche  $A_0=10\text{m}^2$

<sup>101</sup> keine genormte Bezeichnung,  $K_T$  ist hier aus Gründen der Übersichtlichkeit eingefügt

3. Berechnung des Norm-Trittschallpegels  $L_{n,i}$  in den einzelnen Frequenzbändern unter Beachtung der Nachhallkorrektur  $K_T$

Dazu wird auf den störgeräuschkorrigierten Trittschallpegel  $L_2$  die Nachhallkorrektur  $K_T$  aufaddiert (Gleichung 32).

**Gleichung 32:**

$$L_{n,i} = L_2 + K_T$$

$L_{n,i}$  Norm-Trittschallpegel im Frequenzband  $i$  in dB

$L_2$  störgeräuschkorrigierter Trittschallpegel in dB

$K_T$  Nachhallkorrektur in dB

Die Berechnung des Norm-Trittschallpegels  $L_{n,i}$  über die Frequenzen ist beispielhaft in Abbildung 109 dargestellt.

Frequenz in Hz	$L_n$ in dB	$L_2$ in dB	$T$ in s	Korr. in dB
20	76,3	74,5	0,97	1,8
25	64,8	63,1	1	1,7
31,5	64,9	60,6	0,55	4,3
40	68	64,6	0,68	3,4
50	71,7	69,1	0,82	2,6
63	69,5	66,7	0,78	2,8
80	69,4	68	1,07	1,4
100	71	69,5	1,04	1,5
125	73,5	72,8	1,27	0,7
160	67,9	67,4	1,32	0,5
200	65,7	66,4	1,74	-0,7
250	66,5	66,1	1,36	0,4
315	65	64,6	1,35	0,4
400	63,4	63,2	1,4	0,2
500	62,2	61,9	1,38	0,3
630	60,8	60,8	1,47	0
800	59	58,9	1,46	0,1
1000	56,5	56,5	1,49	0
1250	53,4	53,1	1,39	0,3
1600	48	47,6	1,35	0,4
2000	43,8	43	1,23	0,8
2500	40	39	1,18	1
3150	39,1	37,9	1,13	1,2
4000	36,2	34,7	1,04	1,5
5000	32	29,9	0,92	2,1
6300	28	25,2	0,78	2,8
8000	29,2	25,6	0,65	3,6
10000	31,6	27	0,52	4,6

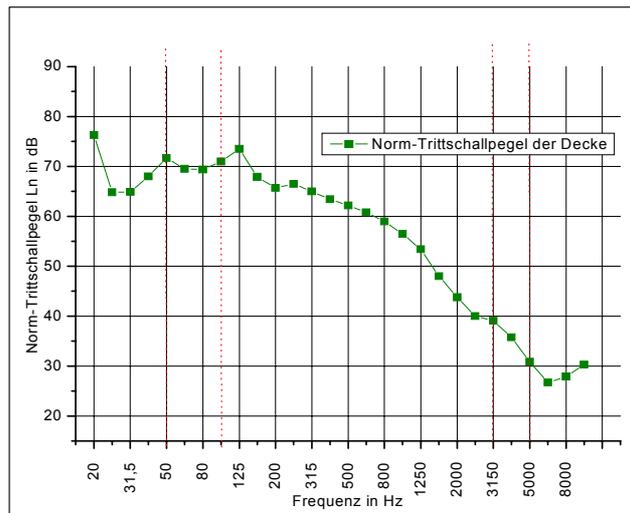


Abbildung 109 Berechnung und Frequenzverlauf von  $L_n$

4. Bewertung des Norm-Trittschallpegels und Ermittlung des Einzahlwertes  $L_{n,w}$

Die Bewertung erfolgt nach DIN 717-2 [23]. Darin ist zunächst eine Bezugskurve festgelegt (siehe Abbildung 110 oben). Diese wird vertikal so verschoben, dass die Summe der ungünstigen Abweichungen zwischen Bezugskurve und der Kurve des Norm-Trittschallpegels  $L_{n,i}$  möglichst groß wird, aber 32 dB nicht übersteigt (DIN EN ISO 717-2, 4.3.1). Ungünstige Abweichungen sind beim Norm-Trittschallpegel die Überschreitungen. Das Verschieben erfolgt in 1dB-Schritten (bei höherer Anforderung an die Genauigkeit auch in 0,1dB-Schritten). Der Einzahlwert für den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  wird von der verschobenen Bezugskurve bei 500Hz abgelesen (siehe Abbildung 110 unten).

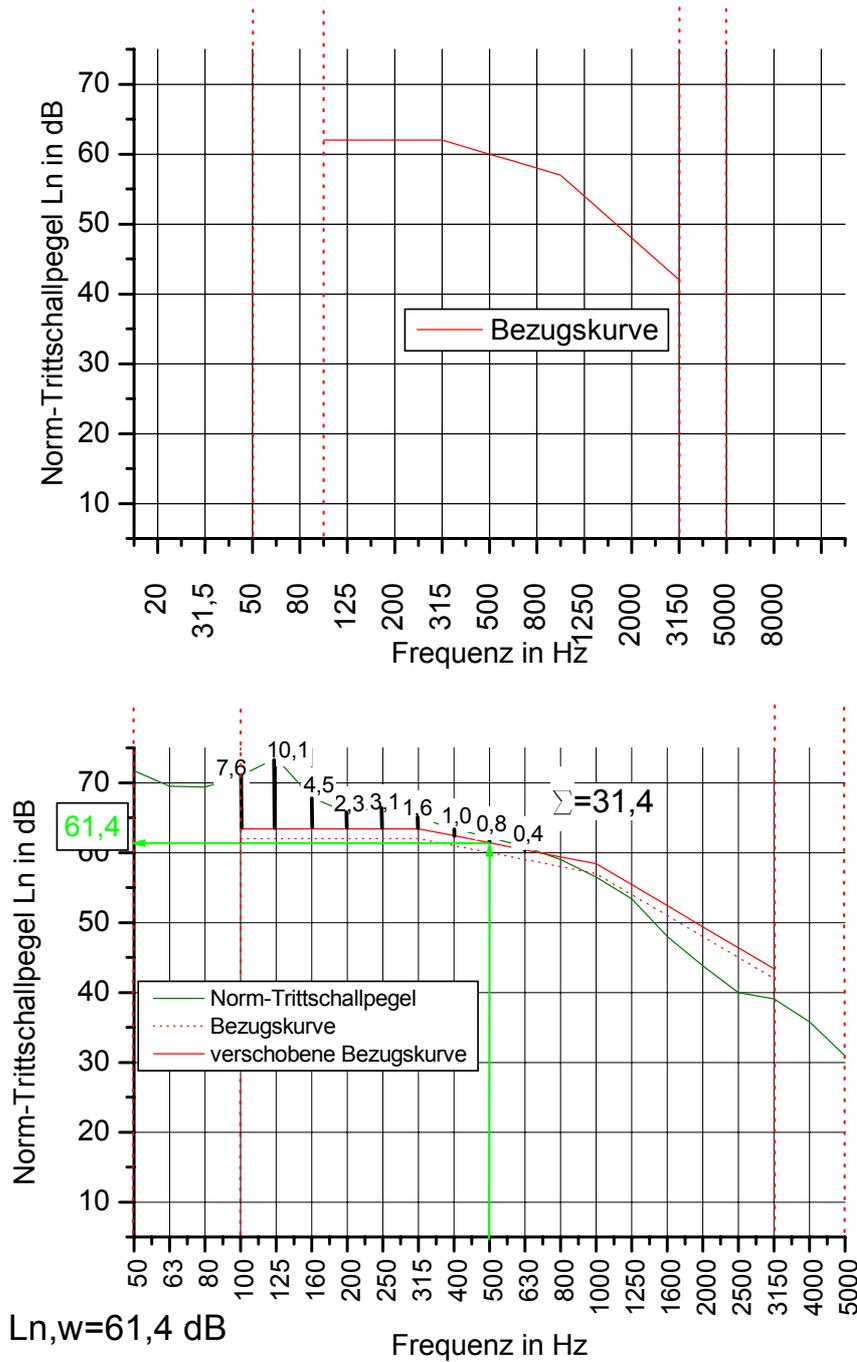


Abbildung 110 Bezugskurve<sup>102</sup> und Bestimmung des Einzahlwertes

Durch die Auswertesoftware Nor-Sic entfällt das manuelle Verschieben der Bezugskurve. Zur Kontrolle werden hier in der Berechnungstabelle lediglich die ungünstigen Abweichungen angegeben wie der Abbildung 111 zu entnehmen ist.

<sup>102</sup> nach DIN EN ISO 717-2, Tabelle 3

Frequenz in Hz	L <sub>n</sub> in dB	L <sub>2</sub> in dB	T in s	Korr. in dB	u.Abw. in dB
20	76,3	74,5	0,97	1,8	-,-
25	64,8	63,1	1	1,7	-,-
31,5	64,9	60,6	0,55	4,3	-,-
40	68	64,6	0,68	3,4	-,-
50	71,7	69,1	0,82	2,6	-,-
63	69,5	66,7	0,78	2,8	-,-
80	69,4	68	1,07	1,4	-,-
100	71	69,5	1,04	1,5	7,6
125	73,5	72,8	1,27	0,7	10,1
160	67,9	67,4	1,32	0,5	4,5
200	65,7	66,4	1,74	-0,7	2,3
250	66,5	66,1	1,36	0,4	3,1
315	65	64,6	1,35	0,4	1,6
400	63,4	63,2	1,4	0,2	1
500	62,2	61,9	1,38	0,3	0,8
630	60,8	60,8	1,47	0	0,4
800	59	58,9	1,46	0,1	-,-
1000	56,5	56,5	1,49	0	-,-
1250	53,4	53,1	1,39	0,3	-,-
1600	48	47,6	1,35	0,4	-,-
2000	43,8	43	1,23	0,8	-,-
2500	40	39	1,18	1	-,-
3150	39,1	37,9	1,13	1,2	-,-
4000	36,2	34,7	1,04	1,5	-,-
5000	32	29,9	0,92	2,1	-,-
6300	28	25,2	0,78	2,8	-,-
8000	29,2	25,6	0,65	3,6	-,-
10000	31,6	27	0,52	4,6	-,-

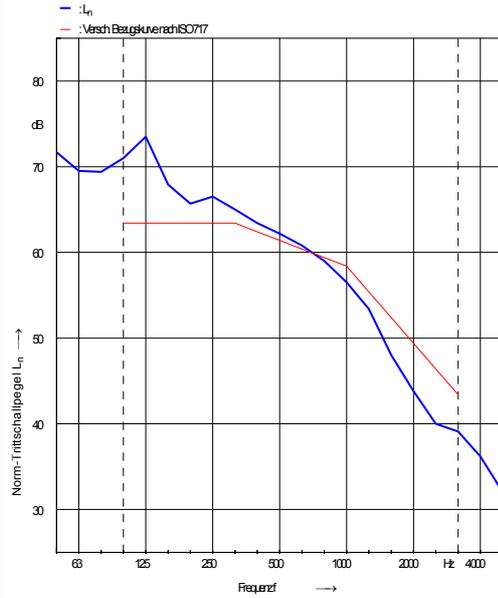


Abbildung 111 Berechnung der verschobenen Bezugskurve von L<sub>n</sub> durch Nor-Sic

Um andere Frequenzbereiche zu bewerten und eventuelle Trittschallpegel-Spitzen in tiefen Frequenzen stärker zu gewichten, sind in der DIN EN ISO 717-2 Spektrumsanpassungswerte eingeführt. Eine Übersicht über mögliche Spektrumsanpassungswerte bietet Tabelle 41.

Tabelle 41 Spektrumsanpassungswerte für L<sub>n,w</sub>

Kurzbezeichnung	Frequenzbereich	Auswirkung
C <sub>1</sub>	100 – 2500 Hz	Berücksichtigung von Schallpegelspitzen bei einzelnen (tiefen) Frequenzen; bei „massiven Rohdecken mit wirkungsvollen Deckenauflagen“ [23] beträgt dieser Wert in etwa 0dB; bei „Holzbalkendecken mit vorherrschenden tieffrequenten Spitzen nimmt er positive Werte an“ [23]
C <sub>1, 50-2500</sub>	50 – 2500 Hz	wie C <sub>1</sub> , zusätzliche Berücksichtigung von sehr tiefen Frequenzen (zwischen 50 und 100 Hz);

Die Berechnung der Spektrumsanpassungswertes C<sub>1</sub> erfolgt gemäß DIN 717-2, A.2.1 [23] nach Gleichung 33.

**Gleichung 33:**

$$C_I = L_{n,sum} - 15dB - L_{n,w}$$

- $C_I$                       Spektrumsanpassungswert in dB
- $L_{n,sum}$                 Summenpegel des Ergebnisses von  $L_n$  einer Messung nach Gleichung 34

**Gleichung 34:**

$$L_{n,sum} = 10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^k 10^{0,1 \cdot L_{n,i}} \right)$$

- $L_{n,i}$                     Norm-Trittschallpegel im Frequenzband i in dB (Bsp. Abbildung 111, Spalte „ $L_n$ “)
- $k$                          betrachtete Frequenzbänder

In Tabelle 42 sind für das vorangehende Beispiel die Spektrumsanpassungswerte  $C_I$  und  $C_{I,50-2500}$  berechnet worden (Norm-Trittschallpegel  $L_{n,i}$  aus Abbildung 111 Spalte „ $L_n$ “;  $L_{n,w}$  ist der Einzahlwert nach Abbildung 110).

**Tabelle 42 Beispiel für Berechnung der Spektrumsanpassungswerte  $C_I$  und  $C_{I,50-2500}$**

Frequenz i in Hz	Norm-Trittschallpegel $L_n$ in dB	$10^{0,1 \cdot (L_n,i)}$	
20	76,3	42657951,88	
25	64,8	3019951,72	
31,5	64,9	3090295,433	
40	68	6309573,445	
50	71,7	14791083,88	
63	69,5	8912509,381	
80	69,4	8709635,9	
100	71	12589254,12	
125	73,5	22387211,39	$L_{n,sum, 100-2500}$ 77,7
160	67,9	6165950,019	- $L_{n,w}$ 61,4
200	65,7	3715352,291	- 15 dB 15,0
250	66,5	4466835,922	$C_I$ 1,3
315	65	3162277,66	
400	63,4	2187761,624	$L_{n,sum, 50-2500}$ 79,6
500	62,2	1659586,907	- $L_{n,w}$ 61,4
630	60,8	1202264,435	- 15 dB 15,0
800	59	794328,2347	$C_{I, 50-2500}$ 3,2
1000	56,5	446683,5922	
1250	53,4	218776,1624	
1600	48	63095,73445	
2000	43,8	23988,32919	
2500	40	10000	
3150	39,1	8128,305162	
4000	36,2	4168,693835	
5000	32	1584,893192	
6300	28	630,9573445	
8000	29,2	831,7637711	
10000	31,6	1445,439771	

Sind alle Berechnungs- und Bewertungsschritte ausgeführt, kann durch Nor-Sic ein fertiges Prüfprotokoll erstellt werden das alle Ergebnisse zusammenfasst. Für dieses Beispiel ist das Prüfprotokoll in Abbildung 112 dargestellt.

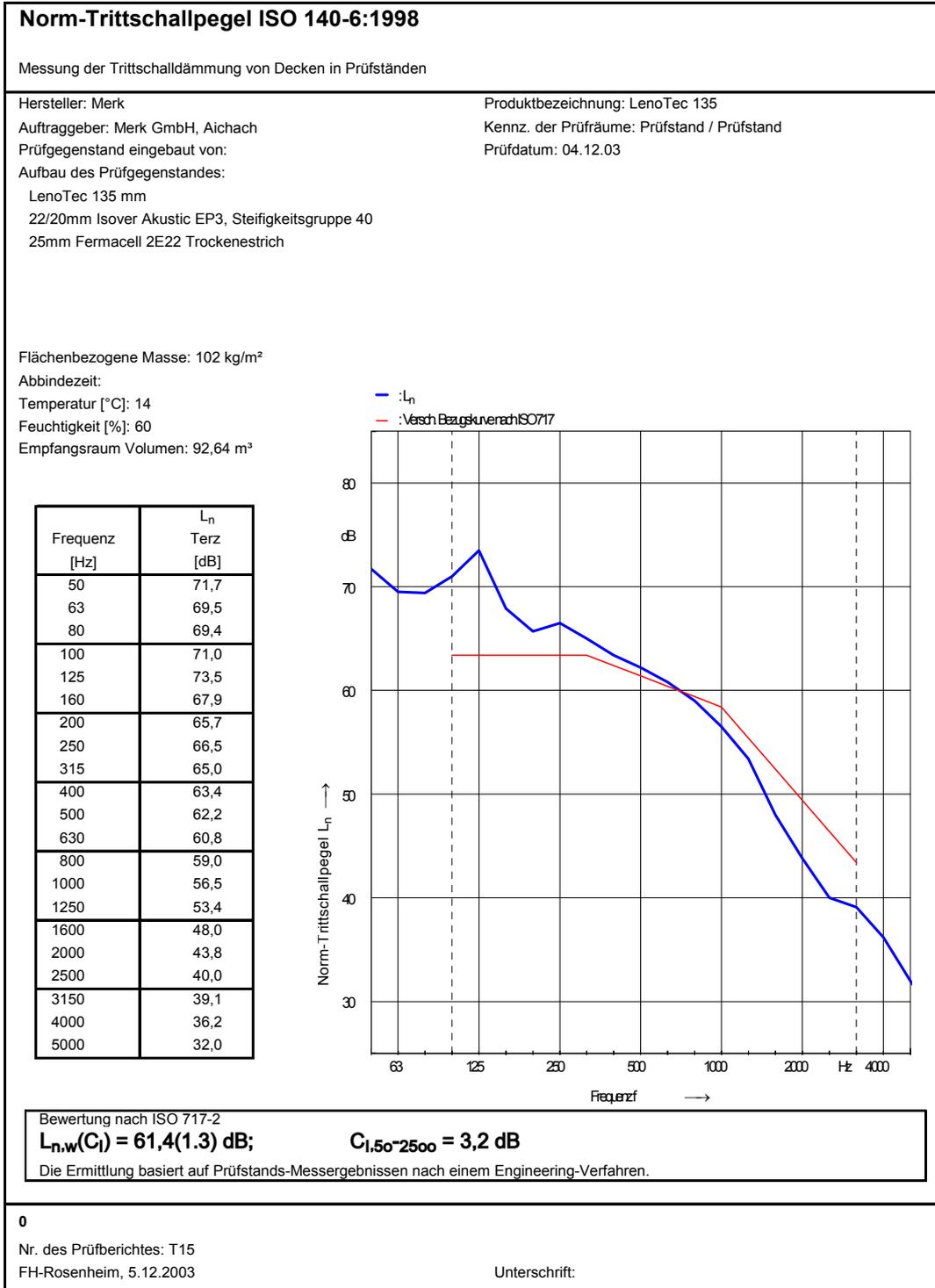


Abbildung 112 Messprotokoll einer Trittschallmessung

# D Messung von Beschleunigungspegeln im Deckenprüfstand

Messungen von Beschleunigungspegeln mit Hilfe von Schwingungsaufnehmern zeigen das Schwingungsverhalten eines Bauteils bei einer bestimmten Anregung auf.

## D.1 Mess-Equipment

Die Schwingungsuntersuchungen für diese Arbeit werden mit folgender technischer Ausstattung ausgeführt:

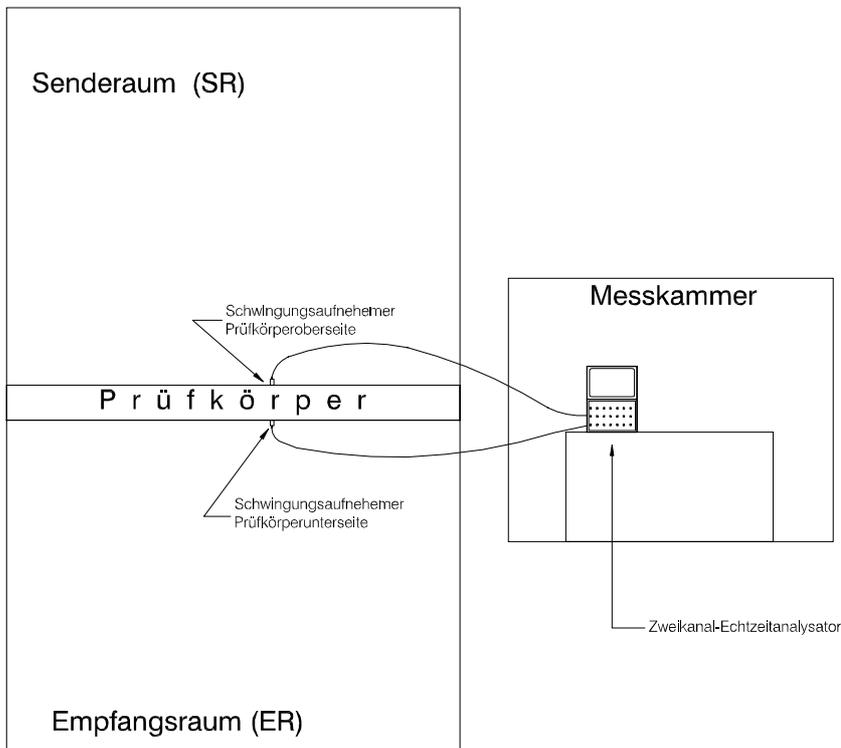
- Normhammerwerk, Fa. Norsonic, Nor-211, Ser.-Nr. 20423
- Impulshammer mit weichem Aufsatz
- Beschleunigungsaufnehmer 1, Fa. Norsonic ,Typ nor-1270 , Ser.-Nr. 27735 mit Vorverstärker, Typ 1449



- Beschleunigungsaufnehmer 2, Fa. Norsonic ,Typ nor-1270 , Ser.-Nr. 27645 mit Vorverstärker, Typ 1449
- Zweikanal-Echtzeitanalysator, Fa. Norsonic, Typ Nor RTA840-2, Ser.-Nr. 25884

## D.2 Messanordnung

Die Messanordnung für die Schwingungsuntersuchungen an den Deckenkonstruktionen ist Abbildung 113, Abbildung 114 und Abbildung 115 zu entnehmen.



**Abbildung 113 Messanordnung Schwingungsuntersuchung im Deckenprüfstand**

Da die Ankopplung der Schwingungsaufnehmer (siehe Abbildung 115) und damit das Messergebnis von der Oberfläche des Prüfkörpers abhängt, erweist es sich als nicht sinnvoll die Aufnehmer auf der wechselnden Oberseite des Aufbaus anzubringen. Vielmehr sind feste Positionen auf der Unterseite der Prüfdecke zweckmäßig, da hier keine Veränderungen vorgenommen werden und so gleich bleibende Bedingungen herrschen. Die so gemessenen Pegel sollen die Aufbauten vergleichbar machen. Nicht messbar ist allerdings der Unterschied der Pegel zwischen Oberfläche Estrich und Unterseite Rohdecke der einzelnen Aufbauten.

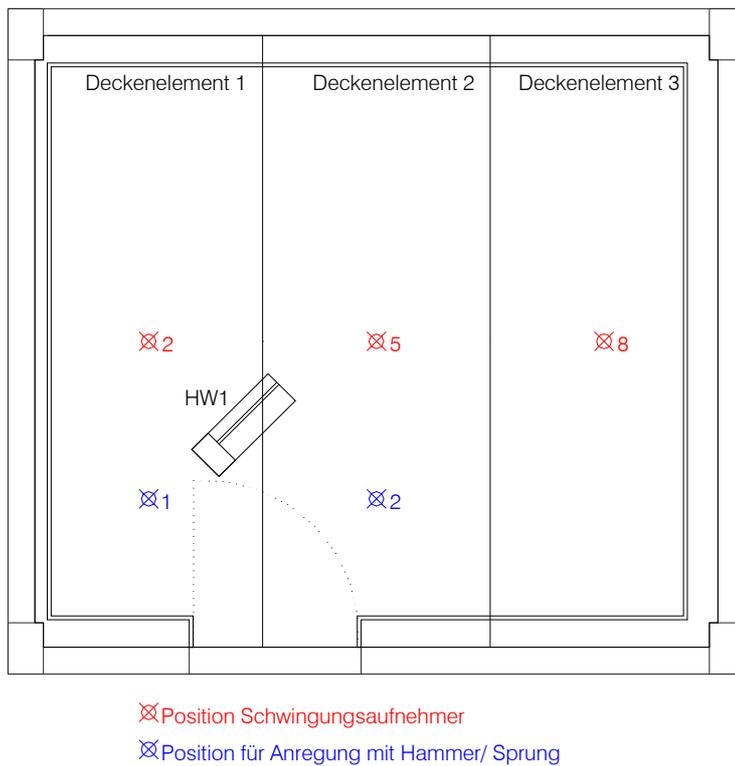


Abbildung 114 Positionen für Schwingungsuntersuchungen im Grundriss der Prüfdecke

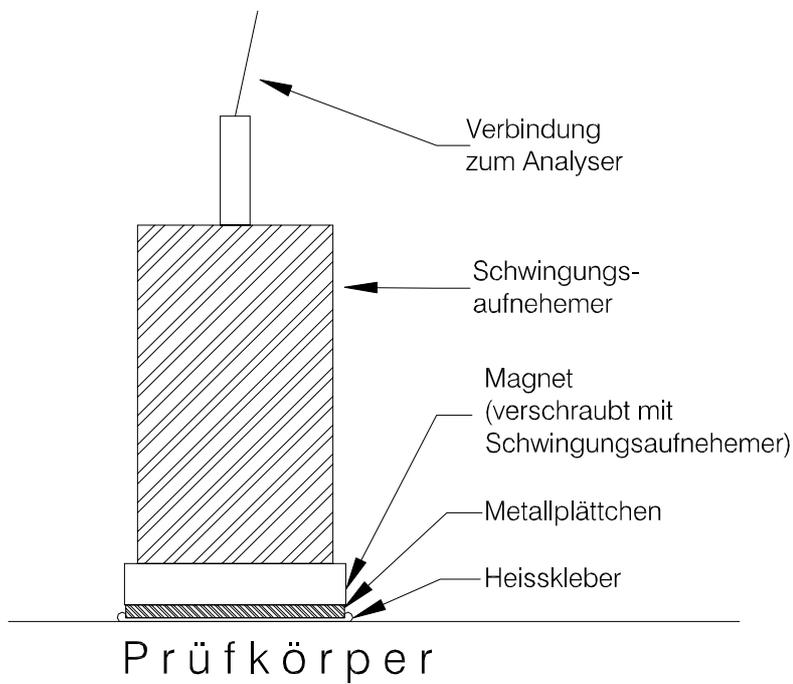


Abbildung 115 Ankoppelung des Schwingungsaufnehmers an der Bauteiloberfläche

## D.3 Vorbereitungen

Vor dem Start einer Messung sind folgende Vorbereitungen zu treffen:

- Kalibrieren der Schwingungsaufnehmer
- Anbringen der Metallplättchen (vergleiche Abbildung 115) an den gewählten Stellen auf der Prüfkörperoberfläche; um ein Verfälschen der Ergebnisse zu vermeiden ist wichtig, die Plättchen mit möglichst geringer Klebschichtdicke anzubringen (eine schwankende Klebschichtdicke kann zu unterschiedlicher Dämpfung innerhalb der Klebschicht und somit zu einem unterschiedlichen Schwingverhalten führen)
- Festlegen und einstellen des Messmodus (FFT oder Terzfiltermodus)<sup>103</sup>
- Einstellen der Mittelungszeit (im Terzfiltermodus) bzw. der Anzahl der Mittelungen im FFT-Modus
- Bei FFT-Modus zusätzlich Fensterung wählen (Rechteck- /Hanning-)
- Auslösemechanismus (Triggercondition) wählen (manueller Start oder Start bei bestimmter Amplitude)

---

<sup>103</sup> FFT (Fast Fourier Transformation)-Modus: hochaufgelöste Schmalbandanalyse der Beschleunigungspegel im betrachteten Frequenzbereich, Terzfiltermodus: der Beschleunigungspegel wird auf Terzbandbreite gefiltert ausgegeben

## D.4 Prüfablauf

Die Schwingungsuntersuchungen werden mit folgenden festen Einstellungen ausgeführt:

- Frequenzbereich bei FFT-Messung: 0 – 390Hz
- Frequenzbereich bei Messung im Terzfiltermodus: 1 – 1000Hz<sup>104</sup>
- Auslösemechanismus bei impulsartiger Anregung: amplitudengesteuert
- Auslösemechanismus bei kontinuierlicher Anregung: manuell
- Mittelungsdauer:   FFT-Modus: 1 Mittelung/ 10Mittelungen  
                          Filter-Modus: 30s
- Fensterung: Rechteck

Das Schwingverhalten der Decke soll mit verschiedenen Anregungsarten untersucht werden. Zu unterscheiden ist dabei zwischen kontinuierlichen Anregungsarten (Geher, Hammerwerk) und impulsartigen Anregungsarten (Sprung, Hammer).

Es wird jeweils eine Messung an einer Position in der Mitte jedes Deckenelementes durchgeführt (siehe Abbildung 114). Bei Anregung durch Sprung und Hammer wird an zwei verschiedenen Positionen angeregt.

---

<sup>104</sup> zu Beginn der Messungen werden noch keine Messungen im Terzfiltermodus durchgeführt, für diese Aufbauten werden die Messwerte des FFT-Spektrums händisch in Terzen gemittelt

## D.5 Auswertung

Es sollen im Rahmen dieser Arbeit nur qualitative Aussagen über das Schwingungsverhalten getroffen werden. Im Vordergrund stehen die Vergleiche der Aufbauten untereinander. So können eventuelle Zusammenhänge zwischen den bauakustischen Kennlinien und denen der Schwingungsuntersuchungen aufgezeigt werden.

Die Darstellung der FFT-Analysen trägt in sehr kleinen Frequenzsprüngen die einzelnen Messergebnisse auf. So kann eine sehr genaue Zuordnung eventuell auftretender Pegelspitzen und Pegeleinbrüche erfolgen.

Bei den Messungen im Terzfiltermodus werden Pegel eventueller charakteristischer Frequenzen in der entsprechenden Terz eingerechnet. Eine genaue Zuordnung einzelner Frequenzen ist hier nicht mehr möglich. Der tendenzielle Frequenzverlauf des Pegels kann aber deutlich aufgezeigt werden.

In Abbildung 116 werden die Ergebnisse von Messungen im Terzfilter- und FFT-Modus gegenübergestellt. Die Messungen sind am gleichen Aufbau und der gleichen Aufnehmerposition durchgeführt worden.

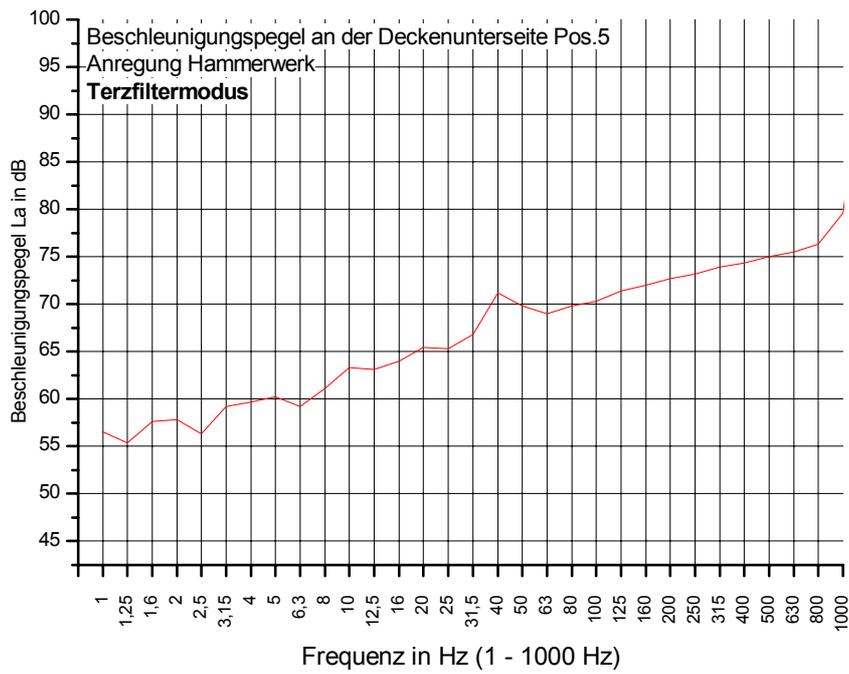
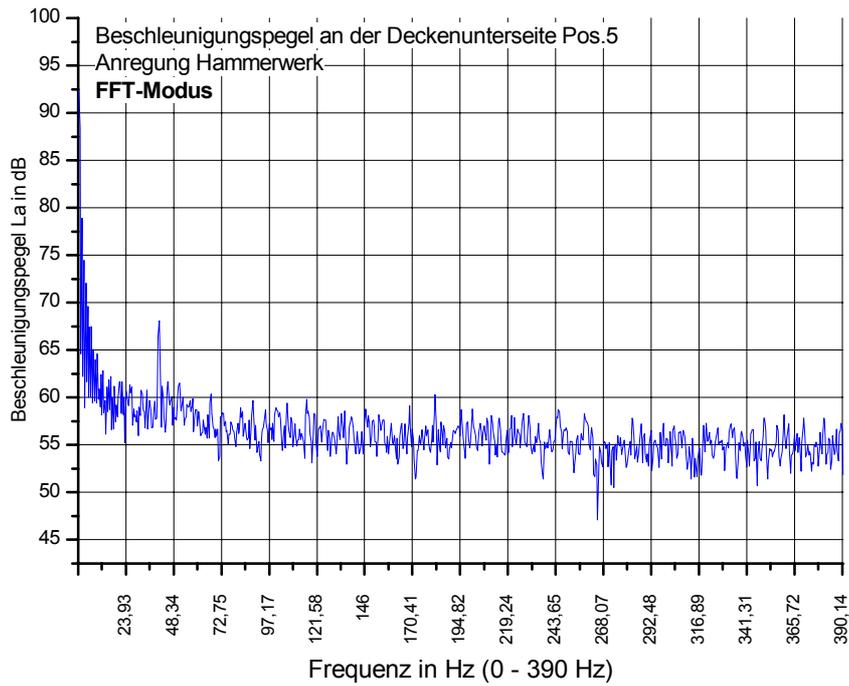
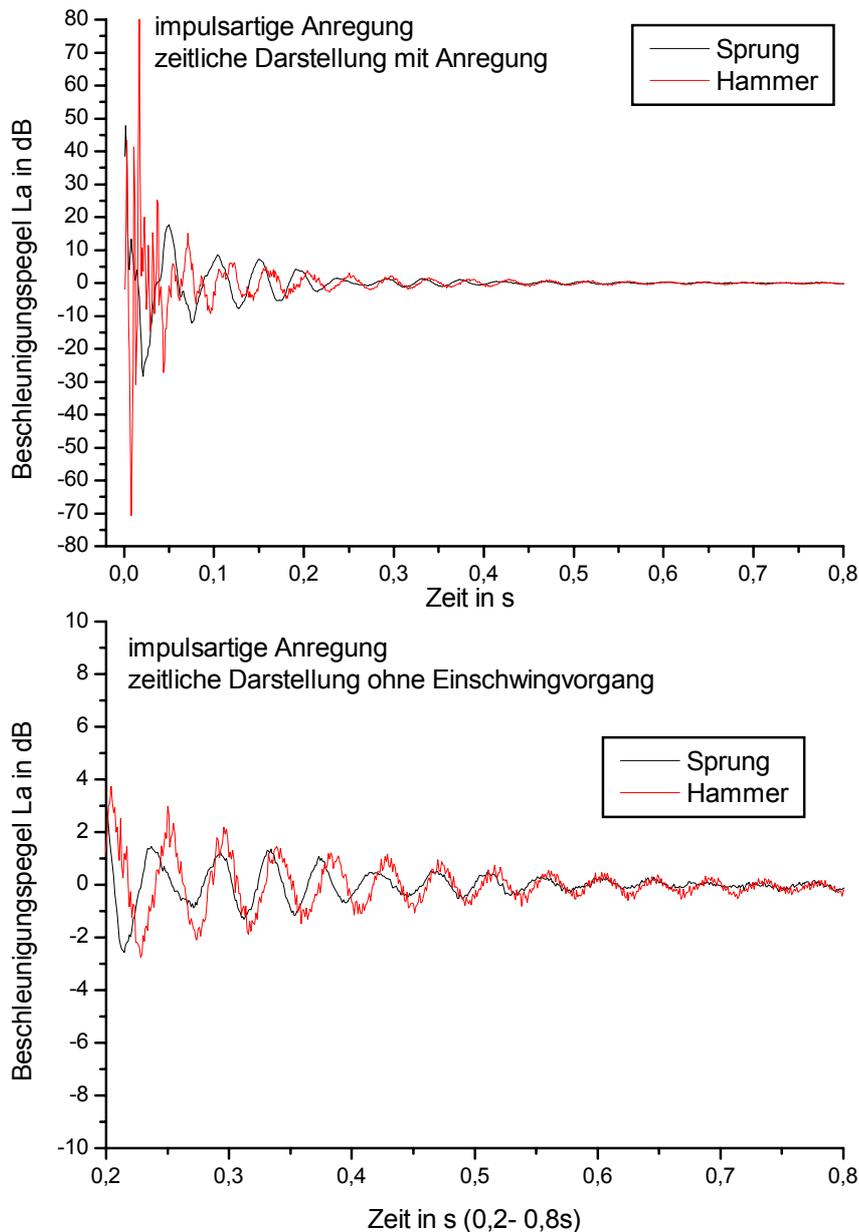


Abbildung 116 Vergleich Terzfilter- und FFT-Modus

Bei den impulsartigen Anregungen wird zusätzlich zu diesen frequenzabhängigen Pegelverläufen, der Verlauf des Beschleunigungspegels über die Zeit gemessen. Eine Auswertung dieser Messung soll nicht für jeden Aufbau durchgeführt werden. Interessant ist hier aufzuzeigen, wie sich die Schwingung einer Deckenkonstruktion zeitlich darstellen lässt. Ein Beispiel für eine derartige Darstellung ist in Abbildung 117 zu sehen. Eine weitere Analyse des Pegelverlaufes über die Zeit soll in dieser Arbeit nicht erfolgen.



**Abbildung 117 Verlauf Beschleunigungspegel über die Zeit bei verschiedenen Anregungsarten**

# E Messung von Beschleunigungspegeln im Testprüfstand (m<sup>2</sup>-Prüfstand)

Parallel zu den Messungen im Deckenprüfstand soll versuchsweise eine Messreihe an einem kleinen Testprüfstand („m<sup>2</sup>-Prüfstand“<sup>105</sup>) durchgeführt werden.

## E.1 Mess-Equipment

Die Schwingungsuntersuchungen im m<sup>2</sup>-Prüfstand werden mit folgender technischer Ausstattung ausgeführt:

- Normhammerwerk, Fa. Norsonic, Nor-211, Ser.-Nr. 20423
- Beschleunigungsaufnehmer, Fa. Norsonic, Typ nor-1270, Ser.-Nr. 27645 mit Vorverstärker, Typ 1449
- Zweikanal-Echtzeitanalysator, Fa. Norsonic, Typ Nor RTA840-2, Ser.-Nr. 25884

---

<sup>105</sup> „m<sup>2</sup>-Prüfstand“ wegen seiner Fläche von 1 m<sup>2</sup>

## E.2 Messanordnung

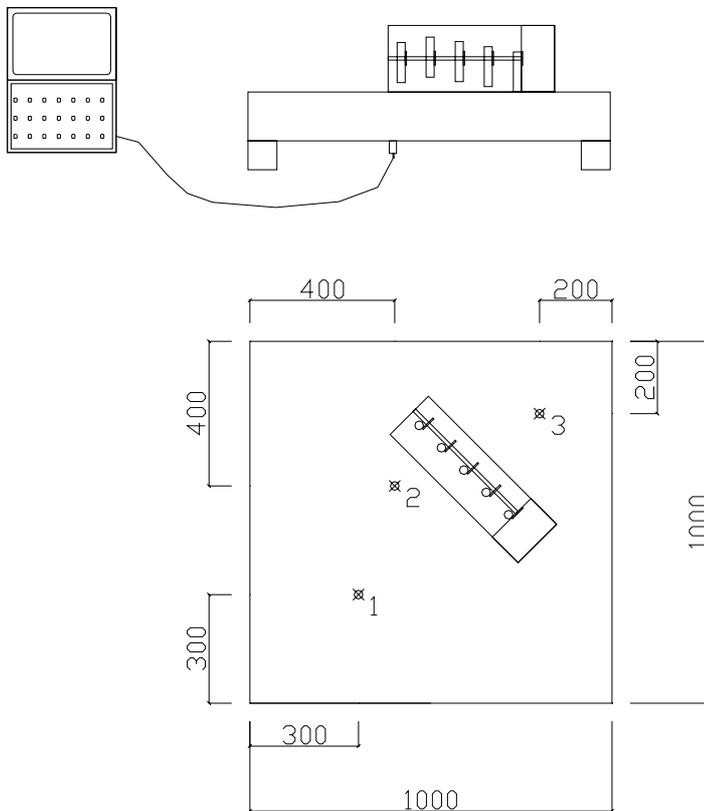


Abbildung 118 Aufbauschema  $m^2$ -Prüfstand

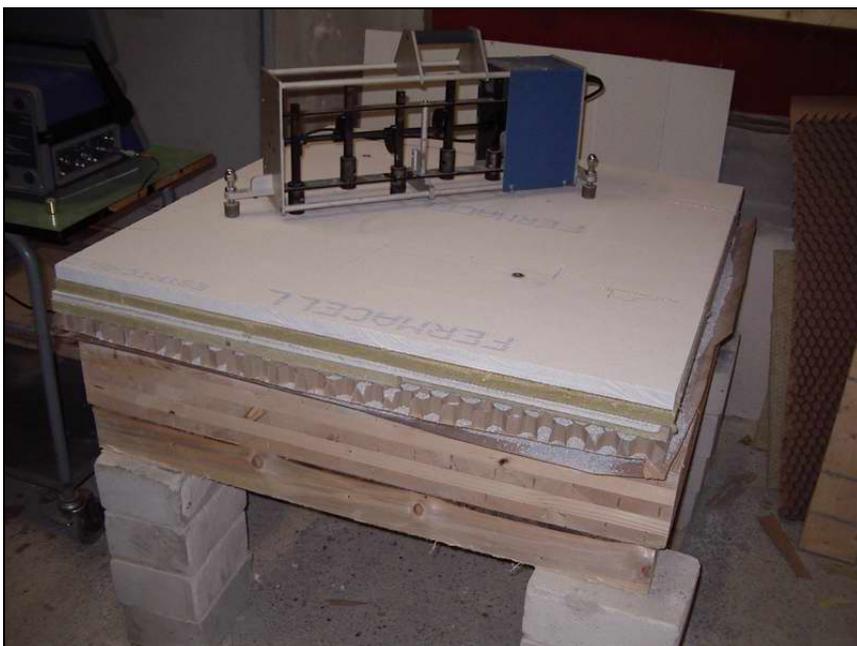


Abbildung 119 Messung im  $m^2$ -Prüfstand

## E.3 Vorbereitungen

Vor dem Start einer Messung sind folgende Vorbereitungen zu treffen:

- Kalibrieren der Schwingungsaufnehmer
- Anbringen der Metallplättchen an den gewählten Stellen auf der Prüfkörperoberfläche; um ein Verfälschen der Ergebnisse zu vermeiden ist wichtig, die Plättchen mit möglichst geringer Klebschichtdicke anzubringen (eine schwankende Klebschichtdicke kann zu unterschiedlicher Dämpfung innerhalb der Klebschicht und somit zu einem unterschiedlichen Schwingverhalten führen)
- Festlegen und einstellen des Messmodus (FFT oder Terzfiltermodus)<sup>106</sup>
- Einstellen der Mittelungszeit (im Terzfiltermodus) bzw. der Anzahl der Mittelungen im FFT-Modus
- Bei FFT-Modus zusätzlich Fensterung wählen (Rechteck- /Hanning-)
- Auslösemechanismus (Triggercondition) wählen (manueller Start oder Start bei bestimmter Amplitude)

---

<sup>106</sup> FFT (Fast Fourier Transformation)-Modus: hochaufgelöste Schmalbandanalyse der Beschleunigungspegel im betrachteten Frequenzbereich, Terzfiltermodus: der Beschleunigungspegel wird auf Terzbandbreite gefiltert ausgegeben

## E.4 Prüfablauf

Die Schwingungsuntersuchungen im m<sup>2</sup>-Prüfstand werden mit folgenden festen Einstellungen ausgeführt:

- Frequenzbereich bei FFT-Messung: 20 – 390Hz
- Frequenzbereich bei Messung im Terzfiltermodus: 20 – 4000Hz
- Auslösemechanismus manuell
- Mittelungsdauer: FFT-Modus: 10Mittelungen  
Filter-Modus: 10s
- Bei FFT-Modus: Fensterung: Hanning

Bei allen im Deckenprüfstand getesteten Aufbauten soll hier mit dem Norm-Hammerwerk auf der Oberseite des Estrichs/ der Rohdecke angeregt werden. An der Deckenunterseite werden während dessen die Beschleunigungspegel  $L_a$  mit Hilfe von Schwingungsaufnehmern gemessen.

An jedem Aufbau wird an drei Positionen gemessen. Die Pegel werden über alle drei Messungen energetisch gemittelt. Es wird je eine Messreihe im FFT-Modus und im Terzfiltermodus durchgeführt.

## E.5 Auswertung

Vergleiche der Aufbauten untereinander, sowie der entsprechenden Ergebnisse im großen Prüfstand mit denen im m<sup>2</sup>-Prüfstand sollen eventuelle Zusammenhänge aufzeigen.

Eigenschwingungen der Prüfdecke sind im m<sup>2</sup>-Prüfstand nicht nachweisbar, da diese stark von den Abmessungen der Konstruktion abhängig sind. Da die Eigenschwingungen (Grundmode) in tiefen Frequenzen auftreten, und hier ein Vergleich von Prüfdecke und Testdecke nicht sinnvoll ist, sollen Frequenzen unter 20Hz bei der Auswertung der Testprüfstandergebnisse nicht berücksichtigt werden.

# F Schallpegelspektren zur Berechnung der Spektrumsanpassungswerte

Tabelle 43 Spektrumsanpassungswerte

Kurzbezeichnung	Bewertetes Spektrum	Frequenzbereich	Anwendung
C	Spektrum Nr. 1	100 – 3150 Hz	Wohnaktivitäten, Kinderspielen, Schienenverkehr mit mittlerer u. hoher Geschw. Autobahnverkehr bei >80km/h, Düsenflugzeuge in kleinem Abstand, Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequenten Lärm abstrahlen
C <sub>50-3150</sub>		50 – 3150 Hz	
C <sub>50-5000</sub>		50 – 5000 Hz	
C <sub>100-5000</sub>		100 – 5000 Hz	
C <sub>tr</sub>	Spektrum Nr. 2	100 – 3150 Hz	Städt. Straßenverkehr, Schienenverkehr geringer Geschw., Propellerflugz., Düsenflugz. in großem Abstand, Diskomusik, Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen
C <sub>tr,50-3150</sub>		50 – 3150 Hz	
C <sub>tr,50-5000</sub>		50 – 5000 Hz	
C <sub>tr,100-5000</sub>		100 – 5000 Hz	

	Freq (L)	Bezug(Y)	C(Y)	C <sub>tr</sub> (Y)
1	20	--	--	--
2	25	--	--	--
3	31,5	--	--	--
4	40	--	--	--
5	50	--	--	--
6	63	--	--	--
7	80	--	--	--
8	100	33	-2,9	-2,0
9	125	36	-2,6	-2,0
10	160	39	-2,3	-1,8
11	200	42	-2,1	-1,6
12	250	45	-1,9	-1,5
13	315	48	-1,7	-1,4
14	400	51	-1,5	-1,3
15	500	52	-1,3	-1,2
16	630	53	-1,2	-1,1
17	800	54	-1,1	-0,9
18	1000	55	-1,0	-0,8
19	1250	56	-0,9	-0,9
20	1600	56	-0,9	-1,0
21	2000	56	-0,9	-1,1
22	2500	56	-0,9	-1,3
23	3150	56	-0,9	-1,5
24	4000			
25	5000			
26	6300			

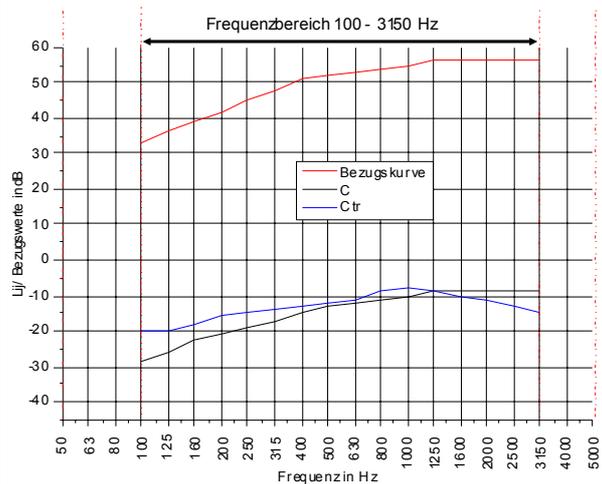


Abbildung 120 Schallpegelspektren zur Spektrumsanpassung 100 - 3150 Hz

	Freq (L)	Bezug (Y)	C503150 (Y)	tr503150 (Y)
1	20	--	--	--
2	25	--	--	--
3	31,5	--	--	--
4	40	--	--	--
5	50	--	-40	-25
6	63	--	-36	-23
7	80	--	-33	-21
8	100	33	-29	-20
9	125	36	-26	-20
10	160	39	-23	-18
11	200	42	-21	-16
12	250	45	-19	-15
13	315	48	-17	-14
14	400	51	-15	-13
15	500	52	-13	-12
16	630	53	-12	-11
17	800	54	-11	-9
18	1000	55	-10	-8
19	1250	56	-9	-9
20	1600	56	-9	-10
21	2000	56	-9	-11
22	2500	56	-9	-13
23	3150	56	-9	-15
24	4000			--
25	5000			--
26	6300			--

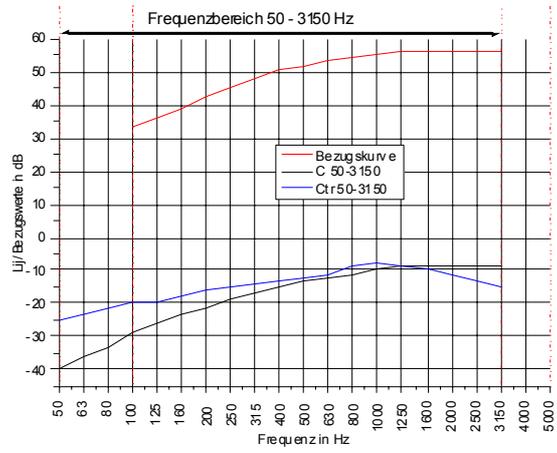


Abbildung 121 Schallspektren zur Spektrumsanpassung 50 - 3150 Hz

	Freq (L)	Bezug (Y)	C505000 (Y)	tr505000 (Y)
1	20	--	--	--
2	25	--	--	--
3	31,5	--	--	--
4	40	--	--	--
5	50	--	-41	-25
6	63	--	-37	-23
7	80	--	-34	-21
8	100	33	-30	-20
9	125	36	-27	-20
10	160	39	-24	-18
11	200	42	-22	-16
12	250	45	-20	-15
13	315	48	-18	-14
14	400	51	-16	-13
15	500	52	-14	-12
16	630	53	-13	-11
17	800	54	-12	-9
18	1000	55	-11	-8
19	1250	56	-10	-9
20	1600	56	-10	-10
21	2000	56	-10	-11
22	2500	56	-10	-13
23	3150	56	-10	-15
24	4000		-10	-16
25	5000		-10	-18
26	6300			--

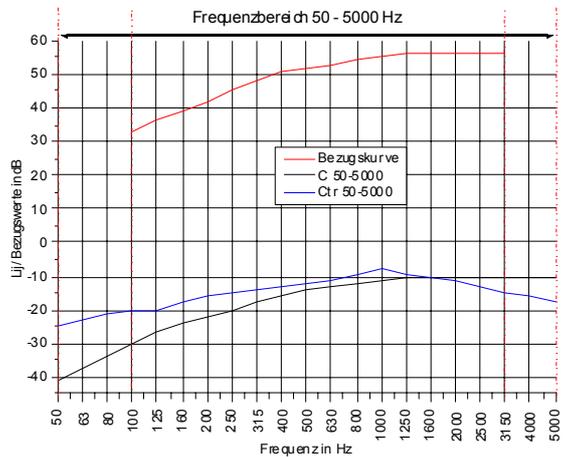


Abbildung 122 Schallspektren zur Spektrumsanpassung 50 - 5000 Hz

	Freq(L)	Bezug(Y)	l005000(Y)	r1005000 (
1	20	--	--	--
2	25	--	--	--
3	31,5	--	--	--
4	40	--	--	--
5	50	--	--	--
6	63	--	--	--
7	80	--	--	--
8	100	33	-30	-20
9	125	36	-27	-20
10	160	39	-24	-18
11	200	42	-22	-16
12	250	45	-20	-15
13	315	48	-18	-14
14	400	51	-16	-13
15	500	52	-14	-12
16	630	53	-13	-11
17	800	54	-12	-9
18	1000	55	-11	-8
19	1250	56	-10	-9
20	1600	56	-10	-10
21	2000	56	-10	-11
22	2500	56	-10	-13
23	3150	56	-10	-15
24	4000		-10	-16
25	5000		-10	-18
26	6300			--

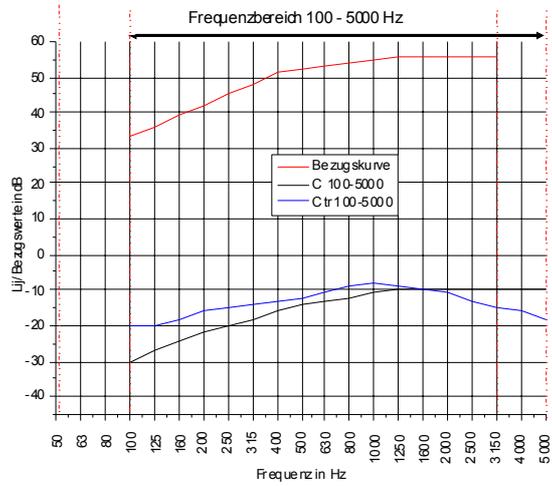


Abbildung 123 Schallspektren zur Spektrumsanpassung 100 - 5000 Hz

# G Materialübersicht

Tabelle 44 Übersicht Rohdeckenbeschwerung

Rohdeckenbeschwerung							
Gruppe	Produkt	d in mm	m' in kg/m <sup>2</sup>	m' pro cm in kg/m <sup>2</sup>	Schutz gegen Wandern	Vorteile	Nachteile
Schüttungen	Fermacell Wabenschüttung aus Kalksplitt	30	45	15	Fermacell Pappwaben	erprobtes Produkt hohes Flächengewicht Kanal- und Leitungsverlegung problemlos trockene Bindung auch mehrlagig einsetzbar gute innere Dämpfung	festgelegte Schütthöhen (30 und 60 mm)
		60	90				
	Splitt	beliebig		15	Bindung mit K101 (Auftrag mit Gießkanne oder Airless Spritzpistole) Bindung mit K102 (Auftrag im Mischer)	variable Schütthöhe Kanal- und Leitungsverlegung problemlos hohes Flächengewicht gute innere Dämpfung	Trockenzeit erforderlich (für Bindemittel) je nach Estrichaufbau Beschaffung von geeignetem Schüttgut problematisch
	Sand	beliebig		15	„System“ der Firma Okal: Bindung in Sandmatten	gute innere Dämpfung Kanal- und Leitungsverlegung problemlos hohes Flächengewicht	zusätzliche Ausgleichsschüttung erforderlich (wegen Unebenheit der Sandmatten)

Tabelle 44 Übersicht Rohdeckenbeschwerung (Forts.)

Rohdeckenbeschwerung (Fortsetzung)							
Gruppe	Produkt	d in mm	m' in kg/m <sup>2</sup>	m' pro cm in kg/m <sup>2</sup>	Schutz gegen Wandern	Vorteile	Nachteile
Platten/ Steine	Gehwegplatten (Beton)			25	nicht notwendig, Lagerung in Schweißsandschicht oder Verklebung mit Rohdecke zur Bedämpfung der Decke	hohe Massen bei relativ wenig Aufbauhöhe (je nach Material)	im Vergleich mit Schüttungen geringere Trittschallpegel-Senkung (wegen geringerer Biegeweichheit)  Verlegung von Kanälen und Leitungen schwierig  va. bei Kanälen und im Randbereich zusätzliche Schüttung erforderlich (zum Auffüllen der Fugen und Überdecken der Kanäle)
	Kalksandsteine, Ziegel			Verschiedene Rohdichten (1,2 – 2,8)			

Tabelle 45 Übersicht Trittschalldämmung

Trittschalldämmung							
Gruppe	Produkt	Stärke $d_L / d_B$ <sup>107</sup> in mm	flächen- bezogene Masse $m'$ in $kg/m^2$	dynam. Steifigkeit $s'$ in $MN/m^3$	zul. Zusammen- drückbarkeit		Anwendung
					Typ	$d_L - d_B$ in mm	
Mineralfaser- dämmstoffe nach DIN 18165-2	Isover AkusticEP1	13/10		< 20	T	3	für schwimmende Estriche nach DIN 18560-2 (ZE, AE, GE, ME); für $p < 1,5kN/m^2$ : $d_{estrich} > 40mm$ ; bei höheren Belastungen entsprechend erhöhen
		20/15		< 10		5	
		25/20		< 10		5	
		30/25		< 7		5	
		35/30		< 7		5	
		40/35		< 7		5	
	Isover AkusticEP2	22/20		< 20	TK	2	für Nass- und Gussasphaltestriche, FPY ( $d > 28mm$ ) (bei Belastung bis $1,5kN/m^2$ )
		27/25		< 20		2	
		32/30		< 15		2	
	Isover AkusticEP3	12/10		< 40	TK	2	z.B. für Trockenestrich- systeme auf Gipsbasis (Belastungen bis $1,5 kN/m^2$ bei einer maximalen Dämmstoffdicke von 22/20 mm (siehe Estriche)
		22/20		< 40		2	
		27/25		< 50		2	
		32/30		< 50		2	
		42/40		< 50		2	
		52/50		< 50		2	
		62/60		< 50		2	
		72/70		< 50		2	

<sup>107</sup>  $d_L$  = Lieferdicke (Nenndicke);  $d_B$  = Dicke bei Belastung;  $d_L - d_B$  ist die Zusammendrückbarkeit (bei mehrlagiger Verlegung ist die Summe der Einzelwerte einzusetzen)

Tabelle 45 Übersicht Trittschalldämmung (Forts.)

Trittschalldämmung (Fortsetzung)							
Gruppe	Produkt	Stärke $d_L / d_B^{107}$ in mm	flächen- bezogene Masse $m'$ in $kg/m^2$	dynam. Steifigkeit $s'$ in $MN/m^3$	Zusammen- drückbarkeit		Anwendung
					Typ	$d_L - d_B$ in mm	
Mineralfaser- dämmstoffe nach DIN 18165-2 (Fortsetzung)	Rockwool-RT	15/10		< 28	T	5	für schwimmende Estriche nach DIN 18560-2 (ZE, AE, GE, ME); für $p < 1,5kN/m^2$ : $d_{estrich} > 40mm$ ; bei höheren Belastungen entsprechend erhöhen
		20/15		< 18		5	
		25/20		< 13		5	
		30/25		< 11		5	
		35/30		< 10		5	
		40/35		< 9		5	
	Rockwool-Floorrock	20/18		< 48	TK	2	Nass- und Gussasphaltestriche; insbe- sondere für hohe Lasten; Spanplatten mit $d > 22mm$
		30/28		< 27		2	
		40/38		< 21		2	
		50/48		< 18		2	
		60/58		< 14		2	
		70/68		< 11		2	
	Rockwool-FloorrockGP	12/11		< 75	TK	1	für Verlegung unter Fertigteil-Estrichen aus Gipskarton- und Gipsfaserplatten
		20/19		< 50		1	
		30/29		< 42		1	
	Perlite Fasoperl-TS	12/11		< 40	TK	1	Trocken-, Nass- und Gussasphaltestriche
		21/19		< 40		2	
	Holzweichfaser- dämmstoffe nach DIN 68755-2	Pavatex Pavapor	17/16	2,6	< 50	TK	1
22/21			3,3	< 40	1		
32/30			4,8	< 30	2		
Steico Trittschall		22/20	3,0	< 30	TK	2	
Perlite Fasoperl-TSN		15/14	2,3	< 40	TK	1	
Gutex Thermofloor		21/20	3,4	< 30	TK	1	
	31/30	5,0	< 30	1			

Tabelle 45 Übersicht Trittschalldämmung (Forts.)

Trittschalldämmung (Fortsetzung)							
Gruppe	Produkt	Stärke $d_L / d_B^{107}$ in mm	flächen- bezogene Masse $m'$ in $kg/m^2$	dynam. Steifigkeit $s'$ in $MN/m^3$	Zusammen- drückbarkeit		Anwendung
					Typ	$d_L - d_B$ in mm	
Schaumkuststoffe nach DIN 18164-2 (2001-09)	Isover AkusticEP4	17/15		< 30	TK	2	Nassestriche, insbesondere bei Fußbodenheizung
		22/20		< 20		2	
		27/25		< 15		2	
		33/30		< 15		3	
		38/35		< 10		3	
		43/40		< 10		3	
		48/45		< 10		3	
		53/50		< 10		3	
	Schwenk Trittschalldämmung	17/15		< 30	TK	2	
		22/20		< 20		2	
		27/25		< 15		2	
		33/30		< 15		3	
		38/35		< 10		3	
		43/40		< 10		3	

Tabelle 46 Übersicht Estrichsysteme

Estrichsysteme							
Gruppe	Produkt	d in mm	m' in kg/m <sup>2</sup>	max. p <sup>108</sup> in kN/m <sup>2</sup>	kombinierbar mit	Vorteile	Nachteile
Trockenestriche auf Gipsbasis	Knauf Vidifloor	25	30	1,5	Dämmstoff nach DIN 18165-2 Typ TK (geringe Zusammen-drückbarkeit) ,s' > 40MN/m <sup>3</sup> , z.B. Isover Akustic EP3 (12/10) oder Pavapor 22/21)	geringe statische Belastung für System trockener Aufbau, keine Baufeuchte schnelle Belagsreife meist gute Systematisierung (sehr anwenderfreundlich)	geringe ΔLw,H hohe Aufbauten für Beschwerung notwendig TSD mit hoher s'
	Knauf TUB + GKP	38	26 + 10				
	Fermacell 2E22	25	30				
	Rigidur	25	25				
	Rigiplan	25					
Erhältlich sind auch sind kombinierte Produkte aus Gipsfaserplatten und aufkaschierter Mineralfaser- oder Holzweichfaser-TSD							
Trockenestrich aus Holzwerkstoffen	FPY, OSB	>28	>17	1,5	Dämmstoff nach DIN 18165-2 Typ TK, s' > 15MN/m <sup>3</sup> , z.B. Isover Akustic EP2 (32/30)	geringe statische Belastung für System trockener Aufbau, keine Baufeuchte schnelle Belagsreife	geringe ΔLw,H hohe Aufbauten für Beschwerung notwendig TSD mit hoher s' außer FPY >28mm geringe Systematisierung (nicht sehr anwenderfreundlich)
		>25	>15	1,5	Dämmstoff nach DIN 18165-2 Typ TK , s' > 40MN/m <sup>3</sup> , z.B. Isover Akustic EP3 (12/10) oder Pavapor 22/21)		

<sup>108</sup> max. p = die maximal aufnehmbare Verkehrslast (sollte mindestens so groß sein wie die lotrechte Nutzlast q<sub>K</sub> nach DIN 1055-3)

Tabelle 46 Übersicht Estrichsysteme (Forts.)

<b>Estrichsysteme (Fortsetzung)</b>							
Gruppe	Produkt	d in mm	m' in kg/m <sup>2</sup>	max. p in kN/m <sup>2</sup>	kombinierbar mit	Vorteile	Nachteile
Trockenestrich auf Basis zementgebundener Werkstoffe	Perlite Aquapanel-TE	25	34	1,5	Dämmstoff nach DIN 18165-2 Typ TK , s' > 40MN/m <sup>3</sup> , z.B. Fasoperl-TS (21/19), Isover Akustic EP3 (12/10) oder Pavapor 22/21)	vergleichsweise hohes Flächengewicht (Beschwerung im Bereich Estrich)  trockener Aufbau, keine Baufeuchte  schnelle Belagsreife  weitere Schichten mit Aquapanel-Indoor-Platten möglich, zusätzliche Beschwerung (m'=15 kg/m <sup>2</sup> )	hohe s' der TSD
	Perlite Aquapanel-Floor	22	36	1,5			
	Eternit Duripanel Fußbodenverlegeplatte (Zementgebundene Spanplatten)	ab 25	ab 31,3	k.A.	je nach Anwendung und Dicke des Estrichs verschiedene Dämmstoffe ab s' einsetzbar	geringe Trocknungszeiten schnelle Belagsreife  keine zusätzliche Baufeuchte	geringe $\Delta L_{w,H}$ (wie bei Gipssystemen)  hohe Aufbauten für Beschwerung notwendig (rechnerisch nach Infodiest-Holz)  geringe Systematisierung (nicht sehr anwenderfreundlich)

Tabelle 46 Übersicht Estrichsysteme (Forts.)

<b>Estrichsysteme (Fortsetzung)</b>							
<b>Gruppe</b>	<b>Produkt</b>	<b>d in mm</b>	<b>m' in kg/m<sup>2</sup></b>	<b>max. p in kN/m<sup>2</sup></b>	<b>kombinierbar mit</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Trockenestrich auf Basis zementgebundener Werkstoffe (Fortsetzung)	Trockenzementestrich System Best	20 pro Lage	49,5 pro Lage	1,5 – 10,0 je nach Aufbau	Bei 1-lagigem Aufbau: TSD nach DIN 18156-2 Typ TK s' > 20 MN/m <sup>3</sup> (abh. von Verkehrslast) z.B. Rockwool Floorrock (72/70) oder Isover Akustic EP2 (27/25)  Bei 2-lagigem Aufbau: TSD nach DIN 18156-2 Typ T s' > 5 MN/m <sup>3</sup> (abh. von Verkehrslast) z.B. Rockwool RT(40/35) oder Isover Akustic EP1 (30/35)	hohe Festigkeiten erzielbar  hohe Flexibilität  hohe Masse und somit gute schalltechnische Eigenschaften  bei 2-lagigem Aufbau: TSD mit s' < 10 MN/m <sup>3</sup> möglich (geringstmögliche s')  geringere Norm-Trittschallpegel als bei bauseits ausgeführtem Nassestrich ZE 20 (laut Gutachten bei 2-lagigem Aufbau)  geringe Trocknungszeiten  schnelle Belagsreife  keine zusätzliche Baufeuchte  große Flächen ohne Dehnungsfugen verlegbar  auch für großformatige Fliesen anwendbar	im Vergleich zum Zementestrich relativ teuer (Material)  wegen kleinformatigen Elementen relativ aufwendig bei der Verlegung  im Vergleich zu Zementfließestrich aufwendige Baustellenabwicklung (z.B. Transport in Obergeschosse)

Tabelle 46 Übersicht Estrichsysteme (Forts.)

<b>Estrichsysteme (Fortsetzung)</b>							
Gruppe	Produkt	d in mm	m' in kg/m <sup>2</sup>	max. p in kN/m <sup>2</sup>	kombinierbar mit	Vorteile	Nachteile
Bauseits gefertigte Estriche	schwimmender Zementestrich nach DIN 18560-2 (z.B. ZE 20)	ab 35	22 pro cm (110 für 50mm)	1,5 – 10,0 je nach Festigkeitsklasse, Dicke und s' der TSD	Für p < 1,5 k/m <sup>2</sup> ab 35 mm ZE 20: TSD nach DIN 18165-2 oder 18164-2 Typ T; z.B. Isover Akustic EP1 (40/35) oder Rockwool RT(40/35)	relativ günstig hohe Masse und somit gute schalltechnische Eigenschaften bei 2-lagigem Aufbau: TSD mit s' < 10 MN/m <sup>3</sup> möglich Trittschallpegel auf vielen Aufbauten untersucht und somit auch für andere Konstruktionen relativ zuverlässig ermittelbar	große Mengen zusätzlicher Baufeuchte lange Trocknungszeiten Unterbrechung während der Verlegung schwer möglich
	schwimmender Gussasphaltestrich nach DIN 18560-2 (z.B. GE10)	25 - 30	60 - 75	je nach Festigkeitsklasse, s' der TSD und Schichtdicke		hohe Masse (aber meist geringe Schichtdicken) geringe Trocknungszeiten keine zusätzliche Baufeuchte gute innere Dämpfung	TSD mit hohem s' (im vgl. zu Zementestrich) Untergrund muß hitzebeständig sein

## H Formblätter

Die Messergebnisse der bauakustischen Untersuchungen sind hier noch einmal zusammengetragen. Die Darstellung in Formblättern erfolgt dabei nach den Vorgaben der DIN EN ISO 140-3 bzw. DIN EN ISO 140-6.

Die Ergebnisse der Trittschallmessungen für die Untersuchung mit den Teppichproben sind nur für die Rohdecke beigelegt, da nach DIN EN ISO 140-6 nur hier ein weichfedernder Bodenbelag angerechnet werden darf. Zusammen mit einem Estrich darf ein Teppich nicht angerechnet werden.

# H.1 Rohdecke

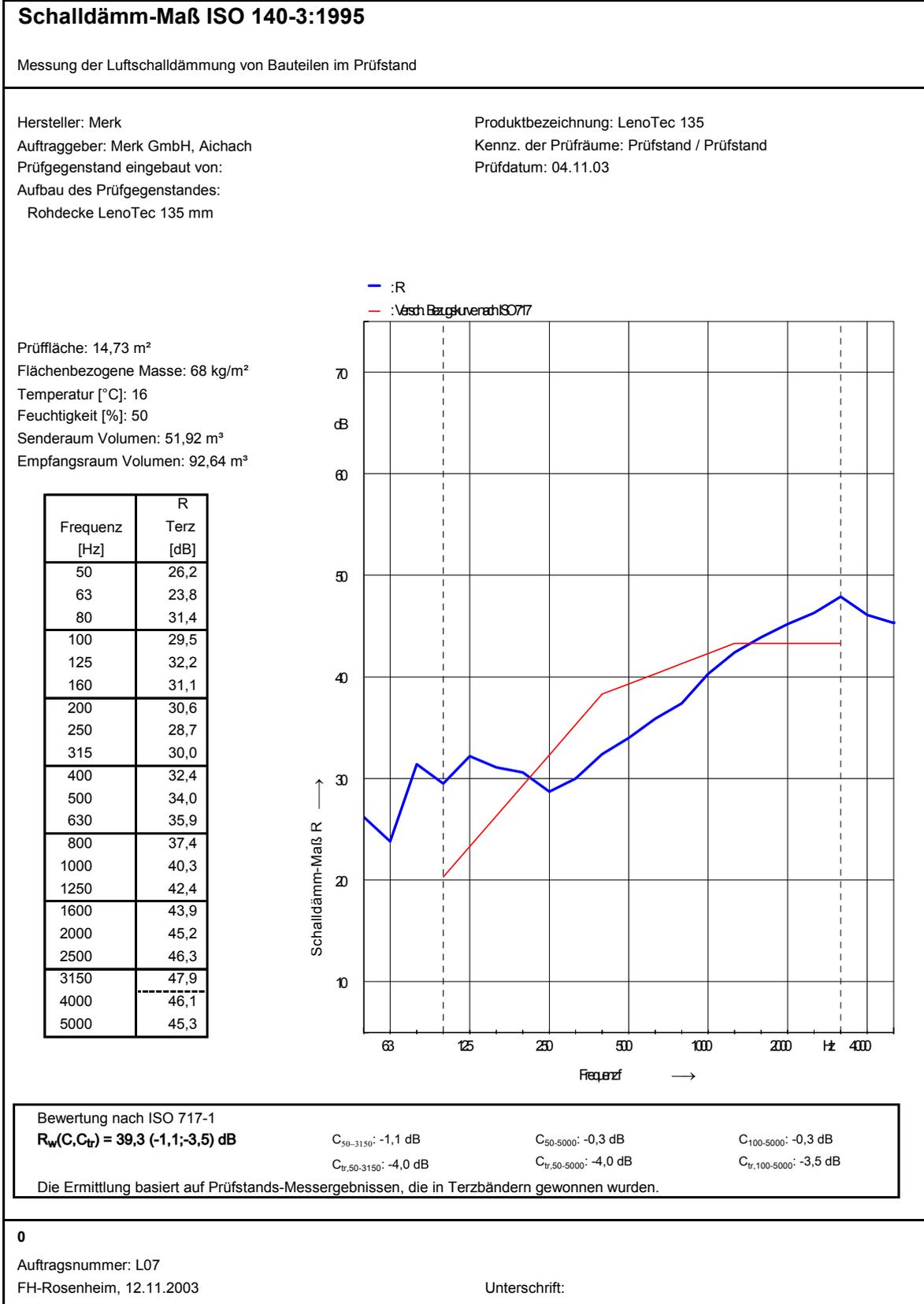


Abbildung 124 Formblatt R Rohdecke

### Norm-Trittschallpegel ISO 140-6:1998

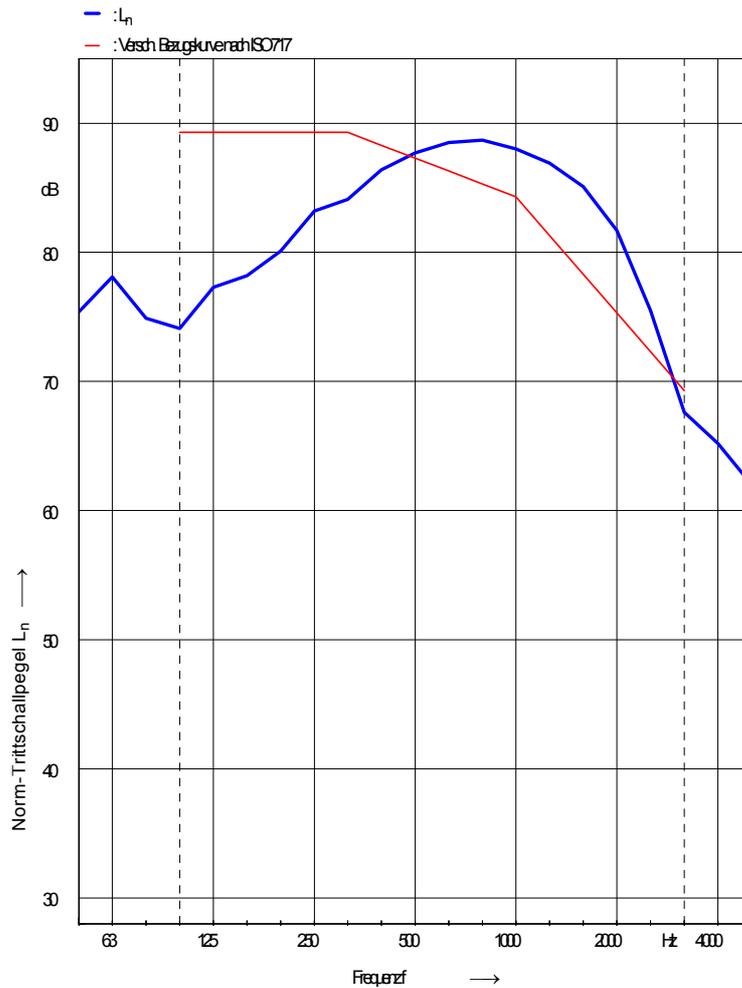
Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen

Hersteller: Merk  
 Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach  
 Prüfgegenstand eingebaut von:  
 Aufbau des Prüfgegenstandes:  
 Rohdecke LenoTec 135 mm

Produktbezeichnung: LenoTec 135  
 Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand  
 Prüfdatum: 04.11.03

Flächenbezogene Masse: 68 kg/m<sup>2</sup>  
 Abbindezeit:  
 Temperatur [°C]: 16  
 Feuchtigkeit [%]: 50  
 Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Frequenz [Hz]	L <sub>n</sub> Terz [dB]
50	75,4
63	78,1
80	74,9
100	74,1
125	77,3
160	78,2
200	80,1
250	83,2
315	84,1
400	86,4
500	87,7
630	88,5
800	88,7
1000	88,0
1250	86,9
1600	85,1
2000	81,7
2500	75,5
3150	67,6
4000	65,2
5000	62,0



Bewertung nach ISO 717-2  
**L<sub>n,w</sub>(C<sub>1</sub>) = 87,3(-5,5) dB; C<sub>1,50-2500</sub> = -5,4 dB**  
 Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen nach einem Engineering-Verfahren.

0

Nr. des Prüfberichtes: T03  
 FH-Rosenheim, 5.11.2003

Unterschrift:

Abbildung 125 Formblatt L<sub>n</sub> Rohdecke

**Norm-Trittschallpegel ISO 140-6:1998**

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen

Hersteller: Merk

Produktbezeichnung: LenoTec 135

Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach

Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand

Prüfgegenstand eingebaut von:

Prüfdatum: 04.11.03

Aufbau des Prüfgegenstandes:

Rohdecke LenoTec 135 mm

Teppich mit Textilrücken (Teppichprobe unter Hammerwerk)

Flächenbezogene Masse: 68 kg/m<sup>2</sup>

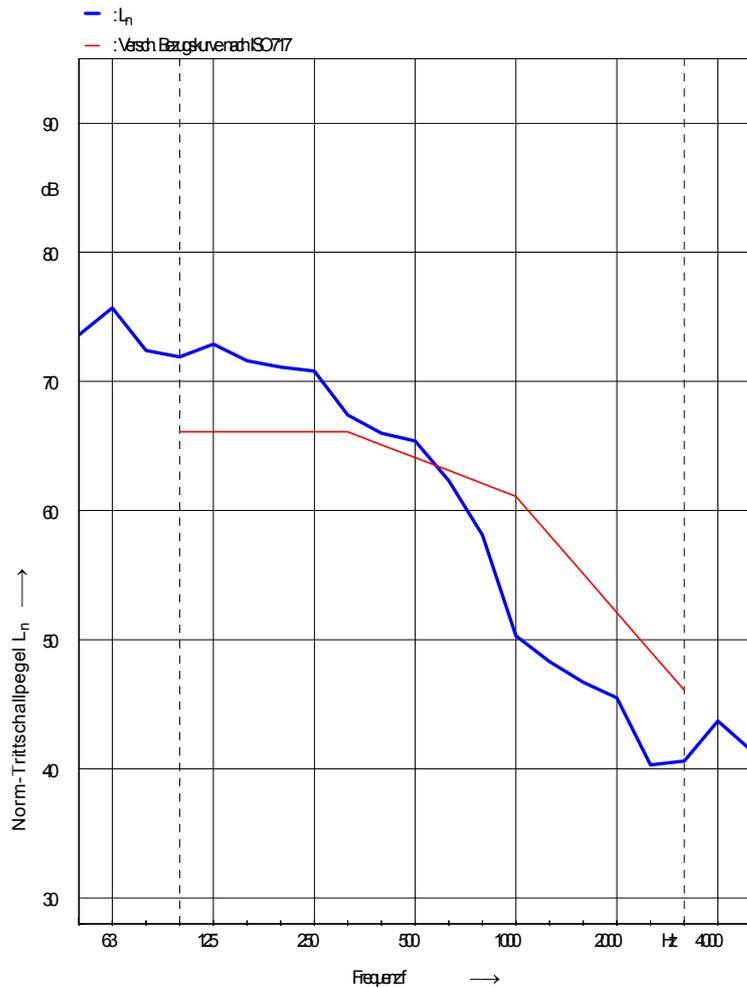
Abbindezeit:

Temperatur [°C]: 16

Feuchtigkeit [%]: 50

Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Frequenz [Hz]	L <sub>n</sub> Terz [dB]
50	73,6
63	75,7
80	72,4
100	71,9
125	72,9
160	71,6
200	71,1
250	70,8
315	67,4
400	66,0
500	65,4
630	62,3
800	58,1
1000	50,3
1250	48,3
1600	46,7
2000	45,5
2500	40,3
3150	40,6
4000	43,7
5000	41,4



Bewertung nach ISO 717-2  
**L<sub>n,w</sub>(C<sub>1</sub>) = 64,1(0.4) dB; C<sub>1,50-2500</sub> = 3,1 dB**  
 Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen nach einem Engineering-Verfahren.

0

Nr. des Prüfberichtes: T04

FH-Rosenheim, 5.11.2003

Unterschrift:

**Abbildung 126 Formblatt L<sub>n</sub> Rohdecke mit Teppich (Textilrücken)**

**Norm-Trittschallpegel ISO 140-6:1998**

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen

Hersteller: Merk

Produktbezeichnung: LenoTec 135

Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach

Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand

Prüfgegenstand eingebaut von:

Prüfdatum: 04.11.03

Aufbau des Prüfgegenstandes:

Rohdecke LenoTec 135 mm

Teppich mit Vliesrücken (Teppichprobe unter Hammerwerk)

Flächenbezogene Masse: 68 kg/m<sup>2</sup>

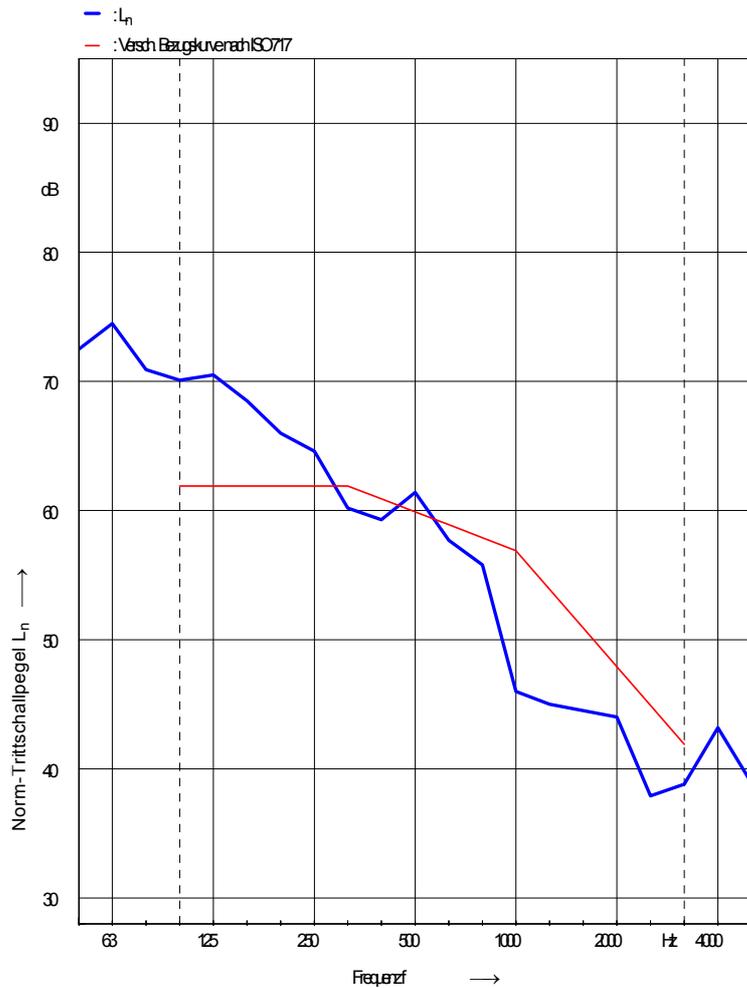
Abbindezeit:

Temperatur [°C]: 16

Feuchtigkeit [%]: 50

Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Frequenz [Hz]	L <sub>n</sub> Terz [dB]
50	72,5
63	74,5
80	70,9
100	70,1
125	70,5
160	68,5
200	66,0
250	64,6
315	60,2
400	59,3
500	61,4
630	57,7
800	55,8
1000	46,0
1250	45,0
1600	44,5
2000	44,0
2500	37,9
3150	38,8
4000	43,2
5000	38,9



Bewertung nach ISO 717-2  
**L<sub>n,w</sub>(C<sub>1</sub>) = 59,9(1.1) dB; C<sub>1,50-2500</sub> = 5,0 dB**  
 Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen nach einem Engineering-Verfahren.

0

Nr. des Prüfberichtes: T05

FH-Rosenheim, 5.11.2003

Unterschrift:

**Abbildung 127 Formblatt L<sub>n</sub> Rohdecke mit Teppich (Vliesrücken)**

# H.2 LowBudget

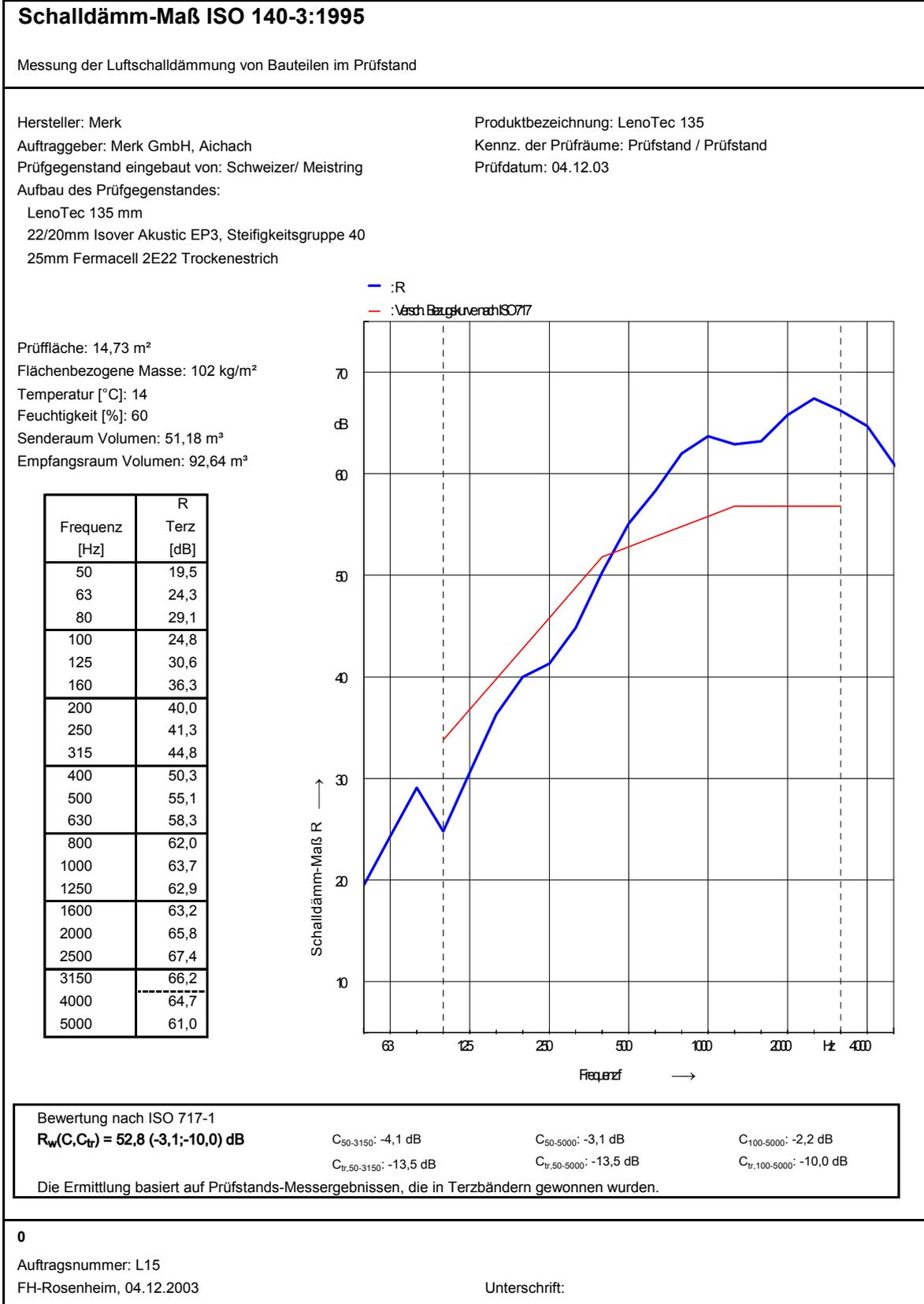


Abbildung 128 Formblatt R LowBudget

**Norm-Trittschallpegel ISO 140-6:1998**

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen

Hersteller: Merk

Produktbezeichnung: LenoTec 135

Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach

Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand

Prüfgegenstand eingebaut von:

Prüfdatum: 04.12.03

Aufbau des Prüfgegenstandes:

- LenoTec 135 mm
- 22/20mm Isover Akustic EP3, Steifigkeitsgruppe 40
- 25mm Fermacell 2E22 Trockenestrich

Flächenbezogene Masse: 102 kg/m<sup>2</sup>

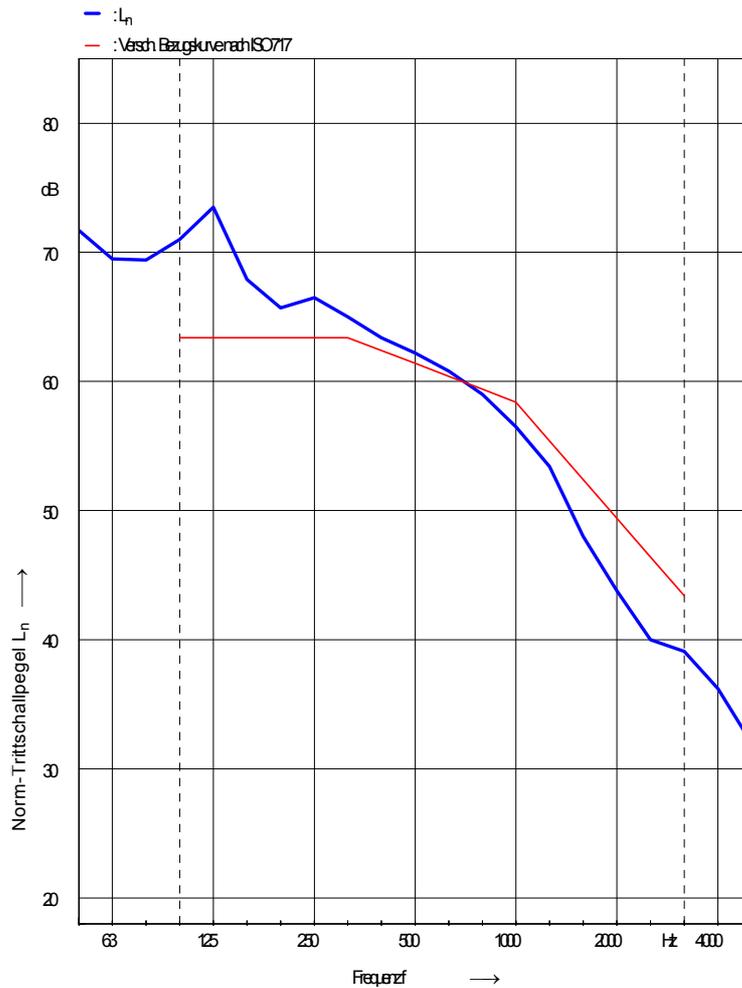
Abbindezeit:

Temperatur [°C]: 14

Feuchtigkeit [%]: 60

Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Frequenz [Hz]	L <sub>n</sub> Terz [dB]
50	71,7
63	69,5
80	69,4
100	71,0
125	73,5
160	67,9
200	65,7
250	66,5
315	65,0
400	63,4
500	62,2
630	60,8
800	59,0
1000	56,5
1250	53,4
1600	48,0
2000	43,8
2500	40,0
3150	39,1
4000	36,2
5000	32,0



Bewertung nach ISO 717-2  
**L<sub>n,w</sub>(C<sub>1</sub>) = 61,4(1.3) dB; C<sub>1,50-2500</sub> = 3,2 dB**  
 Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen nach einem Engineering-Verfahren.

0

Nr. des Prüfberichtes: T15  
 FH-Rosenheim, 5.12.2003

Unterschrift:

**Abbildung 129 Formblatt L<sub>n</sub> LowBudget**

# H.3 Fermacell

## Schalldämm-Maß ISO 140-3:1995

Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen im Prüfstand

---

Hersteller: Merk  
 Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach  
 Prüfgegenstand eingebaut von: Schweizer/ Meistring  
 Aufbau des Prüfgegenstandes:  
 LenoTec 135 mm  
 Rieselschutzfolie (Kraftpapier)  
 2 x 30 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwaben  
 22/20mm Isover Akustic EP3, Steifigkeitsgr  
 25mm Fermacell 2E22 Trockenestrich

Produktbezeichnung: LenoTec 135  
 Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand  
 Prüfdatum: 07.01.04

---

Prüffläche: 14,73 m<sup>2</sup>  
 Flächenbezogene Masse: 192 kg/m<sup>2</sup>  
 Temperatur [°C]: 13  
 Feuchtigkeit [%]: 50  
 Senderaum Volumen: 50,36 m<sup>3</sup>  
 Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

---

Frequenz [Hz]	R [dB]
50	25,9
63	24,9
80	27,2
100	28,4
125	39,9
160	44,6
200	50,4
250	51,4
315	54,7
400	61,2
500	63,4
630	64,3
800	66,0
1000	67,1
1250	66,3
1600	66,1
2000	66,3
2500	66,1
3150	66,0
4000	64,5 <sup>2</sup>
5000	60,2 <sup>2</sup>

<sup>2</sup>: Zu hoher Störpegel

---

Bewertung nach ISO 717-1  
**R<sub>w</sub>(C,C<sub>tr</sub>) = 61,7 (-6,1;-14,0) dB**

C <sub>50-3150</sub> : -8,5 dB	C <sub>50-5000</sub> : -7,6 dB	C <sub>100-5000</sub> : -5,3 dB
C <sub>tr,50-3150</sub> : -19,2 dB	C <sub>tr,50-5000</sub> : -19,2 dB	C <sub>tr,100-5000</sub> : -14,0 dB

Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen, die in Terzbändern gewonnen wurden.

---

**0**  
 Auftragsnummer: L21  
 FH-Rosenheim, 7.01.2004

Unterschrift:

Abbildung 130 Formblatt R Fermacell

### Norm-Trittschallpegel ISO 140-6:1998

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen

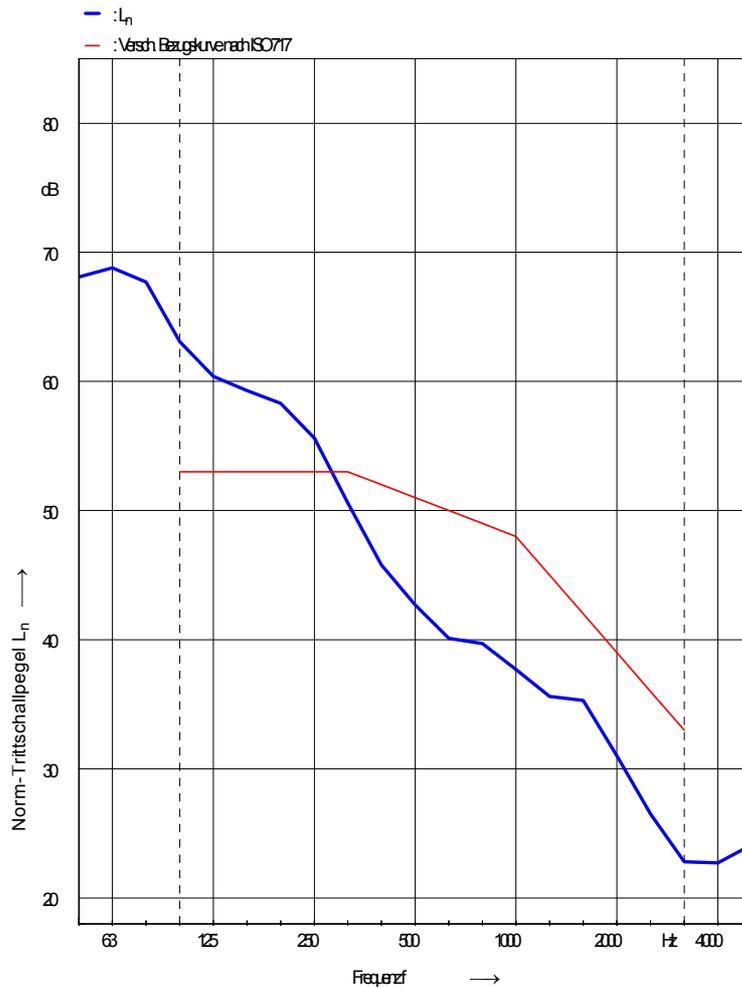
Hersteller: Merk  
 Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach  
 Prüfgegenstand eingebaut von: Schweizer/ Meistring  
 Aufbau des Prüfgegenstandes:  
 LenoTec 135 mm  
 Rieselschutzfolie (Kraftpapier)  
 2 x 30mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwaben  
 22/20mm Isover Akustik EP3, Steifigkeitsgruppe 40  
 25mm Fermacell 2E22 Trockenestrich

Produktbezeichnung: LenoTec 135  
 Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand  
 Prüfdatum: 13.01.04

Flächenbezogene Masse: 192 kg/m<sup>2</sup>  
 Abbindezeit: 27T  
 Temperatur [°C]: 13  
 Feuchtigkeit [%]: 50  
 Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Frequenz [Hz]	L <sub>n</sub> Terz [dB]
50	68,1
63	68,8
80	67,7
100	63,1
125	60,4
160	59,3
200	58,3
250	55,6
315	50,6
400	45,8
500	42,7
630	40,1
800	39,7
1000	37,7
1250	35,6
1600	35,3
2000	31,0
2500	26,5
3150	22,8 <sup>2</sup>
4000	22,7 <sup>2</sup>
5000	24,1 <sup>2</sup>

<sup>2</sup>: Zu hoher Störpegel



Bewertung nach ISO 717-2  
**L<sub>n,w</sub>(C<sub>1</sub>) = 51,0(1.2) dB; C<sub>1,50-2500</sub> = 8,0 dB**  
 Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen nach einem Engineering-Verfahren.

0

Nr. des Prüfberichtes: T32  
 FH-Rosenheim, 15.01.2004

Unterschrift:

Abbildung 131 Formblatt L<sub>n</sub> Fermacell

# H.4 Best2

### Schalldämm-Maß ISO 140-3:1995

Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen im Prüfstand

---

Hersteller: Merk  
 Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach  
 Prüfgegenstand eingebaut von:  
 Aufbau des Prüfgegenstandes:  
 LenoTec 135 mm  
 Rieselschutzfolie (Kraftpapier)  
 2 x 30 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwaben  
 35/30mm Isover Akustic EP1,  $s' < 7 \text{ MN/m}^3$   
 20mm Best Estrichplatten, lose auf Lücke (Trennlage (Kraftpapier))  
 F 20mm Best Estrichplatten, stirnseitig mit Br  
 Flächenbezogene Masse:  $259 \text{ kg/m}^2$   
 Temperatur [°C]: 13  
 Feuchtigkeit [%]: 50  
 Senderraum Volumen:  $50,08 \text{ m}^3$   
 Empfangsraum Volumen:  $92,64 \text{ m}^3$

Produktbezeichnung: LenoTec 135  
 Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand  
 Prüfdatum: 20.01.04

Frequenz [Hz]	R Terz [dB]
50	26,7
63	29,0
80	38,5
100	37,0
125	46,8
160	54,3
200	59,2
250	56,9
315	54,7
400	58,9
500	62,6
630	66,2
800	66,3
1000	67,2
1250	65,9
1600	65,8
2000	66,5
2500	66,4
3150	65,9
4000	64,9 <sup>2</sup>
5000	61,0 <sup>2</sup>

Bewertung nach ISO 717-1  
 **$R_w(C, C_{tr}) = 64,2 (-2,7; -8,6) \text{ dB}$**

$C_{50-3150}: -5,3 \text{ dB}$	$C_{50-5000}: -4,8 \text{ dB}$	$C_{100-5000}: -2,5 \text{ dB}$
$C_{tr,50-3150}: -16,5 \text{ dB}$	$C_{tr,50-5000}: -16,5 \text{ dB}$	$C_{tr,100-5000}: -8,7 \text{ dB}$

Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen, die in Terzbändern gewonnen wurden.

**0**

Auftragsnummer: L40  
 FH-Rosenheim, 20.01.2004

Unterschrift:

Abbildung 132 Formblatt R Best2

### Norm-Trittschallpegel ISO 140-6:1998

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen

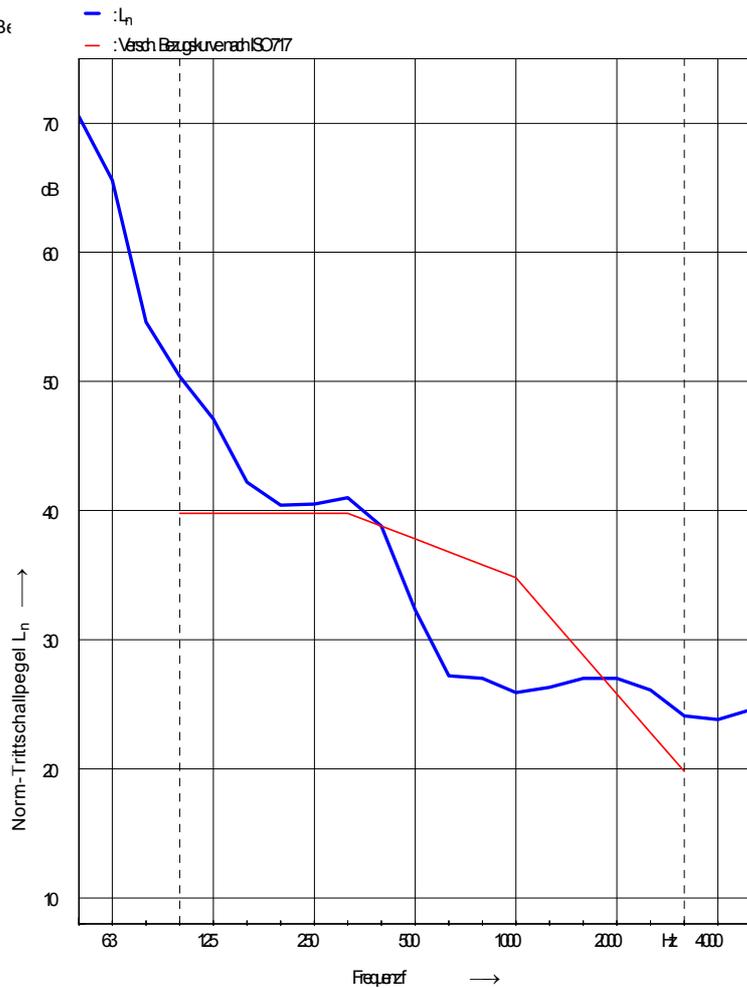
Hersteller: Merk  
 Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach  
 Prüfgegenstand eingebaut von: Schuster/ Meistring  
 Aufbau des Prüfgegenstandes:

Produktbezeichnung: LenoTec 135  
 Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand  
 Prüfdatum: 20.01.04

LenoTec 135 mm  
 Rieselschutzfolie (Kraftpapier)  
 2 x 30 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwaben  
 35/30mm Isover Akustic EP1,  $s' < 7 \text{ MN/m}^3$   
 20mm Best Estrichplatten, lose auf Lücke (ca. 5mm) verlegt  
 Trennlage (Kraftpapier)  
 20mm Best Estrichplatten, stirnseitig mit Best  
 Flächenbezogene Masse: 259 kg/m<sup>2</sup>  
 Abbindezeit: 5T  
 Temperatur [°C]: 13  
 Feuchtigkeit [%]: 50  
 Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Frequenz [Hz]	L <sub>n</sub> Terz [dB]
50	70,5
63	65,6
80	54,6
100	50,4
125	47,1
160	42,2
200	40,4
250	40,5
315	41,0
400	38,8
500	32,3
630	27,2
800	27,0
1000	25,9
1250	26,3
1600	27,0
2000	27,0
2500	26,1
3150	24,1 <sup>2</sup>
4000	23,8 <sup>2</sup>
5000	24,6 <sup>2</sup>

<sup>2</sup>: Zu hoher Störpegel



Bewertung nach ISO 717-2  
**L<sub>n,w</sub>(C<sub>1</sub>) = 37,8(0.7) dB; C<sub>1,50-2500</sub> = 19,1 dB**  
 Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen nach einem Engineering-Verfahren.

0

Nr. des Prüfberichtes: T43  
 FH-Rosenheim, 20.01.2004

Unterschrift:

Abbildung 133 Formblatt L<sub>n</sub> Best2

# H.5Best1

### Schalldämm-Maß ISO 140-3:1995

Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen im Prüfstand

---

Hersteller: Merk  
 Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach  
 Prüfgegenstand eingebaut von: Rogge/ Meistring  
 Aufbau des Prüfgegenstandes:  
 LenoTec 135 mm  
 Rieselschutzfolie (Kraftpapier)  
 2 x 30 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwaben  
 22/20mm Isover Akustic EP2, s' < 20MN/m  
 Trennlage (Kraftpapier)  
 20mm Best Estrichplatten, stirnseitig mit Best  
 Prüffläche: 14,73 m<sup>2</sup>  
 Flächenbezogene Masse: 209 kg/m<sup>2</sup>  
 Temperatur [°C]: 14  
 Feuchtigkeit [%]: 50  
 Senderaum Volumen: 50,08 m<sup>3</sup>  
 Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Produktbezeichnung: LenoTec 135  
 Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand  
 Prüfdatum: 13.02.04

Frequenz [Hz]	R Terz [dB]
50	27,0
63	19,1
80	30,8
100	30,7
125	44,1
160	50,2
200	55,0
250	53,5
315	53,8
400	61,2
500	65,4
630	67,6
800	68,4
1000	68,5
1250	67,1
1600	67,8
2000	68,4
2500	68,1
3150	67,0 <sup>2</sup>
4000	65,6 <sup>2</sup>
5000	61,7 <sup>2</sup>

Bewertung nach ISO 717-1  
**R<sub>w</sub>(C,C<sub>tr</sub>) = 63,9 (-5,8;-13,7) dB**

C <sub>50-3150</sub> : -11,1 dB	C <sub>50-5000</sub> : -10,2 dB	C <sub>100-5000</sub> : -5,2 dB
C <sub>tr,50-3150</sub> : -23,2 dB	C <sub>tr,50-5000</sub> : -23,2 dB	C <sub>tr,100-5000</sub> : -13,7 dB

Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen, die in Terzbändern gewonnen wurden.

0

Auftragsnummer: L50  
 FH-Rosenheim, 13.02.2004

Unterschrift:

Abbildung 134 Formblatt R Best1

### Norm-Trittschallpegel ISO 140-6:1998

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen

Hersteller: Merk

Produktbezeichnung: LenoTec 135

Auftraggeber: Merk GmbH, Aichach

Kennz. der Prüfräume: Prüfstand / Prüfstand

Prüfgegenstand eingebaut von: Rogge/ Meistring

Prüfdatum: 13.02.04

Aufbau des Prüfgegenstandes:

- LenoTec 135 mm
- Rieselschutzfolie (Kraftpapier)
- 2 x 30 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwaben
- 22/20mm Isover Akustic EP2,  $s' < 20\text{MN/m}^3$
- Trennlage (Kraftpapier)
- 20mm Best Estrichplatten, stirnseitig mit Best

Flächenbezogene Masse: 209 kg/m<sup>2</sup>

Abbindezeit: 36h

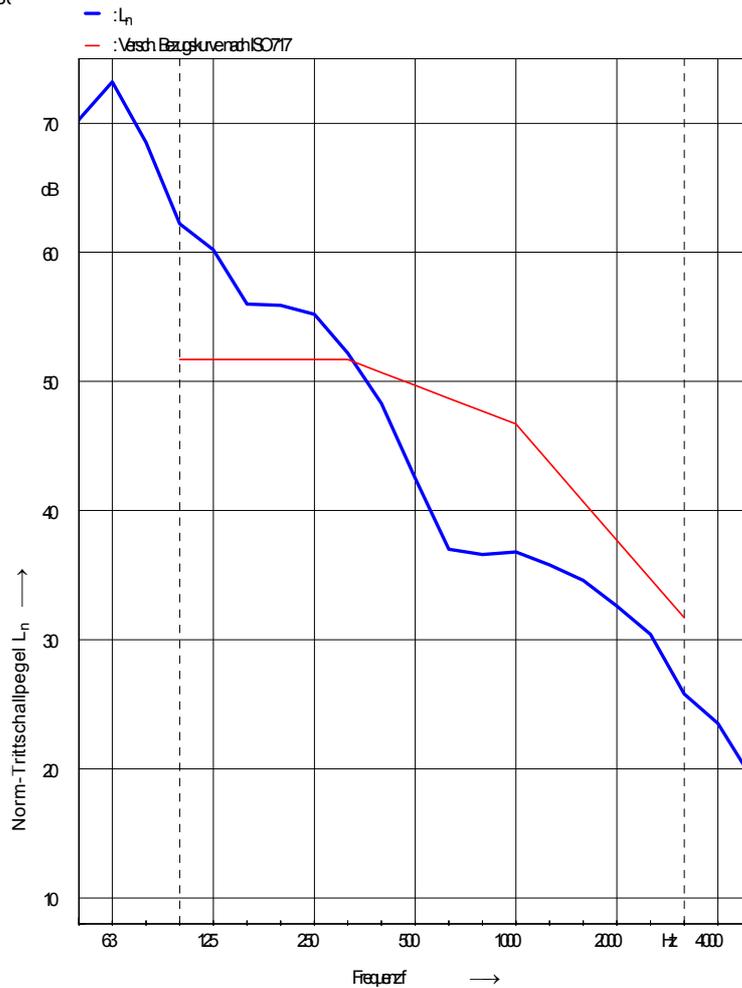
Temperatur [°C]: 14

Feuchtigkeit [%]: 50

Empfangsraum Volumen: 92,64 m<sup>3</sup>

Frequenz [Hz]	L <sub>n</sub> Terz [dB]
50	70,3
63	73,2
80	68,5
100	62,2
125	60,2
160	56,0
200	55,9
250	55,2
315	52,2
400	48,3
500	42,5
630	37,0
800	36,6
1000	36,8
1250	35,8
1600	34,6
2000	32,6
2500	30,4
3150	25,8 <sup>2</sup>
4000	23,5 <sup>2</sup>
5000	19,3 <sup>2</sup>

<sup>2</sup>: Zu hoher Störpegel



Bewertung nach ISO 717-2

**L<sub>n,w</sub>(C<sub>1</sub>) = 49,7(1.4) dB;**

**C<sub>1,50-2500</sub> = 11,6 dB**

Die Ermittlung basiert auf Prüfstands-Messergebnissen nach einem Engineering-Verfahren.

0

Nr. des Prüfberichtes: T53

FH-Rosenheim, 13.02.2004

Unterschrift:

Abbildung 135 Formblatt L<sub>n</sub> Best1

Hiermit versichere ich, Philipp Meistring, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, nicht für andere Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Rosenheim, 05.03.2004

Philipp Meistring

Bei der Konvertierung sind einige Fehler aufgetreten, die in der gedruckten Version nicht mehr ausgebessert werden konnten.

Kapitel	Seite/ Position	gedruckter Text	verbesserter Text
5	43	(siehe Kapitel 6.2 und 0)	(siehe Kapitel 6.2 und 9.1)
6.3.3	61, unten	(...der Messergebnisse in Kapitel 0)	(...der Messergebnisse in Kapitel 9.1)
7.2	74, Anfang letzter Abschnitt	Wie unter 0 angedeutet,...	Wie unter 4.2.4 angedeutet,...
A.3.2	A 11, Tabelle 33, Zeile Nachhallzeit im ER...	siehe Kapitel 0	siehe Kapitel A.3.7
A.3.2	A 11, Tabelle 33, Zeile diffuses Schallfeld im ER...	... nach Kapiteln 0 und 0	... nach Kapiteln A.3.5 und A.3.7
A.3.2	A 11, Fußnote 77	...(siehe Kapitel 0)	...(siehe Kapitel A.3.7)
A.3.3	A 13, Tabelle 34, Zeile Lautsprecher	... im Raum nach 0	... im Raum nach A.3.5
A.3.3	A 13, Tabelle 34, Zeile Mikrofone	... der Mikrofonpositionen nach 0	... der Mikrofonpositionen nach A.3.4
A.3.3	A 13, Tabelle 34, Zeile Norm-Hammerwerk	... der Hammerwerkspositionen nach 0	... der Hammerwerkspositionen nach A.3.6
B.1	B 2, Fußnote 91	... der Mikrofonpositionen siehe 0	... der Mikrofonpositionen siehe A.3.4
B.4	B 5, erste Aufzählungszeile	... (siehe Anhang 0)	... (siehe Anhang A.3.7)
B.5	B 6, Abschnitt 3	... zu testen sind (siehe Anhang 0, A.3.5)	... zu testen sind (siehe Anhang A.3.4, A.3.5)
B.6	B 16, Formblatt R, Abb. 106, unter Bewertung nach ISO 717-1	$R_{\dots\dots} =$	$R_w(C, C_{tr}) = \dots$
C.1	C 2, Fußnote 98	... der Mikrofonpositionen siehe 0	... der Mikrofonpositionen siehe A.3.4
C.4	C 7, erste Aufzählungszeile	... (siehe Anhang 0)	... (siehe Anhang A.3.7)
C.6	C 16, Formblatt L <sub>n</sub> , Abb.112	$L_{\dots} = \quad C_{\dots} =$	$L_{n,w}(C_i) = \quad C_{1,50-2500} =$
H.1 – H.5	H 3, H 4, H 5, H 7, H 9, H 11, H 13; Formblätter L <sub>n</sub> , unter Bewertung nach ISO 717-2	$L_{\dots} = \quad C_{\dots} =$	$L_{n,w}(C_i) = \quad C_{1,50-2500} =$
H.1 – H.5	H 2, H 6, H 8, H 10, H 12; Formblätter R, unter Bewertung nach ISO 717-1	$R_{\dots\dots} =$	$R_w(C, C_{tr}) = \dots$