

Stefan Bacher, Camille Châteaueux-Hellwig
Melina Martin, Thomas Ecker, Michael Rudolph
Andreas Rabold

Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise

Luft- und Trittschalldämmung von
Flachdächern und Dachterrassen

F 3179

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0440-9

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

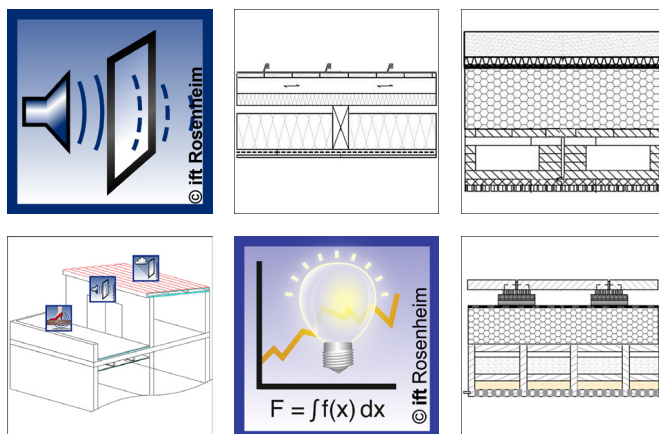
E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise

Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern
und Dachterrassen



Abschlussbericht

Thema	Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise - Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen
Kurztitel	Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise
Projektförderung	Das diesem Forschungsbericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.41)
Forschungsstelle	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7–9 83026 Rosenheim
Bearbeiter	Dipl.-Ing. (FH) Stefan Bacher Camille Châteaueux-Hellwig, M.Sc. Melina Martin, B.Eng. Thomas Ecker, B.Eng. Michael Rudolph
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold, Camille Châteaueux-Hellwig, M.Sc.
Institutsleitung	Prof. Ulrich Sieberath

Rosenheim, Juli 2019



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Projektziel	1
2	Grundlagen	3
2.1	Grundlagen für den bauakustischen Nachweis	3
2.1.1	Luftschalldämmung	3
2.1.2	Trittschalldämmung	4
2.1.3	Bauakustische Anforderungen an Dächer und Dachterrassen	4
2.1.4	Nachweismöglichkeiten nach DIN 4109	6
2.2	Prognose der Luft- und Trittschalldämmung	7
2.2.1	Bauakustische Prognose für das Bauteil ohne Nebenwege	7
2.2.2	Bauakustische Prognose für das Bauteil mit Nebenwegen	8
2.3	Prognosemodelle für Regengeräusche	9
2.3.1	Regenarten	9
2.3.2	Anregungskraft eines Regentropfens	12
2.3.3	Berechnungsmodell für Regengeräuschen bei einschaligen Bauteilen	15
2.3.4	Berechnungsmodell für Regengeräusche bei mehrschaligen Bauteilen	17
3	Messtechnik und Durchführung	19
3.1	Messung der Luft- und Trittschalldämmung im Labor	19
3.2	Messung der dynamischen Steifigkeit und des Strömungswiderstandes	21
3.3	Messung der Übertragungsfunktion im Labor	22
4	Messergebnisse	25
4.1	Konstruktive Einflüsse	25
4.2	Dachkonstruktionen	25
4.3	Dämmstoffe	27
4.1	Abdichtung, Dachdeckung und Gehbelag	29
4.2	Unterdecke und raumseitige Bekleidung	32
5	Berechnungsergebnisse	35
5.1	Luft- und Trittschalldämmung von Aufbauvarianten	35
5.2	Berechnung der Regengeräusche	37
6	Planungsdaten	41
6.1	Bauteilkatalog	41
6.2	Nutzwert – Analyse	41
7	Zusammenfassung und Ausblick	43
8	Literaturverzeichnis	45
9	Danksagung	47

Anlagen



1 Einleitung und Projektziel

Bei der Planung von modernen Büro- und Wohngebäuden ist vor allem im Bereich der mehrgeschossigen Bauweise i.d.R. ein Flachdach oder ein flachgeneigtes Dach mit ausgebautem Dachgeschoß vorgesehen. Um den Ansprüchen aus Wärmeschutz, Statik, Brandschutz und Schallschutz gerecht zu werden, müssen diese Dachkonstruktionen einer ganzen Reihe von Kriterien entsprechen. Auch im Bereich des Schallschutzes variieren die Ansprüche je nach Ausführung und Nutzung des Dachelementes als reines Dachelement oder als begehbare Dachterrasse.

Mangelnde Planungsdaten erschweren es gerade klein- und mittelständigen Unternehmen, zu denen sehr viele Holzbaubetriebe gehören, den Einstieg in den mehrgeschossigen Holzbau, der nicht nur aus ökologischer Sicht vorteilhaft ist. Neben den bekannten Punkten der günstigen CO₂ Bilanz und des guten Wärmeschutzes gängiger Konstruktionen in Holzbauweise, wird die Bauweise vom Bauherrn i.d.R. auch optisch und in Bezug auf die Wohnbehaglichkeit positiv eingestuft. Diese positiven Aspekte der Holzbauweise sollten nicht durch erhöhte Trittschallübertragungen durch Dachterrassen und Loggien oder starke Regengeräusche von Blechdacheindeckungen relativiert werden.

Planungsdaten, insbesondere für Konstruktionen in Holzbauweise, die den bauakustischen Ansprüchen entsprechen, sind nur sehr bedingt verfügbar. So wurden auch in der neuen DIN 4109 [25] nur drei Aufbauten für leichte Flachdächer berücksichtigt. Geeignete Aufbauten für Dachterrassen und Loggien, sowie Konstruktionen mit Massivholzelementen fehlen ganz.

Neben den statischen und bauphysikalischen Anforderungen, werden im Bereich von Dachterrassen (wie auch für Loggien) häufig zusätzliche Vorgaben, wie Lattenroste oder Betonplatten als Gehbelag gemacht, die nur eine geringe Entkopplung ermöglichen. Auch die Zielsetzung einer möglichst niedrigen Stufe zwischen Wohnbereich und Dachterrasse im Zuge einer barrierefreien Ausführung stellt eine zusätzliche Herausforderung dar.

Die Zielsetzung des Projektes besteht daher in der Bereitstellung von Planungsunterlagen für verschiedene Konstruktionsvarianten von Flachdächern und leicht geneigten Dächern, die insbesondere den Anforderungen an den Schallschutz genügen sowie den weiteren Leistungseigenschaften wie Wärme- und Feuchteschutz entsprechen.

Der Projektansatz berücksichtigt die Optimierung von Dachelementen unter den Aspekten des Schallschutzes und der Wirtschaftlichkeit. Hierbei werden die Vorgaben der Statik, des Brandschutzes sowie des Wärme- und Feuchteschutzes (insbesondere bei Flachdächern mit Zwischensparrendämmung) berücksichtigt.



2 Grundlagen

Baulicher Schallschutz soll Menschen innerhalb eines Raums vor Lärmbelästigung und Störung von außerhalb schützen. Dabei unterscheidet man zwischen Schallquellen, die Luftschall erzeugen und denen, die Körperschall erzeugen. Die bauaufsichtlich eingeführten Mindestanforderungen an den Schallschutz, die vor unzumutbaren Belästigungen schützen sollen, sind in DIN 4109-1 [25] hinterlegt. Darüber hinausgehende Zielwerte sind individuell zu vereinbaren. Im Folgenden wird auf die unterschiedlichen Arten der Schalldämmung eingegangen, die Anforderungen nach DIN 4109 dargestellt und auf darüber hinausgehende Schallanregungen und Zielwerte für Flachdächer und leicht geneigte Dächer eingegangen.

2.1 Grundlagen für den bauakustischen Nachweis

2.1.1 Luftschalldämmung

Die Luftschalldämmung bezeichnet die Schalldämmung eines Bauteils und damit den Widerstand gegenüber der Luftschallübertragung zwischen zwei angrenzenden Räumen. Zur Beschreibung der Luftschalldämmung wird das Schalldämm-Maß R in dB verwendet, das auf eine Bezugsfläche $S_0 = 10 \text{ m}^2$ und eine Bezugsabsorptionsfläche $A_0 = 10 \text{ m}^2$ normiert wird:

$$R = L_S - L_E + 10 \log \left(\frac{S A_0}{A S_0} \right) \text{ bzw. } R = L_S - L_E + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (1)$$

mit

- S Prüffläche des Probekörpers in m^2
- A Äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2
- L_S Schallpegel Senderraum in dB
- L_E Schallpegel Empfangsraum in dB

Das Schalldämm-Maß R eines Bauteils wird im Prüfstand im bauakustisch relevanten Bereich von 50 Hz bis 5000 Hz nach EN ISO 10140-2: 2010 [2] bestimmt. Das bewertete Schalldämm-Maß R_w beschreibt die Schalldämmung über eine Einzahlangabe und wird nach EN ISO 717-1: 2013 [5] aus den frequenzabhängigen Messdaten im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 3150 Hz ermittelt.

Für den Nachweis der Schalldämmung von Außenbauteilen wird das so bestimmte bewertete Schalldämm-Maß R_w aller den betrachteten Raum begrenzenden Außenbauteile und deren Einbauten berücksichtigt. Das daraus resultierende $R'_{w, \text{ges}}$ wird mit den Anforderungen und den ggf. darüber hinausgehenden Zielwerten verglichen.

2.1.2 Trittschalldämmung

Die Trittschalldämmung bezeichnet die Schalldämmung einer Decke oder eines Terrassendachs bei Anregung durch Körperschall. Zur Beschreibung der Trittschalldämmung wird der Norm-Trittschallpegel L_n in dB verwendet. Die Trittschalldämmung des Trennbauteils ist somit umso besser, umso kleiner der ermittelte Norm-Trittschallpegel ist:

$$L_n = L_E + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (2)$$

mit

L_E Schallpegel bei Betrieb des Hammerwerkes im Empfangsraum in dB

A Äquivalente Absorptionsfläche in m^2

A_0 Bezugsabsorptionsfläche (10 m^2)

Der Norm-Trittschallpegel L_n wird im Prüfstand im bauakustisch relevanten Bereich von 50 Hz bis 5000 Hz nach EN ISO 10140-3:2010+ A1: 2015 [3] mit Hilfe eines Norm-Hammerwerkes bestimmt. Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ kennzeichnet ist der Einzahlwert und wird nach EN ISO 717-2: 2013 [6] aus den frequenzabhängigen Messdaten ermittelt.

Für den Nachweis der Trittschalldämmung einer Dachterrasse im eingebauten Zustand muss die Übertragung der flankierenden Wände berücksichtigt werden, da die Anforderungen nach DIN 4109 an den $L'_{n,w}$ also den bewerteten Norm-Trittschallpegel inklusive Flankenübertragung gestellt werden. Ein Berechnungsmodell für das Nachweisverfahren fehlt bislang noch. Möglichkeiten zur Prognose werden in Abschnitt 2.2.2 gezeigt.

2.1.3 Bauakustische Anforderungen an Dächer und Dachterrassen

Im Gegensatz zu Trennbauteilen wird für Außenbauteile kein fester Anforderungswert für die Luftschalldämmung vorgegeben. Die Anforderungen ergeben sich vielmehr aus der tatsächlichen Lärmsituation vor dem nachzuweisenden Außenbauteil und der Nutzungsart des Raumes. Ausgehend vom vorhandenen maßgeblichen Außenlärmpegel L_a wird mittels eines Korrekturwertes für die Raumnutzung K_{Raumart} die Anforderung $\text{erf. } R'_{w,ges}$ an das Außenbauteil berechnet:

$$\text{erf. } R'_{w,ges} = L_a - K_{\text{Raumart}} \quad (3)$$



Die nutzungsabhängigen Korrekturwerte K_{Raumart} berücksichtigen die unterschiedliche Störwirkung des Außenlärms in Abhängigkeit von der Raumnutzung. Sie werden in [25] vorgegeben (siehe auch Tabelle 1).

Tabelle 1 Nutzungsabhängiger Korrekturwert K_{Raumart} nach [25]

Raumnutzung	Korrekturwert K_{Raumart} in dB
Bettenräume in Krankenstationen und Sanatorien	25
Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	30
Büroräume und Ähnliches	35

Für die nach Gleichung (3) berechneten Anforderungen gelten folgende Mindestwerte:

- Für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien: *erf.* $R'_{w,ges} = 35$ dB
- Für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume, Büroräume und ähnliches: *erf.* $R'_{w,ges} = 30$ dB

Ergibt die Berechnung nach (3) ein *erf.* $R'_{w,ges} > 50$ dB, so sind die Anforderungen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten durch die Bauaufsichtsbehörde festzulegen.

Da der zu erwartende Schallschutz im betrachteten Raum des Gebäudes von der Größe der schallübertragenden Außenfläche und dem Raumvolumen abhängt, wird ein zusätzlicher Korrekturwert K_{AL} ermittelt, der das Verhältnis der vom Raum aus gesehenen Außenfläche S_S zur Grundfläche des Raumes S_G berücksichtigt.

$$K_{AL} = 10 \lg \left(\frac{S_S}{0,8 S_G} \right) \quad (4)$$

Der Zahlenwert für die Anforderung an die Schalldämmung des Außenbauteils ergibt sich somit als Summe des *erf.* $R'_{w,ges}$ und des Korrektursummands K_{AL} zu:

$$\text{erf. } R'_{w,ges} + K_{AL}$$

Wird ein Flachdach als Dachterrasse genutzt wird für die Übertragung in fremde Wohn- und Arbeitsräume als Mindestanforderung ein zulässiger bewerteter Norm-Trittschallpegel inklusive Nebenwege

$$\text{zul. } L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$$

gefordert.

2.1.4 Nachweismöglichkeiten nach DIN 4109

Für Gebäude in Holzbauweise kann das gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ als resultierende Schalldämmung nach Gleichung (5) berechnet werden:

$$R'_{w,ges} = -10 \lg \left[\sum_{i=1}^m 10^{-0,1 R_{e,i,w}} \right] \quad (5)$$

Die auf die übertragende Fläche bezogenen Schalldämm-Maße $R_{e,i,w}$ (Wand, Fenster, Dach, Rollladenkästen, Lüftungselement, etc.) berechnen sich aus dem bewerteten Schalldämm-Maß $R_{i,w}$ des Bauteils i und dem Verhältnis der vom Raum aus gesehenen Außenfläche S_s zur Bauteilfläche S_i .

$$R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{S_i} \right) \quad (6)$$

Für kleine Bauteile (Rollladenkästen, Lüftungseinrichtungen usw.) wird als Planungswert die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,e,w}$ eingesetzt:

$$R_{e,i,w} = D_{n,e,i,w} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{10 \text{ m}^2} \right) \quad (7)$$

Bei Räumen die Fassadenfronten besitzen welche unterschiedlichen Lärmpegeln ausgesetzt sind gibt es folgende Sonderregelung: Es wird ein Korrekturwert K_{LPB} ermittelt, der den vorhandenen Außenlärmpegel vor dem betrachteten Bauteil i berücksichtigt. Ist dieser Außenlärmpegel geringer als der für die Anforderung maßgebliche Außenlärmpegel (z.B. bei Innenhöfen, abgewandten Gebäudeseiten), so kann diese Differenz durch K_{LPB} berücksichtigt werden.

$$K_{LPB} = L_a - L_{a,vorhanden} \quad (8)$$

Für diesen Fall können die Gleichungen (6) und (7) umgeschrieben werden zu

$$R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{S_i} \right) + K_{LPB} \quad (9)$$

$$R_{e,i,w} = D_{n,e,i,w} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{10 \text{ m}^2} \right) + K_{LPB} \quad (10)$$

Ein rechnerischer Nachweis der Trittschalldämmung von Dachterrassen ist derzeit nach DIN 4109 nicht möglich.

2.2 Prognose der Luft- und Trittschalldämmung

Die Prognose der Luft- und Trittschalldämmung von Dachelementen und Dachterrassen bietet die Möglichkeit auch Varianten der geprüften Dachkonstruktionen abschätzen zu können. Hierzu wird in Abschnitt 2.2.1 eine mögliche Vorgehensweise zur Berechnung anhand der vorhandenen Messwerte beschrieben.

Da, wie in Abschnitt 2.1.4 erläutert, derzeit noch kein genormtes Verfahren für den Nachweis der Trittschalldämmung von Dachterrassen in der Bausituation zur Verfügung steht, wird in Abschnitt 2.2.2 ein Vorschlag für ein mögliches Prognosemodell dargestellt.

2.2.1 Bauakustische Prognose für das Bauteil ohne Nebenwege

Zur Ermittlung der Verbesserung durch einen Dachaufbau oder eine Zusatzmaßnahme, kann die frequenzabhängige Differenz der Messwerte für eine Dachkonstruktion mit und ohne dieser Bauteilschicht gebildet werden.

$$\Delta L = L_{n,ohne} - L_{n,mit} \quad \text{bzw.} \quad \Delta R = R_{mit} - R_{ohne} \quad (11)$$

Beispielhaft wird in Abbildung 1 die so ermittelte frequenzabhängige Verbesserung durch eine Unterdecke dargestellt.

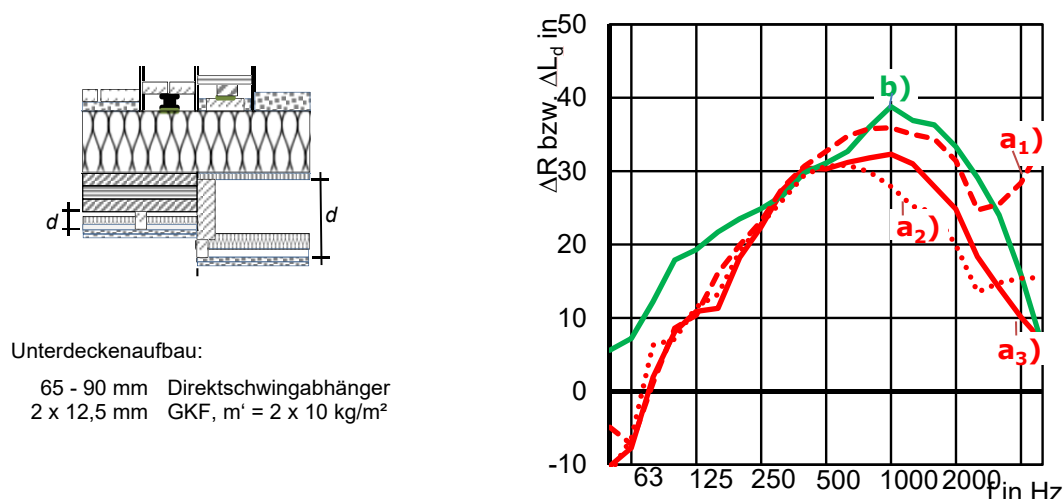


Abbildung 1 Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch Unterdecken mit unterschiedlich großen schalltechnisch wirksamen Luftschichtdicken d zwischen 90 mm und 285 mm. Die Eigenfrequenz des Unterdeckenabhängers betrug in beiden Fällen $f_0 < 30 \text{ Hz}$

- a) Unterdecke unter Massivholzelement, $d = 90 \text{ mm}$,
 - a1: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am Grundelement
 - a2: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am vollständigen Dachaufbau
 - a3: Verbesserung der Trittschalldämmung ΔL_d , gemessen am vollständigen Dachaufbau
- b) Unterdecke unter Balkenelement, $d = 285 \text{ mm}$, aus [26]

Anhand der ermittelten Verbesserung kann nun der Einfluss der Bauteilschicht auf die Luft- und Trittschalldämmung einer anderen Dachkonstruktion prognostiziert werden.

$$L_{n,Prognose} = L_n - \Delta L \quad \text{bzw.} \quad R_{Prognose} = R + \Delta R \quad (12)$$

Mit den so gewonnen frequenzabhängigen Prognosewerten wird der Einzahlwert nach EN ISO 717-1: 2013 [5] ermittelt.

Bei der Vorgehensweise ist zu berücksichtigen, dass die Verbesserung durch die Bauteilschicht immer eine gewisse Abhängigkeit von dem Bauteil aufweist, auf dem sie gemessen wurde. Seien dies geringfügigere, messtechnisch bedingte Abweichungen, wie in Abbildung 1, a₁) und a₂) dargestellt, oder deutliche, konstruktionsbedingte Unterschiede, wie sie der Vergleich von Abbildung 1, a) und b) zeigt. Die Vorgehensweise entspricht sinngemäß der Vorgehensweise bei den Berechnungsvorschriften der EN ISO 12354-1 und EN ISO 12354-2 ist aber in Deutschland für Leichtbauteile nicht in DIN 4109 übernommen.

Für die Prognose ist es somit wichtig eine Unsicherheit mit anzugeben. Die zu erwartende Unsicherheit der so durchgeführten Prognose liegt i.d.R. bei ± 3 dB für den Einzahlwert R_w und $L_{n,w}$, sofern die Verbesserungen auf ähnliche Bauteile übertragen werden.

2.2.2 Bauakustische Prognose für das Bauteil mit Nebenwegen

Flachdächer und flachgeneigte Dächer werden in Bezug auf die Luftschallanforderungen wie Außenbauteile behandelt. An Dachterrassen und Loggien werden zusätzlich Trittschallanforderungen gestellt, sofern Sie ein Trennbauteil zu fremden Wohn- und Arbeitsräumen bilden.

Für den Nachweis des zulässigen Norm-Trittschallpegels am Bau zul. $L'_{n,w}$ wurde bislang kein Verfahren zur Berücksichtigung der Flankenübertragung festgelegt. Da die Ausführung der tragenden Dachelemente und deren Wandaufleger gut mit der Ausführung von Deckenelementen vergleichbar ist, bietet sich die Anwendung des Verfahrens für Holzdecken nach DIN 4109-2 an. Die Ausführung der hier gezeigten Dachterrassenaufbauten sowie erste Vergleiche mit Bauergebnissen lassen vermuten, dass der Übertragungsweg Dff hierbei unberücksichtigt bleiben kann. Somit ergibt sich für die Prognose:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 \quad (13)$$

Bis zur Berücksichtigung einer Vorgehensweise in der Norm kann der Nachweis im Sinne der DIN 4109 nur durch eine Baumesung erfolgen. Planungsdaten für den Korrektursummand K_1 auf dem Übertragungsweg Df sind in DIN 4109-2 angegeben.



2.3 Prognosemodelle für Regengeräusche

Regengeräusche können im ausgebauten Dachgeschoß eine durchaus wahrnehmbare bis störende Geräuschquelle darstellen. Sie werden hauptsächlich durch die Anregung von Dachflächenfenstern oder sehr leichten Dächern mit Metalleindeckung wahrgenommen. In [28] konnte gezeigt werden, dass die Übertragung der Regengeräusche für einfache Bauteile einen direkten Zusammenhang mit der Schalldämmung des Bauteils aufweist. Darauf aufbauend wurde in [29] eine Literaturrecherche zu vorhandenen Prognosemodellen für die Anregungskraft eines Regentropfens durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt (siehe nachfolgende Abschnitte). Für einfache Bauteile kann mit der so berechneten Anregungskraft die Abgestrahlte Schallintensität nach Abschnitt 2.3.3 ermittelt werden. Für mehrschalige Aufbauten wird sie nach Abschnitt 2.3.4 aus der gemessenen Übertragungsfunktion des Dachaufbaus prognostiziert.

2.3.1 Regenarten

Für die Ermittlung der Regengeräusche wird zwischen der Anregung durch natürlichen Regen und einem künstlich erzeugten Regen unterschieden. Dieser gewährleistet durch die Normativen Vorgaben eine bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

a) Natürlicher Regen

In der Natur kommen vielfältige Arten von Regen vor, vom leichten Nieselregen bis hin zu Monsunartigen Niederschlägen. In [1] wird eine Tabelle zur Klassifizierung von natürlichem Regen aufgeführt. Der Regen kann hierbei durch die Kriterien Niederschlagsmenge, Tropfendurchmesser und Fallgeschwindigkeit kategorisiert werden.

Tabelle 2 Klassifizierung der Art des Regens nach [1]

Art des Regens	Niederschlagsmenge in mm/h	Typischer Tropfendurchmesser in mm	Fallgeschwindigkeit in m/s
Mäßig	bis 4	0,5 bis 1,0	1 bis 2
Intensiv	bis 15	1 bis 2	2 bis 4
Schwer	bis 40	2 bis 5	5 bis 7
Wolkenbruch	mehr als 100	>3	>6

Tabelle 2 zeigt, dass die Tropfendurchmesser mit der Niederschlagsmenge ansteigen. Dieser Zusammenhang wurde bereits 1948 von Marshall und Palmer veröffentlicht [16]. Dabei gilt für die Anzahl an Regentropfen N_D mit dem Tropfendurchmesser D bei einer Niederschlagsmenge R in mm/h:

$$N_D = N_0 e^{-\Lambda D} \quad (14)$$

mit

D Tropfendurchmesser in mm

$$N_0 = 0,08 \text{ cm}^{-4}$$

$$\Lambda = 41 R^{-0,21} \text{ cm}^{-1}$$

Abbildung 2 zeigt die Tropfenverteilung bei unterschiedlicher Niederschlagsmenge [16].

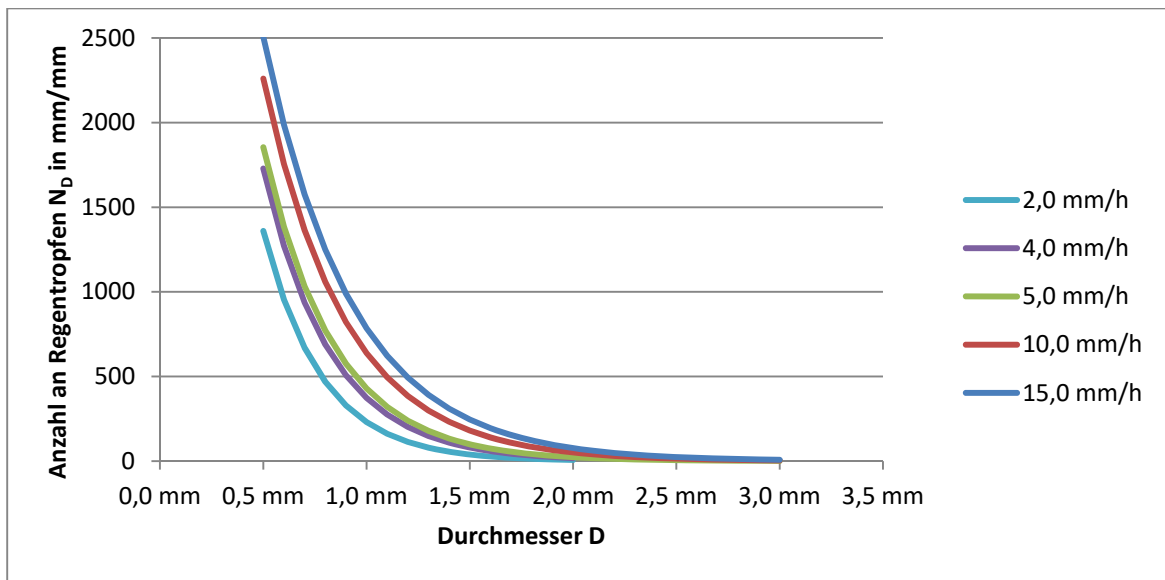
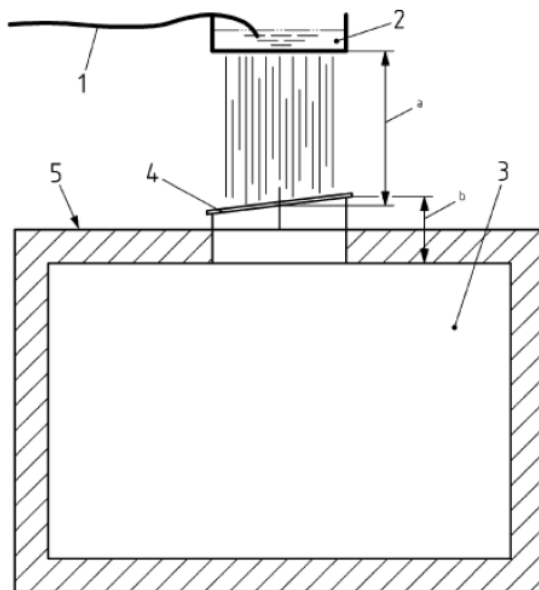


Abbildung 2 Anzahl der Regentropfen N_D mit Durchmesser D in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge nach [16]

b) Künstlicher Regen

Für Labormessungen kann künstlicher Regen nach EN ISO 10140-5:2010 [4] erzeugt werden. Hierzu wird eine definierte Wassermenge durch ein Lochblech geleitet wodurch Regentropfen mit gleichmäßigem Durchmesser entstehen. Die Parameter Niederschlagsmenge, Tropfendurchmesser und Fallgeschwindigkeit können dabei durch die Lochanzahl, die Lochdurchmesser und die Fallhöhe eingestellt werden.



Legende

- 1 Wasserversorgungssystem
- 2 Tank mit gelochtem Boden
- 3 Prüfraum
- 4 Probekörper
- 5 Wasserablauf
- a Fallhöhe
- b Höhe der Nische

Abbildung 3 Prüfanordnung nach [4]

Die Norm unterscheidet zwei unterschiedlich starke Regenarten. Für einen intensiven Regen wird eine Niederschlagsmenge von 15 mm/h mit Tropfendurchmessern von ca. 2,0 mm vorgegeben und für einen schweren Regen eine Niederschlagsmenge von 40 mm/h bei einem Tropfendurchmesser von ca. 5,0 mm. Die Tropfengeschwindigkeit beim Aufprall ist dann abhängig von der Fallhöhe. Diese soll für die Fälle intensiver Regen und schwerer Regen bei ca. 1 m bzw. 3,5 m liegen. Die entstehenden Fallgeschwindigkeiten entsprechen dabei nicht der Endgeschwindigkeit, die ein Tropfen bei natürlichem Regen erreichen würde.

2.3.2 Anregungskraft eines Regentropfens

Würden auf einen Regentropfen, abgesehen von der Oberflächenspannung, keine Kräfte wirken, so hätte dieser die Form einer perfekten Kugel. In Wirklichkeit jedoch wirken während des Falls diverse Kräfte auf den Tropfen und verursachen eine Verformung. Während ein Regentropfen auf die Erde fällt, variiert seine Form aufgrund äußerer Krafteinflüsse und der natürlichen Eigenschwingung durch Fluidströmungen auf der Tropfenoberfläche. Abbildung 4 zeigt Aufnahmen einer Highspeed Kamera, welche die Formveränderung eines Tropfens während des Falls darstellen [27].

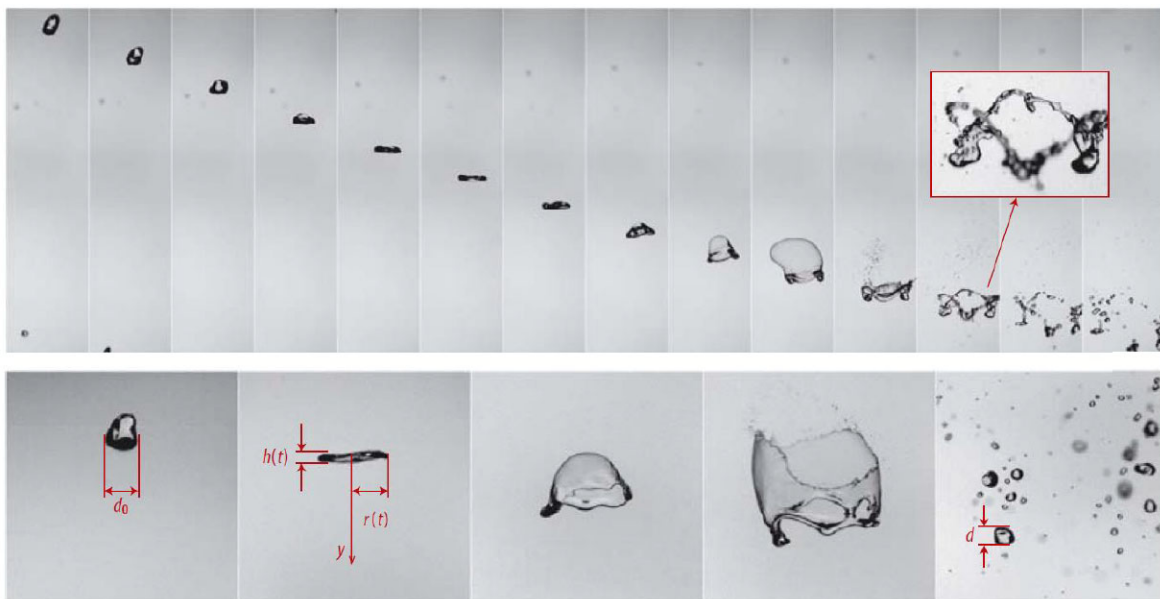
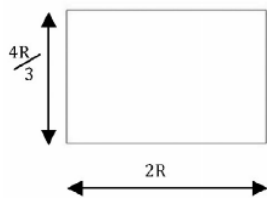


Abbildung 4 Formveränderung und Zerfall eines Tropfens beim Fallen [27]

Der Tropfen flacht zunächst ab. Anschließend bläht er sich auf und fragmentiert letztendlich zu mehreren kleinen Tropfen. Die Zeitdifferenz Δt zwischen den einzelnen Aufnahmen oben beträgt 7,9 ms. Die unteren Aufnahmen zeigen die charakteristischen Größen des Tropfens.

Zur Berechnung der Aufprallkraft des Tropfens ist die Form zum Aufprallzeitpunkt ausschlaggebend. In der Literatur findet man hierzu unterschiedliche Modelle. Es soll hier ein kurzer Überblick über die Literaturarbeit gegeben werden. Die genauen Herleitungen sind in den jeweiligen Quellen zu finden. Die Anregungskraft hängt jeweils von der Tropfenform ab.

a) Zylinder [11]

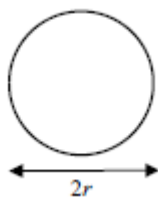
$$F(t) = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v_0^2$$

$$F(t) = 0$$

$$\text{für } 0 \leq t < \frac{4R}{3v_0}$$

$$\text{für } t \geq \frac{4R}{3v_0}$$

(15)

b) Kugel [21]

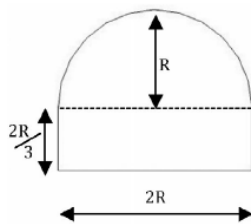
$$F(t) = 2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot R \cdot v_0^3 - \rho$$

$$F(t) = 0$$

$$\text{für } 0 \leq t < \frac{4R}{3v_0}$$

$$\text{für } t \geq \frac{4R}{3v_0}$$

(16)

c) Hemisphärischer Zylinder [11]

$$F(t) = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v_0^2$$

$$F(t) = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v_0^2 \left[\frac{5}{9} + \frac{4 \cdot v_0 \cdot t}{3R} - \frac{v_0^2 \cdot t^2}{R^2} \right]$$

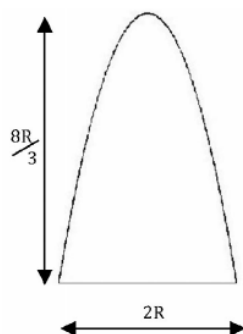
$$F(t) = 0$$

$$\text{für } 0 \leq t < \frac{2R}{3v_0}$$

$$\text{für } \frac{2R}{3v_0} \leq t \leq \frac{4R}{3v_0}$$

$$\text{Für } t > \frac{5R}{3v_0}$$

(17)

d) Rotationsparaboloid [21]

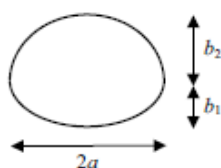
$$F(t) = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v_0^2 \cdot \left[1 - \frac{3 \cdot v_0}{8R} \cdot t \right]$$

$$F(t) = 0$$

$$\text{für } 0 \leq t \leq \frac{8R}{3v_0}$$

$$\text{Für } t > \frac{8R}{3v_0}$$

(18)

e) Einseitig abgeflachter Rotationsellipsoide [21]

$$F(t) = \rho \cdot \pi \cdot v_0^2 \cdot \left[a^2 - \frac{a^2}{b_1^2} \cdot (b_1 - v_0 \cdot t)^2 \right] \quad \text{für } 0 \leq t \leq \frac{b_1}{v_0}$$

$$F(t) = \rho \cdot \pi \cdot v_0^2 \cdot \left[a^2 - \frac{a^2}{b_2^2} \cdot (b_1 - v_0 \cdot t)^2 \right] \quad \text{für } \frac{b_1}{v_0} \leq t \leq \frac{b_1+b_2}{v_0}$$

$$F(t) = 0$$

$$\text{Für } t > \frac{b_1+b_2}{v_0}$$

(19)

Zum Vergleich der einzelnen Tropfenformen wurde der Kraftverlauf während des Aufpralls für die einzelnen Formen mit Hilfe der Formeln (15) bis (19) berechnet.

Die Tropfenparameter wurden entsprechend Tabelle 2 für einen typischen Regentropfen bei *schwerem* Regen festgelegt.

φ	= 1000 kg/m ³
v	= 7 m/s
R	= 2,5 mm
a	= 2,8 mm

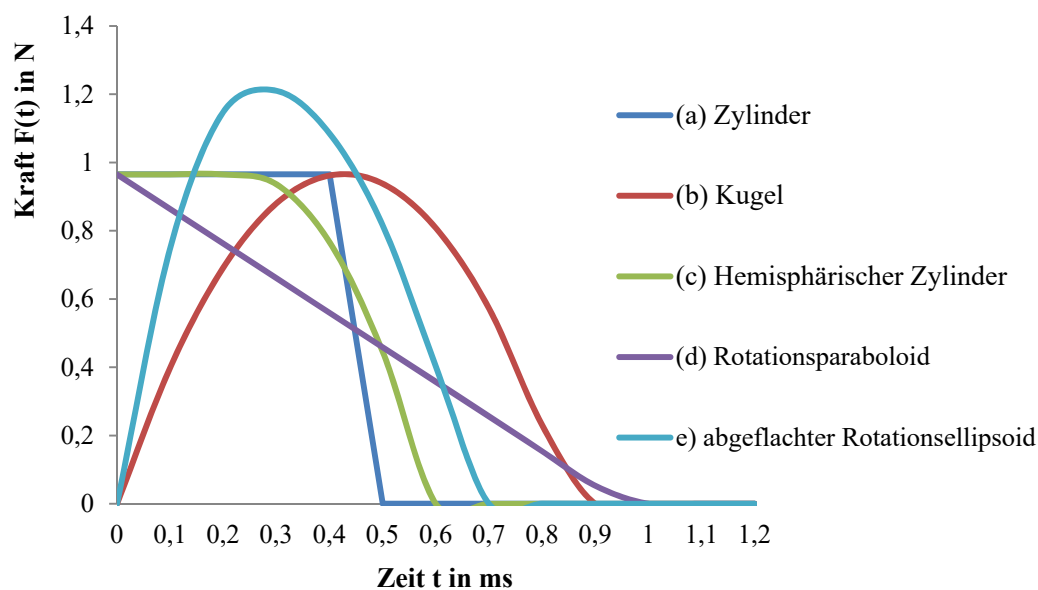


Abbildung 5 Zeitabhängiger Kraftverlauf für alle Tropfenformen (a) bis (e)

Aus dem Zeitverlauf der Anregekraft durch einen Regentropfen kann mit Hilfe der Marshall-Palmers-Verteilung (siehe Abschnitt 2.3.1) die Kraft für bestimmte Regenfälle aufsummiert werden. Zuvor werden anhand einer Fourier-Transformation Kraftspektren für die jeweilige Tropfengröße erstellt. Im weiteren Verlauf wurde die Ellipsoide Tropfenform weiter verwendet.

$$F_{\text{ges}} = \sum_{d_{\min}}^{d_{\max}} N_D \cdot F_D \quad (20)$$

mit

N_D Anzahl an Tropfen mit Durchmesser d

F_D Anregekraft eines Tropfens mit Durchmesser d



Abbildung 6 zeigt das Ergebnis dieser Berechnung für Regenmengen von 2 bis 15 mm/h. Dabei wurden die Tropfendurchmesser von 0,5 mm bis 3,0 mm betrachtet.

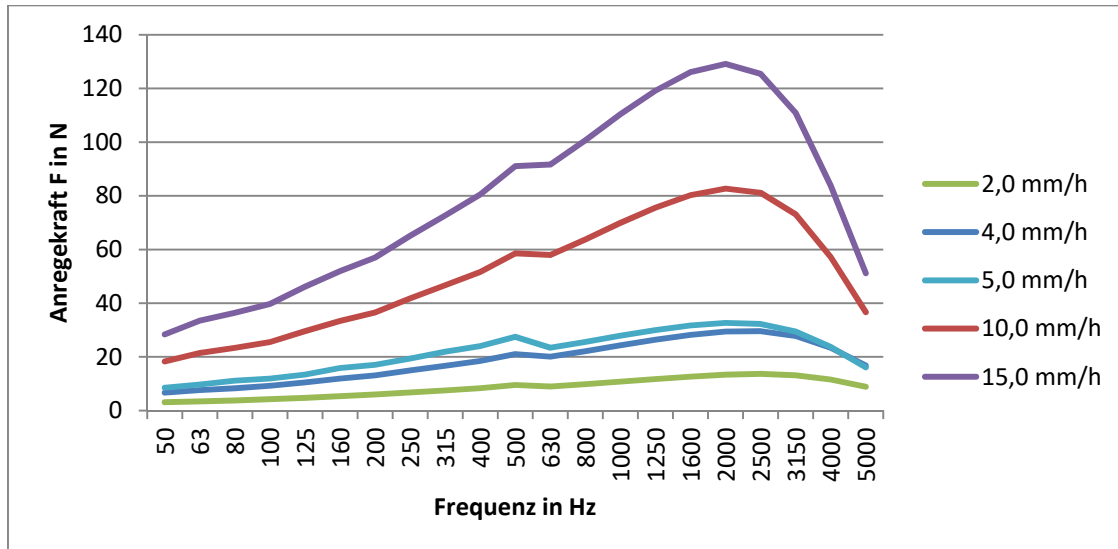


Abbildung 6 Anregekraft F für einen Regen mit einer Niederschlagsmenge R von 2,0 mm/h bis 15,0 mm/h bei Verteilung der Regentropfen mit dem Durchmesser d nach [16]

2.3.3 Berechnungsmodell für Regengeräuschen bei einschaligen Bauteilen

Die von einem Bauteil abgestrahlten Regengeräusche lassen sich durch den Schallintensitätspegel L_I beschreiben, der sich direkt aus dem Schnellepegel L_v und dem Abstrahlgrad σ ergibt:

$$L_I = L_v + 10 \lg(\sigma) \quad (21)$$

bzw.:

$$L_I = 10 \lg\left(\frac{\tilde{v}_{eff}^2}{v_0^2}\right) + 10 \lg(\sigma) \quad \text{mit:} \quad L_v = 10 \lg\left(\frac{\tilde{v}_{eff}^2}{v_0^2}\right) \quad (22)$$

Die Körperschallschnelle $\tilde{v}_{eff}^2$ des Bauteils kann aus der Bilanzierung der Schallleistung ermittelt werden.

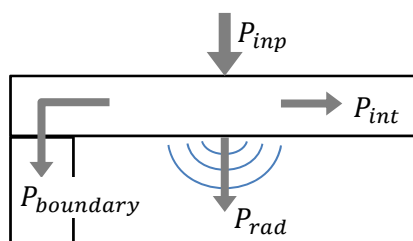


Abbildung 7 Bilanzierung der Schallleistung für die Punktanregung eines Bauteils

Im stationären Zustand (Dauerregen) entspricht die eingebrachte Schalleistung P_{inp} der Verlustleistung P_{loss} des Bauteils, die sich aus der abgestrahlten Leistung P_{rad} , der über den Bauteilrand weitergeleiteten Leistung $P_{boundary}$ und der im Bauteil umgewandelten Leistung P_{int} zusammensetzt.

$$P_{inp} = P_{loss} \quad (23)$$

$$P_{inp} = P_{int} + P_{rad} + P_{boundary} \quad (24)$$

Mit dem Zusammenhang zwischen Schalleistung und Schallenergie E über den Verlustfaktor η und die Kreisfrequenz ω ergibt sich:

$$P_{inp} = E_{inp} \omega (\eta_{int} + \eta_{rad} + \eta_{boundary}) \quad \text{mit} \quad P = E \omega \eta \quad (25)$$

bzw.

$$P_{inp} = m \tilde{v}_{eff}^2 \omega \eta_{tot} \quad \text{mit} \quad E = m \tilde{v}_{eff}^2 \quad (26)$$

Aufgelöst nach der Körperschallschnelle $\tilde{v}_{eff}^2$ des Bauteils ergibt sich:

$$\tilde{v}_{eff}^2 = \frac{P_{inp}}{m' S \omega \eta_{tot}} \quad \text{mit} \quad m = m' S \quad (27)$$

bzw. mit dem Zusammenhang zwischen dem Verlustfaktor und der Körperschallnachhallzeit T_s als Messgröße:

$$\tilde{v}_{eff}^2 = \frac{P_{inp} T_s}{m' S \ln 10^6} \quad \text{mit} \quad \eta_{tot} = \frac{\ln 10^6}{\omega T_s} \quad (28)$$

Die eingebrachte Schalleistung P_{inp} kann aus der Anregungskraft F des Regens und der Admittanz Y des Bauteils ermittelt werden.

$$P_{inp} = F v = F^2 Y \quad \text{mit} \quad Y = \frac{v}{F} \quad (29)$$

Hierzu ist zunächst die frequenzabhängige Anregungskraft durch einen aufprallenden Regentropfen mit Hilfe der Fourier-Transformation zu ermitteln.

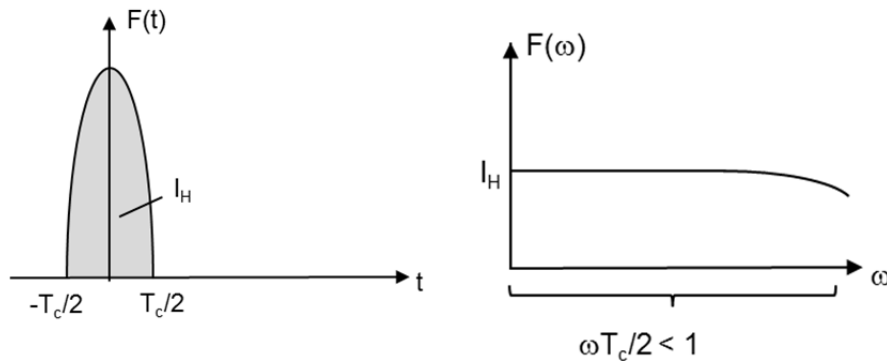


Abbildung 8 Kraft-Zeit-Verlauf und Kraftspektrum für den Regentropfen



Die Fourier-Transformation

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad \text{und} \quad F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) e^{-j\omega t} dt \quad (30)$$

wird für die Kontaktzeit T_c des Regentropfens mit dem Bauteil ausgewertet (s. Abbildung 8, links). Für die eingebrachte Schallleistung durch einen Dauerregen mit der f_s als Anzahl der aufprallenden Tropfen pro Sekunde ergibt sich:

$$P_{\text{inp}} = F(\omega)^2 Y f_s \quad (31)$$

Die Körperschallschnelle $\tilde{v}_{\text{eff}}^2$ des Bauteils in (28) beträgt somit:

$$\tilde{v}_{\text{eff}}^2 = \frac{F(\omega)^2 Y f_s T_s}{m' S \ln 10^6} \quad (32)$$

Der Schallintensitätspegel berechnet sich dann mit Gleichung (22) zu:

$$L_I = 10 \lg \left(\frac{F(\omega)^2 Y f_s T_s}{m' S \ln 10^6 v_0^2} \right) + 10 \lg(\sigma) \quad (33)$$

Für die Admittanz eines einschaligen Bauteils kann nach [24] folgender Zusammenhang angesetzt werden:

$$Y_s = \frac{1}{8\sqrt{B'm'}} = \frac{k_B^2}{8 \omega m'} = \frac{\omega^2}{c_B^2 8 \omega m'} = \frac{2\pi f_c}{8 m' c_0^2} \quad (34)$$

Die Körperschallnachhallzeit T_s kann nach DIN EN ISO 12354-1 berechnet werden.

2.3.4 Berechnungsmodell für Regengeräusche bei mehrschaligen Bauteilen

Für die Prognose des Schalldruckpegels, der in einem Raum durch die Regen-Anregung des Daches entsteht, kann die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise verwendet werden. Zunächst wird aus Messungen im des Dachelements im Prüfstand der Abstrahlgrad bzw. das Abstrahlmaß ermittelt. Dazu wird das Dach mit einem Shaker oder einem Norm-Hammerwerk angeregt.

$$10 \log(\sigma) = L_p - L_v + 10 \log \frac{A}{4 \cdot S} \quad (35)$$

mit

L_p Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB

L_v Schnellepegel in dB

A Äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraum in m^2

S Trennfläche des Dachs in m^2

Da die Anregung mit dem Shaker nur zu sehr geringen Pegeln führte, wurde für die weitere Ermittlung das Norm-Hammerwerk verwendet. Mit Hilfe der theoretischen Anregekraft durch Regen (siehe Abschnitt 2.3.2) und der Anregekraft des Norm-Hammerwerks nach [34] wird eine Vorhersage des Schnellepegels durch die Anregung von Regen für einen bestimmten Dachaufbau ermittelt:

$$L_{v,Regen} = L_{v,HW} + 10 \log \left(\frac{F_{n,Regen}^2}{F_{n,HW}^2} \right) \quad (36)$$

mit

$L_{v,HW}$	Schnellepegel durch Anregung mit dem Norm-Hammerwerk in dB
$F_{n,Regen}$	Anregekraft der Regentropfen in N ($F_{n,Regen} = F_{n,Tropfen} f_{Tropfen}$)
$f_{Tropfen}$	Anzahl der Regentropfen / Sekunde auf der Prüffläche
$F_{n,HW}$	Anregekraft des Norm-Hammerwerks in N

Anschließend wird mit dem Abstrahlmaß der Schnellepegel in einen Schalldruckpegel im Raum umgerechnet:

$$L_p = L_{v,Regen} - 10 \log \left(\frac{A}{4 \cdot S} \right) + 10 \log(\sigma) \quad (37)$$

Der Schallintensitätspegel L_I kann in gleicher Weise aus der Schallschnelle ermittelt werden:

$$L_I = L_{v,Regen} + 10 \log(\sigma) \quad (38)$$

bzw. aus dem Norm-Trittschallpegel des Aufbaus:

$$L_I = L_n + 10 \log \left(\frac{F_{n,Regen}^2}{F_{n,HW}^2} \right) + 10 \log \left(\frac{A_0}{4 \cdot S} \right) \quad (39)$$

3 Messtechnik und Durchführung

3.1 Messung der Luft- und Trittschalldämmung im Labor

Die Luft- und Trittschallmessungen wurden nach den derzeit gültigen deutschen und europäischen Messnormen durchgeführt. Diese Mess- und Auswertungsnormen sind im Einzelnen in nachstehender Tabelle 3 aufgeführt. Die zur Messung verwendeten Prüfmittel werden in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 3 Normative Grundlage zur Messung der Luft- und Trittschalldämmung

	Europäische Norm
Prüfstand für Schallmessungen an Decken (Flachdächern) ohne Nebenwege	EN ISO 10140-5: 2010+A1:2014 [4]
Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen im Prüfstand	EN ISO 10140-1:2016 [1], EN ISO 10140-2:2010 [2]
Messung des Norm-Trittschallpegels von Bauteilen im Prüfstand	EN ISO 10140-3:2010+ A1: 2015 [3]
Bewertung der Luftschalldämmung	EN ISO 717-1: 2013 [5]
Bewertung der Trittschalldämmung	EN ISO 717-2: 2013 [6]

Tabelle 4 Prüfmittel zur Messung der Luft- und Trittschalldämmung

Gerät	Typ	Hersteller
Integrierende Messanlage	Typ Nortronic 840	Fa. Norsonic-Tippkemper
Mikrofon-Vorverstärker	Typ 1201	Fa. Norsonic-Tippkemper
Mikrofonkapseln	Typ 1220	Fa. Norsonic-Tippkemper
Kalibrator	Typ 1251	Fa. Norsonic-Tippkemper
Lautsprecher Dodekaeder	Eigenbau	-
Verstärker	Typ E120	Fa. FG Elektronik
Mikrofon-Schwenkanlage	Eigenbau / Typ 231-N-360	Fa. Norsonic-Tippkemper
Norm-Hammerwerk	Typ 211	Fa. Norsonic-Tippkemper

Die Messung der Schallpegeldifferenz erfolgte über 2 Lautsprecherpositionen und auf 2 Kreisbahnen bewegten Mikrofonen. Der Trittschallpegel wurde durch die Anregung mit dem Norm-Hammerwerk über 5 Positionen ermittelt. Die Nachhallzeit wurde aus insgesamt 12 Messungen arithmetisch gemittelt (jeweils 6 Messungen von 2 Lautsprecherpositionen). Zur Messgleichung für die Luft- und Trittschalldämmung siehe Abschnitt 2.1.1 und 2.1.2.

Die Dachelemente (Abmessung ca. 5 m × 5,5 m) wurden im Deckenprüfstand ohne Schallnebenwege des ift Rosenheim eingebaut. Der Einbau des Daches erfolgt ohne Kontakt zu den flankierenden Wänden. Die Ablasten wurden über ein außenliegendes Stahlgerüst abgetragen. Abbildung 9 zeigt eine Skizze des Deckenprüfstandes mit eingebautem Element.

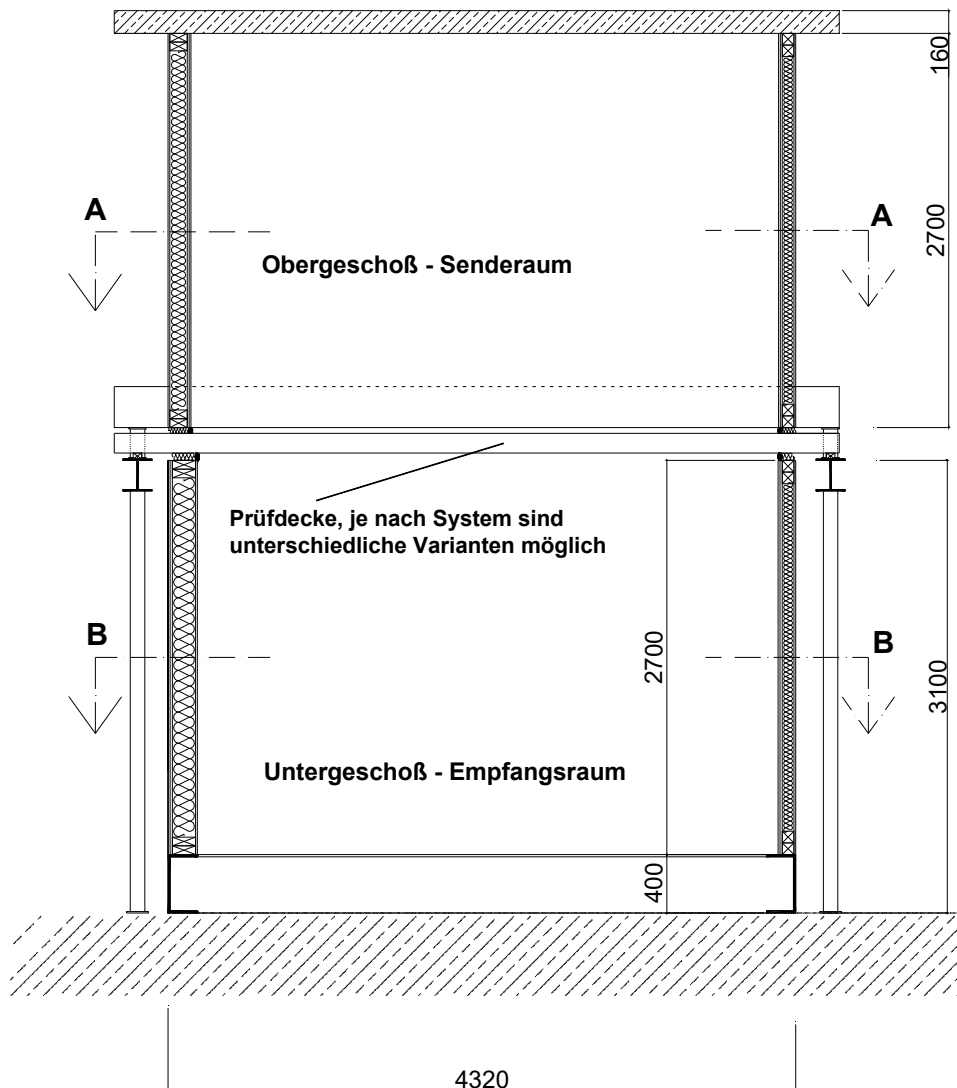


Abbildung 9 Skizze des Deckenprüfstandes der für die Messungen der Flachdächer verwendet wurde; dargestellt zur Messung ohne Nebenwege (Senderraumvolumen $V_S = 54 \text{ m}^3$, Empfangsraumvolumen $V_E = 62 \text{ m}^3$, Trennfläche $S = 20 \text{ m}^2$)



3.2 Messung der dynamischen Steifigkeit und des Strömungswiderstandes

Neben den Luft- und Trittschallmessungen wurden auch Zusatzprüfungen zur Charakterisierung der Materialeigenschaften der verwendeten Baustoffe durchgeführt. Diese Prüfnormen sind im Einzelnen in nachstehender Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5 Normative Grundlage Zusatzprüfungen

	Europäische Norm
Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von Trittschalldämmplatten	DIN EN 29052-1:1992-08 [7]
Bestimmung des Strömungswiderstandes von Faserdämmstoffen	DIN EN 29053 [8]

Die scheinbare dynamische Steifigkeit pro Flächeneinheit wird nach Gleichung (40) für 3 gemessenen Proben ermittelt.

$$s'_t = 4 \cdot \pi \cdot m'_t \cdot f_r^2 \quad (40)$$

mit

m'_t die während der Prüfung verwendete Gesamtmasse je Flächeneinheit in kg/m²

f_r die gemessene Resonanzfrequenz des Systems

Die dynamische Steifigkeit s' des Dämm-Materials wird in Abhängigkeit des arithmetisch gemittelten längenbezogenen Strömungswiderstands r (gemessen an allen Probekörper) wie folgt ermittelt:

(i) Für hohe längenbezogene Strömungswiderstände $r \geq 100 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$

$$s' = s'_t \quad (41)$$

(ii) Für mittlere längenbezogene Strömungswiderstände $100 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2 > r \geq 10 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$

$$s' = s'_t + s'_a ; \text{ mit } s'_a = \frac{p_0}{d \cdot \varepsilon} \quad (42)$$

mit

s'_a die dynamische Steifigkeit des eingeschlossenen Gases in MN/m³

p_0 der atmosphärische Ruhedruck in Pa

d die Dicke des Probekörpers in m

ε die Porosität des Probekörpers

(iii) Für niedrige längenbezogene Strömungswiderstände $r < 10 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$

$$s' = s'_t \quad (43)$$

Anmerkung zu (iii):

Der durch Vernachlässigung von s'_a entstehende Fehler ist im Prüfbericht zu vermerken.

Der Wert von s' kann mit Hilfe dieser Methode nicht bestimmt werden, wenn $r < 10 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$ und im Vergleich zu s'_t nicht vernachlässigbar ist.

3.3 Messung der Übertragungsfunktion im Labor

Zur Messung der Übertragungsfunktion wurde das Dach im Senderraum mittels eines dynamischen Schwingerregers („Shaker“) angeregt. Die eingeleitete Kraft wurde anhand eines direkt am Shaker befestigten Kraftaufnehmers gemessen. Im Empfangsraum wurden auf der Dachunterseite 4 Beschleunigungsaufnehmer befestigt. Insgesamt wurde an drei unterschiedlichen Positionen angeregt mit den zugehörigen Messpunkten A, B, C (siehe Abbildung 10).

Tabelle 6 Prüfmittel zur Messung der Übertragungsfunktion

Gerät	Typ	Hersteller
Kraftaufnehmer	Typ 8230	Fa. Brüel & Kjaer
Beschleunigungsaufnehmer	Typ 1270	Norsonic
Shaker	Typ 4810	Fa. Brüel & Kjaer
Integrierende Messanlage	Typ Soundbook_MK2_8B	SINUS Messtechnik GmbH
Accelerometer	Typ ICP 352C33	PCB Piezotronics
KS Kalibrator	Typ 4294	Brüel & Kjaer

Die Übertragungsfunktion $h(f)$ wird anhand von Gleichung (44) ermittelt

$$h(f) = \frac{L_a(f)}{L_F(f)} \quad (44)$$

mit

$$L_a \quad \text{der Beschleunigungspegel in dB: } L_a = 20 \log \left(\frac{a}{a_0} \right)$$

$$L_F \quad \text{der Kraftpegel in dB: } L_F = 20 \log \left(\frac{F}{F_0} \right)$$

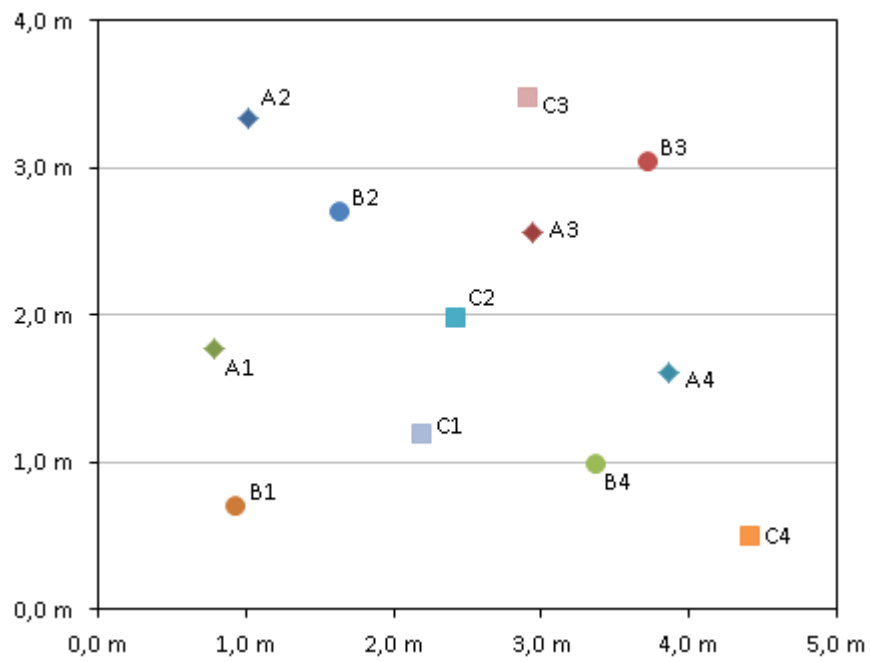


Abbildung 10 Verteilung der Messpunkte im Empfangsraum



4 Messergebnisse

Die Untersuchungen wurden an praxisnahen Dachaufbauten durchgeführt, um die Einflussgrößen auf die Schalldämmung von Flachdächern und leicht geneigten Dächern beschreiben und Planungsunterlagen gut geeigneter Konstruktionen zur Verfügung stellen zu können. Nachfolgend werden diese konstruktiven Einflüsse gelistet und Ihr Einfluss auf die Schalldämmung aufgezeigt. Eine Auflistung der verwendeten Baustoffe befindet sich in Anhang A. Alle Messergebnisse sind in Anhang B aufgeführt.

4.1 Konstruktive Einflüsse

Zur Untersuchung der konstruktiven Einflüsse wurden zunächst die gängigsten Dachkonstruktionen mit Ihren Varianten in den Bauteilkomponenten erfasst. Darauf aufbauend wurde in enger Abstimmung mit den Projektpartnern eine Prüfmatrix erstellt, die folgende Bauteilvarianten berücksichtigt:

- Dachtypen: Flachdächer, Dachterrassen, leicht geneigte Dächer
- Elementtypen: Balken/Sparrenelemente, Massivholz Flächen-, Rippen- oder Kastenelemente
- Dämmweise: Aufsparrendämmung, Zwischensparrendämmung
- Dämmungstyp: EPS, PUR, Holzfaser, Vakuumpaneele
- Eindeckung / Belag: Blechdach, Gründach, Kiesdach, Betonplatten, Lattenrost

Durch vergleichende Messungen konnten für die verschiedenen Aufbauten die Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch die einzelnen Maßnahmen ermittelt werden. Nachfolgend werden diese für die Grundkonstruktion, zusätzliche Unterdecken, und unterschiedliche Dachaufbauten gezeigt.

4.2 Dachkonstruktionen

Sichtbare Tragkonstruktionen können mit Sichtsparrendächern, Dachelementen aus Massivholzelementen (Brettspertholz-, Brettschichtholz-, Brettstapelelemente) oder Rippen- und Kastenelementen realisiert werden. Diese einschaligen Bauweisen der Grundkonstruktionen erfordern für schalltechnisch hochwertige Ausführungen Zusatzmassen in Form einer Beschwerung in oder auf dem Element. Alternativ kann durch eine (entkoppelte) Unterdecke die Luft- und Trittschalldämmung verbessert werden. Konstruktions- und Ausführungsvarianten sind in Abbildung 11 dargestellt.

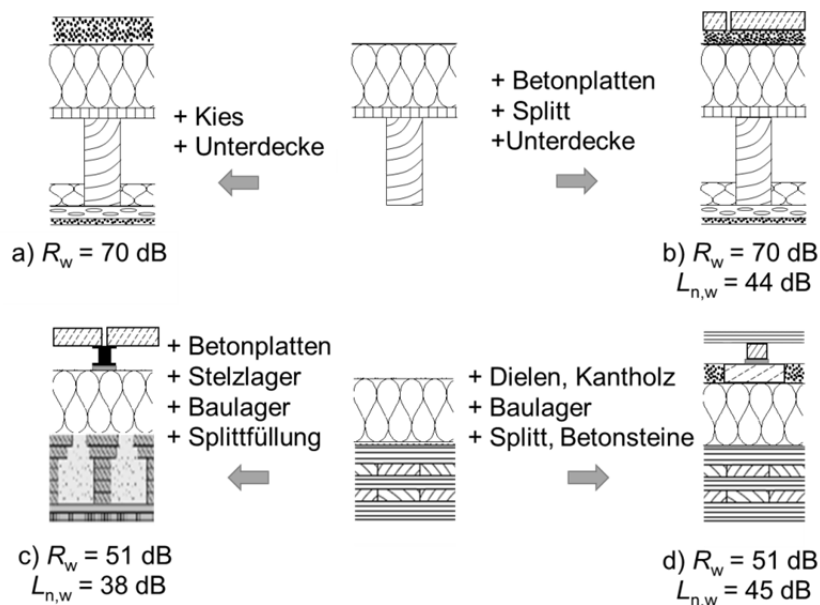


Abbildung 11 Flachdächer aus Sparren- oder Massivholzelementen mit unterschiedl. Aufbauten:

- a) 50 mm Kies, Unterdecke mit Federschienen, 12,5 mm GKF und 40 mm Faserdämmstoff
- b) 40 mm Betonplatten, 30 mm Splitt, Unterdecke mit Federschienen, 12,5 mm GKF und 40 mm Faserdämmstoff
- c) 40 mm Betonplatten, > 40 mm Stelzlager, 12 mm Baulager, Splittfüllung im Element
- d) 26 mm Dielen, 44 mm Kantholz, 12 mm Baulager, 40 mm Splitt und Betonplattung (unter Baulager)

Massivholzelemente werden auch als Akustikelemente eingesetzt. Um zu überprüfen in wie weit die Akustiklochung einen Einfluss auf die Schalldämmung des Dachelementes hat, wurde ein direkter Vergleich bei sonst gleichem Aufbau durchgeführt (siehe Abbildung 12). Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung.

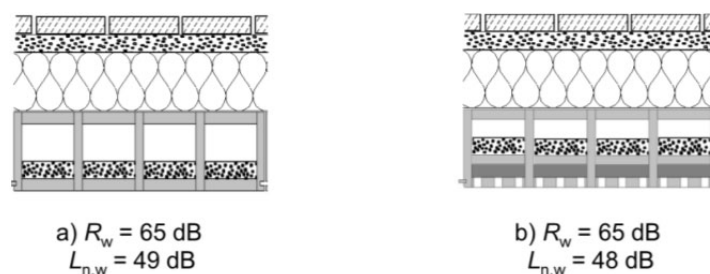


Abbildung 12 Flachdächer aus Massivholz-Kastenelementen, EPS Aufdachdämmung, Dachabdichtung und Betonplatten im Kiesbett:

- a) Kastenelement mit 50 kg/m² Splittfüllung
- b) Akustikelement mit 50 kg/m² Splittfüllung



4.3 Dämmstoffe

Nicht druckbelastete Dämmstoffe zwischen den Sparren und in der Unterdecke wirken schallabsorbierend, indem Schallenergie durch Reibung an und zwischen den Dämmstofffasern in Wärmeenergie umgewandelt wird. Hierzu ist eine offenzellige Struktur des Dämmstoffes erforderlich, die der Schallwechseldruckwelle einerseits ein Eindringen ermöglicht und andererseits einen genügend großen Widerstand entgegensetzt. Eine gute schallabsorbierende Wirkung wird mit Dämmstoffen erreicht, deren längenbezogener Strömungswiderstand r zwischen 5 kPa s/m^2 und 50 kPa s/m^2 liegt [25]. Dies kann sowohl mit Faserdämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als auch mit konventionellen Dämmstoffen erreicht werden. Geschlossenzellige Dämmstoffplatten (z.B. Hartschaumplatten) sind nicht geeignet.

Druckbelastete Aufdachdämmungen haben neben der absorbierenden Wirkung auch die Aufgabe der Entkopplung. Bei Steildächern werden hierzu bei Dachkonstruktionen mit Schallschutzanforderungen häufig Faserdämmplatten eingesetzt. Dies ist auch bei flach geneigten Dächern mit Blecheindeckung möglich. Bei Flachdächern werden auf Grund der höheren Belastung meist Hartschaumdämmplatten verwendet. Diese verhalten sich auf Grund ihrer hohen Steifigkeit, der geringen Rohdichte und der fehlenden Absorption zunächst ungünstig. Wie Abbildung 13 zeigt, unterscheidet sich das bewertete Schalldämm-Maß R_w des Aufbaus b) mit 200 mm EPS-Aufdachdämmung ($R_w = 38 \text{ dB}$) kaum vom Grundelement (Aufbau a) mit $R_w = 37 \text{ dB}$. Die EPS-Aufdachdämmung hat also keine verbessernde Wirkung auf den Einzahlwert.

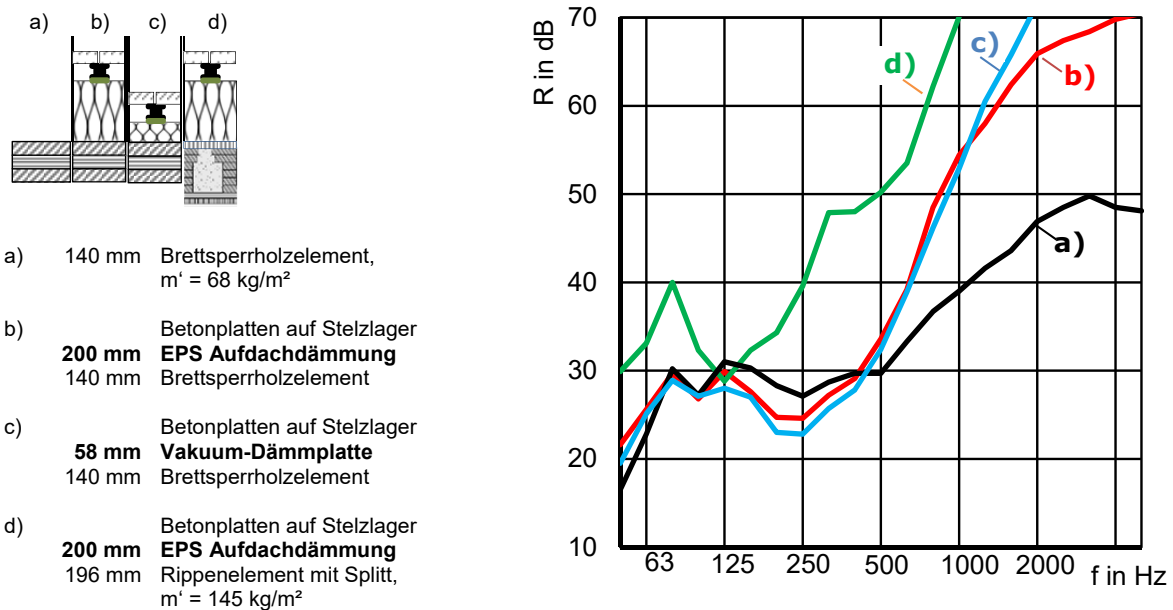


Abbildung 13 Einfluss der Aufdachdämmung auf das Schalldämm-Maß von Flachdachaufbauten. Der Aufbau oberhalb der Dämmplatte (hier: 40 mm Betonplatten, Stelzlager, Baulager, Dachabdichtung) ist für die Luftschallübertragung auf Grund der Fugen zwischen den Betonplatten nicht maßgebend.

- a) Dachelement ohne Aufbau, $R_w = 37 \text{ dB}$
- b) Dachelement mit 200 mm EPS und Betonplatten auf Stelzlager, $R_w = 38 \text{ dB}$
- c) Dachelement mit 58 mm Vakuum Paneel und Betonplatten auf Stelzlager, $R_w = 37 \text{ dB}$
- d) Dachelement mit Splitt-Beschwerung im Element, 200 mm EPS und Betonplatten auf Stelzlager, $R_w = 51 \text{ dB}$

Auch frequenzabhängig erkennt man erst ab 500 Hz eine Verbesserung gegenüber dem Grundelement. Dies kommt hier besonders deutlich zum Vorschein, da auch die Betonplatten auf Stelzlagern durch die Verlege-Fuge keinen Beitrag zur Luftschalldämmung leisten. Gleiches gilt für die Ausführung mit Vakuum-Paneelen, die gerne für barrierefreie Übergänge zur Dachterrasse eingesetzt werden. Eine deutliche Verbesserung wird erst durch eine Beschwerung des Dachelementes erreicht, wie dies in Aufbau d) durch eine Splittfüllung des Massivholz-Rippelementes erfolgte. Durch die Beschwerung wird das Element bedämpft und die Resonanz der Dämmplatten zu tieferen Frequenzen verschoben (von 250 Hz auf 125 Hz).

Ein Dämmstoffvergleich zwischen EPS – und PUR-Aufdachdämmplatten wird in Abbildung 14 für die Trittschallübertragung dargestellt. Auch hier ist der Einfluss der Hart-schaum-dämmplatte gering. Die etwas weichere EPS-Platte ergibt geringfügig bessere Werte.

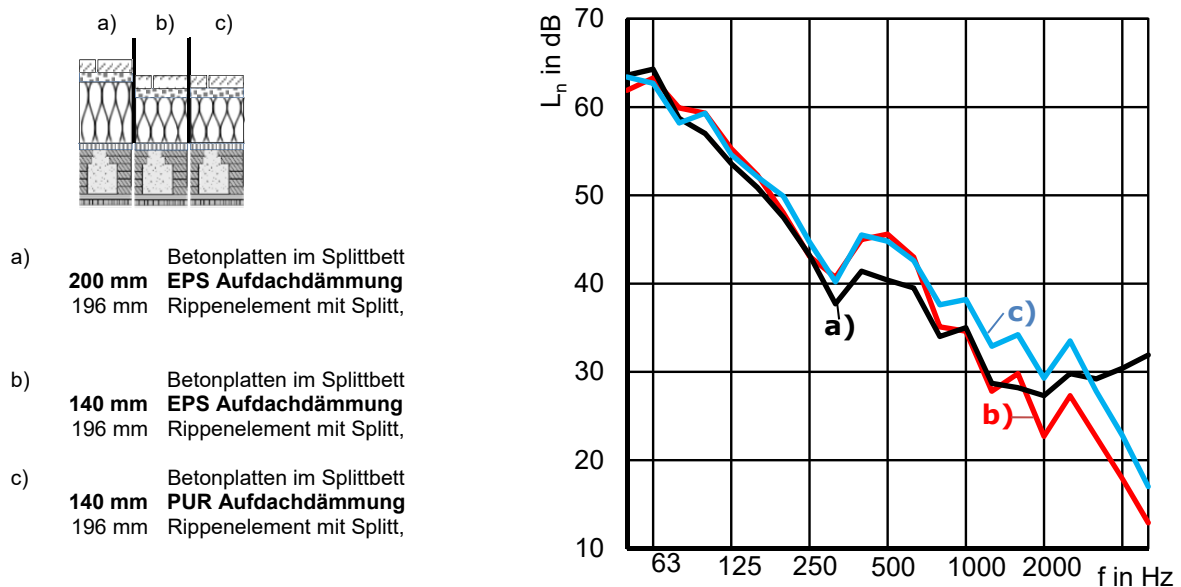


Abbildung 14 Einfluss der Aufdachdämmung auf den Norm-Trittschallpegel von Flachdachaufbauten

- a) Dachelement mit 200 mm EPS, Dachabdichtung, Betonplatten im Splittbett,
 $L_{n,w} = 44$ dB
- b) Dachelement mit 140 mm EPS, Dachabdichtung, Betonplatten im Splittbett,
 $L_{n,w} = 45$ dB
- c) Dachelement mit 140 mm PUR, Dachabdichtung, Betonplatten im Splittbett,
 $L_{n,w} = 46$ dB

4.1 Abdichtung, Dachdeckung und Gehbelag

Der Aufbau oberhalb der Dämmstoffebene wird nutzungsabhängig variiert. Für nicht begehbare Flachdächer werden Kiesschüttungen, extensive Begrünungen oder Dachabdichtungsbahnen verwendet. Die Ausführung mit Dachabdichtungsbahnen ohne weitere Zusatzmassen ergibt erwartungsgemäß geringere Schalldämm-Maße (siehe Abbildung 15c). Bisherige Vergleichsmessungen ergaben jedoch auch für Dachaufbauten mit extensiver Dachbegrünungen deutlich geringere Schalldämm-Maße als für Dachaufbauten mit Kiesauflagen gleicher flächenbezogener Masse (siehe Abbildung 15a). Als Ursache kann hier der Einfluss der Dränschicht in Kombination mit einer Speichermatte genannt werden, die im Frequenzbereich von 125 Hz bis 2000 Hz eine Reduzierung der Schalldämmung bewirkt. Abbildung 16 zeigt hierzu einen direkten Vergleich für einen Dachterrassenaufbau mit und ohne Speichermatte (hier als Schutzvlies eingesetzt). Während im Trittschalldurchgang die zusätzliche Entkopplung eine Verbesserung ($\Delta L = L_{n,\text{ohne Vlies}} - L_{n,\text{mit Vlies}}$) bewirkt, zeichnet sich für die Luftschalldämmung die gleiche Verschlechterung ($\Delta R =$

$R_{\text{mit Vlies}} - R_{\text{ohne Vlies}}$) ab. Hier besteht in Bezug auf die bauakustische Auswirkung üblicher Drän-, Speicher- und Schutzschichten noch Untersuchungsbedarf.

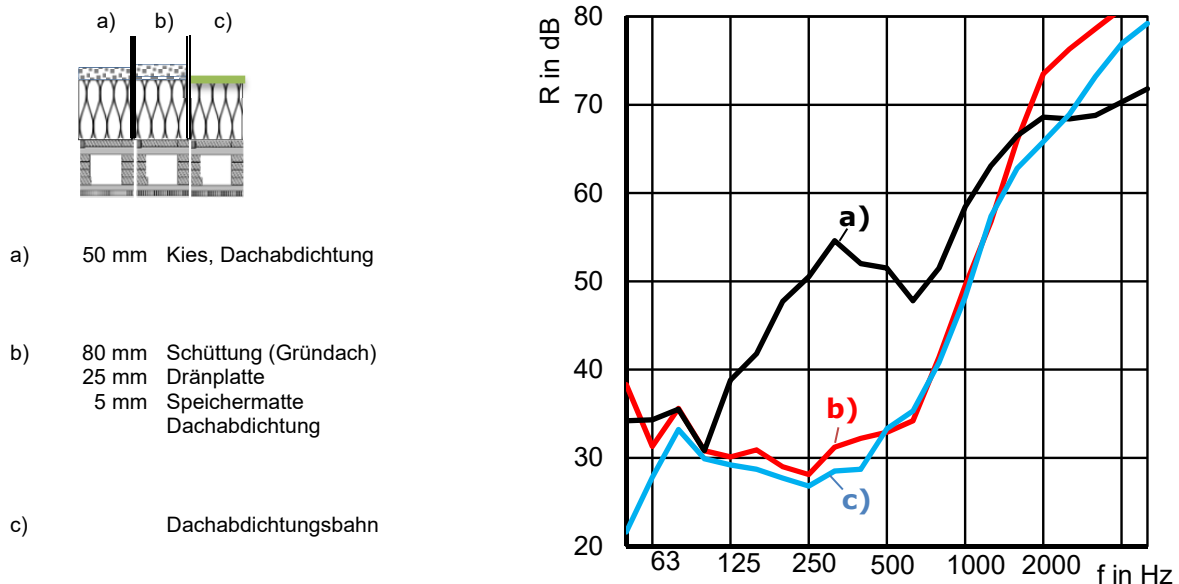


Abbildung 15 Vergleich der Aufbauten: Kiesdach, Gründach und einfache Dachabdichtungsbahn auf einem Brettsperrholz – Kastenelement mit 200 mm EPS Aufdachdämmung

a) Kiesdach, $R_w = 55$ dB

b) Gründach, $R_w = 39$ dB

c) Dachabdichtung, $R_w = 38$ dB

Für leicht geneigte Dächer kommen Metaldachdeckungen zum Einsatz. Leichte Dachabdichtungen und Metaldachdeckungen verhalten sich insgesamt ungünstiger als schwere, mehrlagig aufgebrachte Abdichtungsbahnen. Bei Metalleindeckungen können jedoch Holzfaserdämmplatten eingesetzt werden, die eine deutliche Verbesserung gegenüber Hartschaumdämmplatten ergeben. Zusätzlich wurde zur Bedämpfung der Metalleindeckung eine Bitumen-Unterdachbahn eingebaut, um die Geräuschentwicklung bei Starkregen zu reduzieren. Abbildung 17 zeigt Schalldämm-Maße für die verschiedenen Dachtypen mit Metalleindeckung.

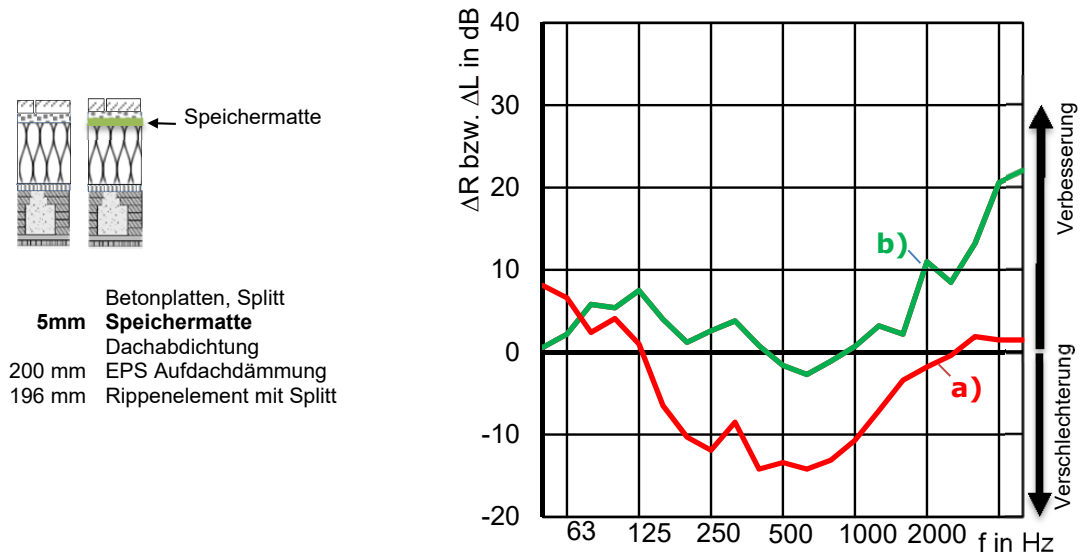
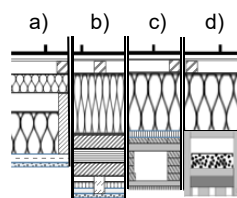


Abbildung 16 Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch Speichermatte aus der direkten Vergleichsmessung mit und ohne Speichermatte

a) Differenz Luftschalldämmung ΔR mit und ohne Speicherschutzmatte

b) Trittschallminderung ΔL durch die Speicherschutzmatte



Dacheindeckung:

- 0,5 mm Metalleindeckung
- 3 mm Bitumen Unterdachbahn
- 24 mm Schalung
- 80 mm Lattung, $e = 625$ mm
- 60-200 mm Holzfaserdämmplatte

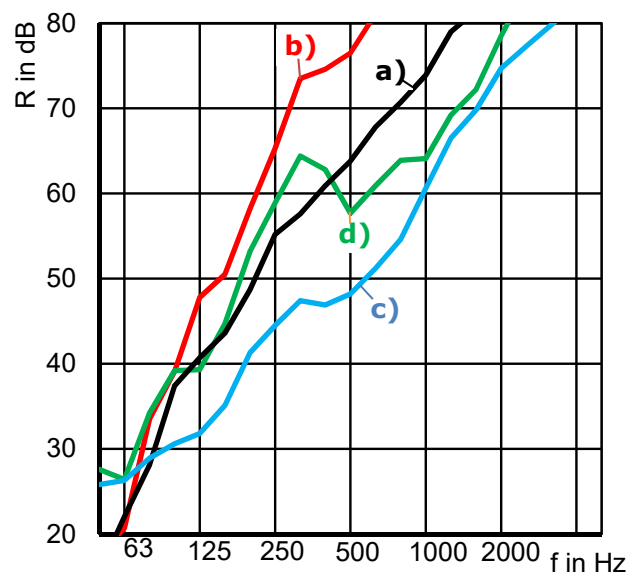


Abbildung 17 Schalldämmung flachgeneigter Dächer mit Metalleindeckung

a) Sparrendach, Unterdecke mit Federschienen, $R_w = 63$ dB

b) Brettsperrholzelement mit abgehängter Unterdecke, $R_w = 71$ dB

c) Brettsperrholz-Rippelement ohne Zusatzmaßnahmen, $R_w = 53$ dB

d) Kastenelement als Akustikelement mit 50 kg/m^2 Splittfüllung, $R_w = 63$ dB

Begehbare Dächer die als Dachterrassen genutzt werden, können mit Betonplatten im Splittbett, Platten auf Stelzlager oder einem Holzrost (Holzdielen auf Lagerhölzern) ausgeführt werden. Während die Betonplatten im Splittbett durch ihre flächenbezogene Masse wirksam sind, kann bei Stelzlager und Holzrosten eine zusätzliche Reduzierung der Übertragung durch Entkopplungsmaßnahmen (elastische Lagerung auf Baulagern) erreicht werden. Hierzu wird das Entkopplungsmaterial vom Hersteller auf eine geeignete Eigenfrequenz des Aufbaus ausgelegt. Eine gute Entkopplung ist für Eigenfrequenzen $f_0 = 20$ bis 30 Hz zu erwarten. Um eine möglichst geringe Einfederung zu erreichen, wurde bei dem geprüften Aufbau die Eigenfrequenz auf $f_0 < 60$ Hz ausgelegt.

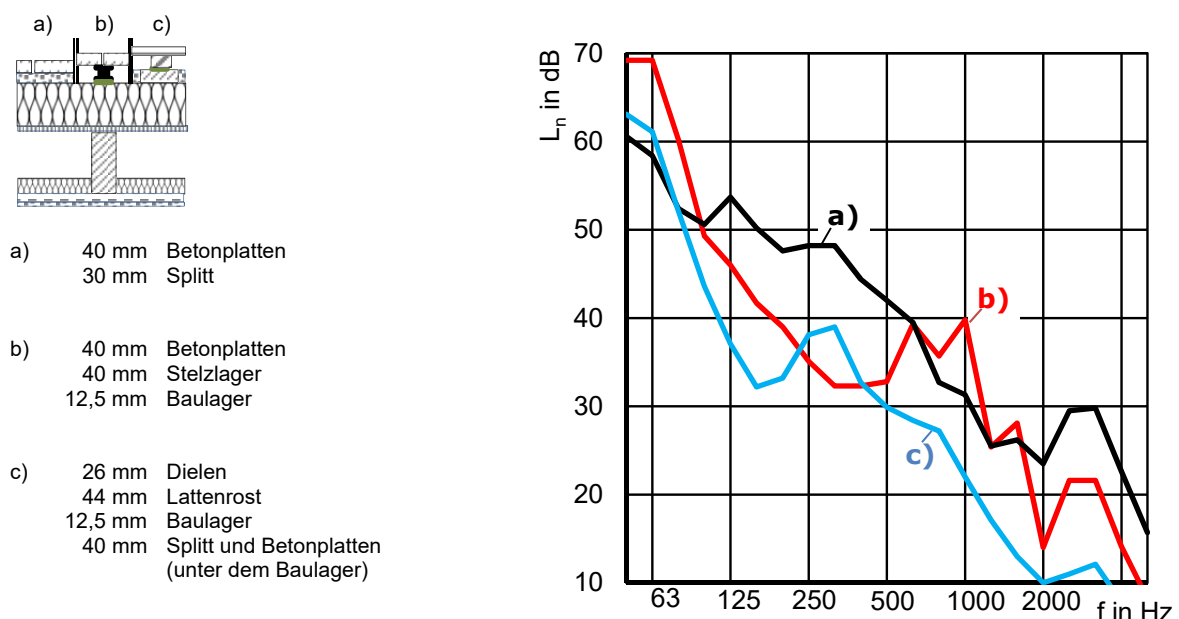


Abbildung 18 Norm-Trittschallpegel unterschiedlicher Aufbauten auf einem Sparren-/ Balkenelement mit abgehängter Unterdecke und 140 mm EPS-Aufdachdämmplatten

a) Betonplatten im Splittbett, $L_{n,w} = 44$ dB

b) Betonplatten auf Stelzlager, Entkopplung durch Baulager, $L_{n,w} = 38$ dB

c) Dielen auf Lattenrost, Entkopplung durch Baulager, Zusatzmasse durch Splitt, $L_{n,w} = 31$ dB

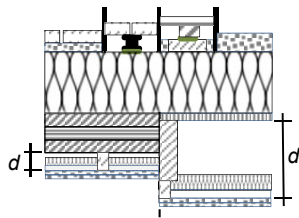
4.2 Unterdecke und raumseitige Bekleidung

Die Bekleidung der Unterdecke erfolgt in der Regel mit Plattenmaterialien. Vorteilhaft ist eine große flächenbezogene Masse bei geringer Biegesteifigkeit der Plattenmaterialien. Anstelle einer dicken sollten deshalb besser mehrere dünne Lagen aufgebracht werden. Mit geschlossenen Gipsbauplatten lassen sich gegenüber Nut-und-Feder-Schalungen auf Grund des geringeren Fugenanteils und der höheren flächenbezogenen Masse deutlich bessere Schalldämm-Maße erreichen.



Unterdecken wirken nach dem „Masse-Feder-Masse-System“, das erst oberhalb seiner Eigenfrequenz f_0 eine deutliche Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung aufweist. Um eine möglichst große Verbesserung zu erzielen ist es deshalb sinnvoll f_0 zu tiefen Frequenzen hin zu verschieben. Dies kann durch die o.g. hohe flächenbezogene Masse der Plattenmaterialien sowie einer entkoppelten Montage der Unterdecke durch geeignete Abhänger erfolgen. Um eine gute Entkopplung zu gewährleisten, sollte nicht mehr als die konstruktiv erforderliche Anzahl an Abhängepunkten ausgeführt werden.

Parallel zum Abhänger wirkt auch das durch die schwingende Unterdecke eingeschlossene und komprimierte Luftvolumen als Feder. Die Steifigkeit dieser Luftschicht hängt vom Volumen bzw. der Luftschichtdicke d ab. Je größer d gewählt wird, umso weicher ist die Feder. Eine abgehängte Unterdecke wirkt deshalb unter einem Sparrendach deutlich besser als unter einem flächigen Massivholzelement (siehe Abbildung 19). Während die Unterdecke am Massivholzelement mit einer Masse-Feder-Masse Resonanz $f_0 \approx 50$ Hz zwar eine deutliche Verbesserung im bewerteten Schalldämm-Maß und im bewerteten Norm-Trittschallpegel ergibt, wird die Übertragung im Frequenzbereich von 50 Hz – 80 Hz durch die Resonanz verstärkt. Eine zum Vergleich eingezeichnete Unterdecke gleicher Bauart unterhalb einer Holzbalkendecke ergibt durch die günstigere Resonanzfrequenz $f_0 \approx 25$ Hz schon ab 50 Hz deutlich bessere Werte. Die Eigenfrequenz des Unterdeckenabhängers betrug in beiden Fällen $f_0 < 30$ Hz.



Unterdeckenaufbau:

65 - 90 mm Direktschwingabhängiger
2 x 12,5 mm GKF, $m' = 2 \times 10 \text{ kg/m}^2$

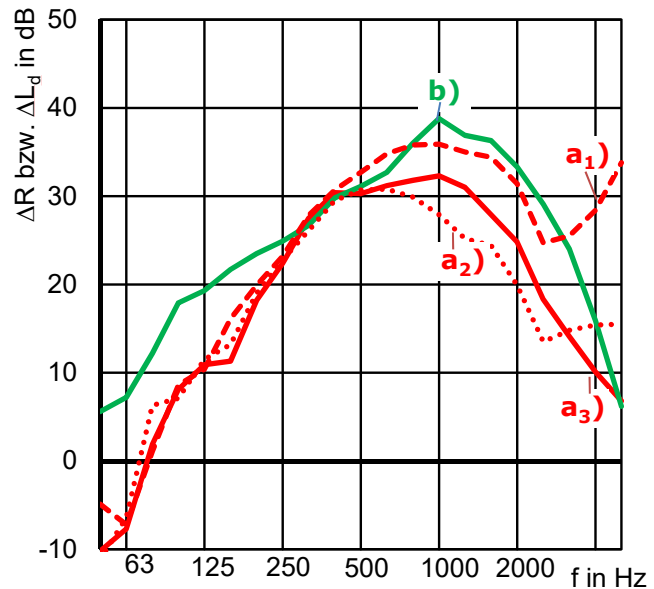


Abbildung 19 Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch Unterdecken mit unterschiedlich großen schalltechnisch wirksamen Luftschichtdicken d zwischen 90mm und 285 mm. Die Eigenfrequenz des Unterdeckenabhängers betrug in beiden Fällen $f_0 < 30 \text{ Hz}$

a) Unterdecke unter Massivholzelement, $d = 90 \text{ mm}$, Masse-Feder-Masse-Resonanz $f_0 \approx 50 \text{ Hz}$

a1: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am Grundelement

a2: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am vollständigen Dachaufbau

a3: Verbesserung der Trittschalldämmung ΔL_d , gemessen am vollständigen Dachaufbau

b) Unterdecke unter Balkenelement, $d = 285 \text{ mm}$, Masse-Feder-Masse-Resonanz $f_0 \approx 25 \text{ Hz}$ aus [26]

5 Berechnungsergebnisse

Zur Beurteilung von Konstruktionsvarianten verschiedener Flachdächer, Dachterrassen und leicht geneigter Dächer werden in Abschnitt 5.1 die von der begleitenden Arbeitsgruppe festgelegten Aufbauten nach dem in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Verfahren prognostiziert. In Abschnitt 5.2 werden die Berechnungsergebnisse von Regengeräuschen für unterschiedliche Bauteile dargestellt und der Zusammenhang zwischen der Schalldämmung und dem Regengeräusch untersucht.

5.1 Luft- und Trittschalldämmung von Aufbauvarianten

In den Aufbauvarianten wurden folgende Einflüsse der Bauteilschichten berücksichtigt:

- Austausch der Federschiene durch eine Lattung (Tabelle 7, Zeile 1)
- Zusätzliche Unterdecke unter einem Massivholzelement (Tabelle 7, Zeile 2)
- Stelzlager ohne Entkopplung durch Baulager (Tabelle 7, Zeile 3)

Die frequenzabhängigen Einflüsse dieser Maßnahmen werden in Abbildung 20 gezeigt (zusätzliche Unterdecke in Abschnitt 4.2, Abbildung 19). Die nach Abschnitt 2.2.1 berechneten Prognoseergebnisse der Aufbauvarianten können Tabelle 7 und Tabelle 8 entnommen werden.

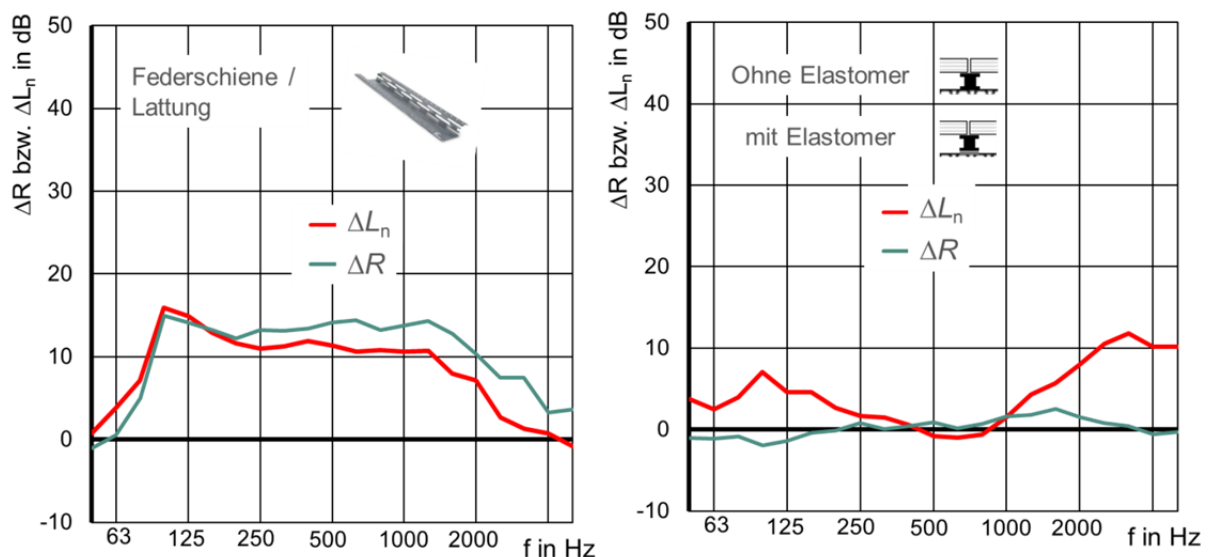
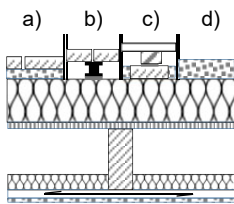
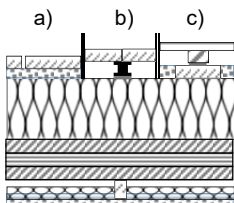
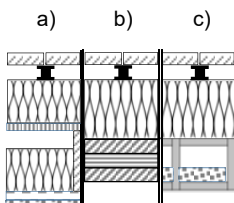
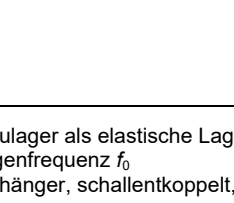


Abbildung 20 Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch Zusatzmaßnahmen.
 Links: Austausch der Lattung gegenüber einer Federschiene als Unterdeckenabhängung [30]
 Rechts: Einsatz eines Baulagers unter den Stelzlägern eines Terrassenbodens

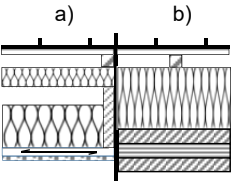
Tabelle 7 Prognosewerte für die Konstruktionsvarianten der Flach- und Terrassendächer
(Varianten gegenüber dem Ausgangszustand mit Fettdruck gekennzeichnet)

Zeile	Bauteil	Dicke d in mm	Grundbauteil	Dicke d in mm	Aufbau	Schalldämm-Maß Norm-Trittschall- pegel
1			Schutzlage und Dachdichtbahn	a)	40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 57 \pm 3 \text{ dB}$ $L_{n,w} = 56 \pm 3 \text{ dB}$
		≥ 140	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)	b)	40 Betonplatten	$R_w = 38 \pm 3 \text{ dB}$
			Luft- und Bauzeitabdichtung		≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 50 \pm 3 \text{ dB}$
		≥ 22	Holzwerkstoffplatte	c)	12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 70 \text{ Hz}$	
		≥ 200	Sparren, $e \geq 625 \text{ mm}$ mit $\geq 50 \text{ mm}$ Faserdämmstoff, $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$		26 Dielen	$R_w = 50 \pm 3 \text{ dB}$
			24 Lattung, $e \geq 500 \text{ mm}$		44 Kantholz, $e \geq 520 \text{ mm}$	$L_{n,w} = 43 \pm 3 \text{ dB}$
			12,5 GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$	d)	12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 60 \text{ Hz}$	
					40 Betonplatten u. Kies	
2			Schutzlage und Dachdichtbahn	a)	40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 71 \pm 3 \text{ dB}$ $L_{n,w} = 45 \pm 3 \text{ dB}$
		≥ 200	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)	b)	40 Betonplatten	$R_w = 60 \pm 3 \text{ dB}$
			Luft- und Bauzeitabdichtung		≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 32 \pm 3 \text{ dB}$
		≥ 140	Massivholzelement (Brettsperrholz, Brettschichtholz, Brettstapel), $m' \geq 63 \text{ kg/m}^2$	c)	12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 70 \text{ Hz}$	
			90 Abhänger²⁾ + CD-Profil, $e \geq 500 \text{ mm}$ mit $\geq 50 \text{ mm}$ Faserdämmstoff, $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$		26 Dielen	$R_w = 72$
			2 x 12,5 GKF, $m' \geq 2 \times 10 \text{ kg/m}^2$		44 Kantholz, $e \geq 520 \text{ mm}$	$L_{n,w} = 31$
					12 Baulager ¹⁾ , $f_0 \leq 60 \text{ Hz}$	(Messwerte)
					40 Betonplatten u. Kies	
3			Schutzlage und Dachdichtbahn	a)	40 Betonplatten	$R_w = 52 \pm 3 \text{ dB}$
		≥ 140	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)	b)	≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 44 \pm 3 \text{ dB}$
			Luft- und Bauzeitabdichtung		ohne Baulager	
		≥ 22	Holzwerkstoffplatte	c)	40 Betonplatten	$R_w = 38 \pm 3 \text{ dB}$
		≥ 200	Sparren, $e \geq 625 \text{ mm}$ mit $\geq 50 \text{ mm}$ Faserdämmstoff, $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$		≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 57 \pm 3 \text{ dB}$
			27 Federschiene, $e \geq 500 \text{ mm}$		ohne Baulager	
			12,5 GKF, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$		40 Betonplatten	$R_w = 49 \pm 3 \text{ dB}$
					≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 50 \pm 3 \text{ dB}$
			Schutzlage und Dachdichtbahn		ohne Baulager	
		≥ 200	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)			
			Luft- und Bauzeitabdichtung			
		≥ 160	Kastenelement gefüllt mit 40 mm Splitt $m'_{\text{ges}} \geq 92 \text{ kg/m}^2$ (Lignatur Flächenelement)			

¹⁾ Baulager als elastische Lagerung (Getzner Sylomer), vom Hersteller ausgelegt auf die angegebene Eigenfrequenz f_0

²⁾ Abhänger, schallentkoppelt, Raster 750 mm x 500 mm, Eigenfrequenz $f_0 \leq 30 \text{ Hz}$

Tabelle 8 Prognosewerte für die Konstruktionsvarianten der flach geneigten Dächer
(Varianten gegenüber dem Ausgangszustand mit Fettdruck gekennzeichnet)

Zeile	Bauteil	Dicke Grundbauteil d (mm)	Dicke Aufbau d (mm)	Schalldämm- Maß
1		60 Aufdachdämmung Typ DAA (WF)	a) Metalleindeckung ¹⁾ , 3 Bitumen Unterdachbahn 24 Schalung 80 Lattung, $e \geq 625$ mm	$R_w = 50 \pm 3$ dB
		≥ 200 Sparren, $e \geq 625$ mm mit ≥ 140 mm Faserdämmstoff, $r \geq 5$ kPa s/m ² 24 Lattung, $e \geq 500$ mm 12,5 GKF, $m' \geq 2 \times 10$ kg/m ²		
2		Luft- und Bauzeitabdichtung ≥ 140 Massivholzelement; $m' \geq 63$ kg/m ² ohne Unterdecke	b) Metalleindeckung ¹⁾ , 3 Bitumen Unterdachbahn 24 Schalung 80 Lattung, $e \geq 625$ mm 200 Aufdachdämmung Typ DAA (WF)	$R_w = 52 \pm 3$ dB

¹⁾ Metalleindeckung, Doppelstehfalzblech, $m' \geq 2$ kg/m²

5.2 Berechnung der Regengeräusche

Mit den in Abschnitt 2.3 beschriebenen Prognosemodellen für die Regengeräusche kann die Schallintensität L_i bzw. der Schalldruckpegel L_p für einschalige und mehrschalige Bauteile berechnet werden.

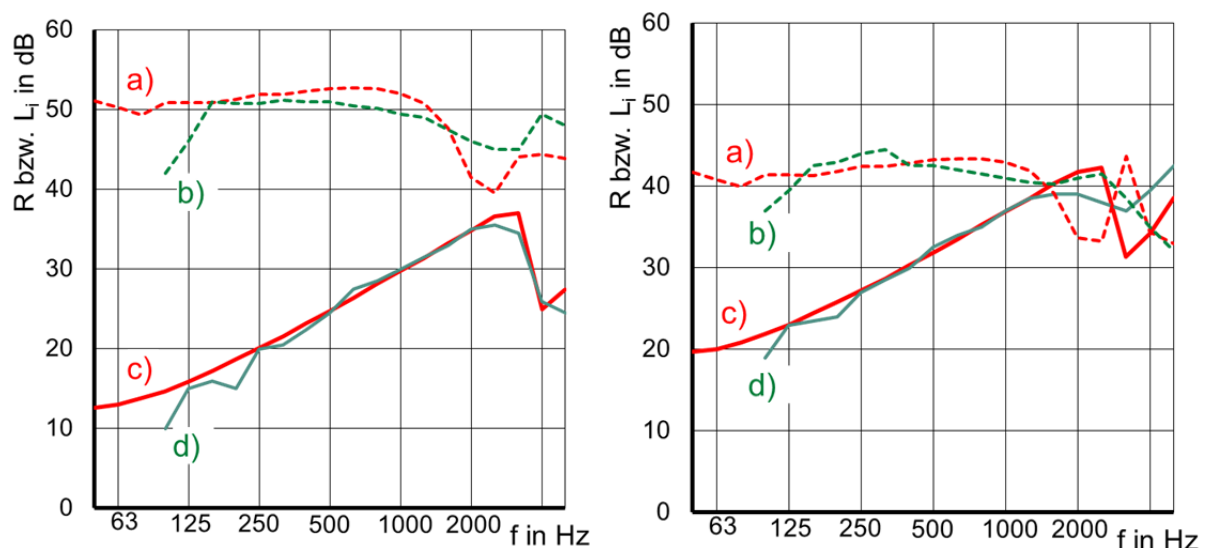


Abbildung 21 Schallintensitätspegel L_i und Schalldämm-Maß R für einschalige Bauteile. Scheibe, $L \times B = 1,230$ m x 1,480 m nach [29]

Links: 3 mm Floatglas, $m' = 8$ kg/m², $f_c = 4000$ Hz, $\eta = 0,02$

Rechts: 6,8 mm VSG- Scheibe, $m' = 17$ kg/m², $f_c = 3150$ Hz, $\eta = 0,02$

a) Berechneter Schallintensitätspegel L_i nach Abschnitt 2.3.3

b) Gemessener Schallintensitätspegel L_i nach [28]

c) Berechnetes Schalldämm-Maß R nach DIN EN ISO 12354 [31]

d) Gemessenes Schalldämm-Maß R nach [28]

Zur Überprüfung des Modells für einschalige Bauteile konnte in [29] auf Messergebnisse von A. Rube [28] zurückgegriffen werden, die sowohl Ergebnisse für die Regengeräusche als auch für das Schalldämm-Maß von unterschiedlichen Bauteilen beinhalten. Zwei Vergleichsrechnungen sind in Abbildung 21 dargestellt.

Die in Abbildung 21 dargestellten frequenzabhängigen Vergleiche für eine 3 mm Floatglas-Scheibe und eine 6,8 mm VSG-Scheibe zeigen sowohl für den Schallintensitätspegel als auch für das Schalldämm-Maß gute Übereinstimmungen zwischen Berechnung und Messung.

Die Berechnungen wurden mit der abgeflachten Ellipsoide als Tropfenform [21] und den in [28] angegebenen Randbedingungen für die Fallhöhe und den Durchmesser durchgeführt. Die Ergebnisse für den Schallintensitätspegel sind stark von diesen Randbedingungen abhängig, wie der Vergleich zwischen der Berechnung mit dem Soll-Durchmesser (5,0 mm) nach [4 und dem bei der Messung [28] vorhandenen Durchmesser (5,9 mm) zeigt.

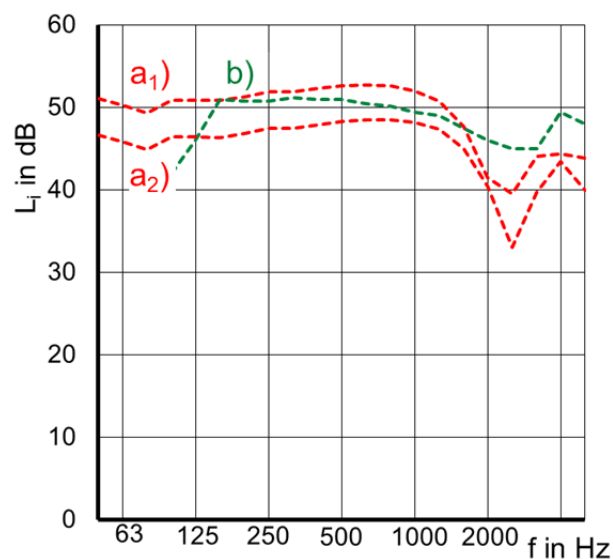


Abbildung 22 Schallintensitätspegel L_I für eine 3 mm Floatglasscheibe, $L \times B = 1,230 \text{ m} \times 1,480 \text{ m}$, $m' = 8 \text{ kg/m}^2$, $f_c = 4000 \text{ Hz}$, $\eta = 0,02$, nach [29]

a₁) Berechneter Schallintensitätspegel L_I für einen Regentropfen-Durchmesser $D = 5,9 \text{ mm}$

a₂) Berechneter Schallintensitätspegel L_I für einen Regentropfen-Durchmesser $D = 5,0 \text{ mm}$

b) Gemessener Schallintensitätspegel L_I nach [28]

Der in Abbildung 22 dargestellte Unterschied im Schallintensitätspegel ist sowohl auf die unterschiedlichen Massen der Regentropfen als auch die unterschiedlichen Fallgeschwindigkeiten zurückzuführen, die sich unter Berücksichtigung der Fallhöhe und Luftreibung

nach [21] einstellen. Für die Anregung mit natürlichem Regen sind somit stark unterschiedliche Ergebnisse in Abhängigkeit der Regenzusammensetzung zu erwarten.

Für die praktische Anwendung ist die in [28] ermittelte, gute Korrelation zwischen dem Schalldämm-Maß des Bauteils und der abgestrahlten Schallintensität bei Regenanregung sehr aufschlussreich (siehe Abbildung 23). Sie bietet die Möglichkeit eine prinzipielle Eignung eines Dachaufbaus auch in Bezug auf die Regengeräusche anhand seines Schalldämm-Maßes zu beurteilen. Zu überprüfen ist nun, in wieweit der gezeigte Zusammenhang auch für komplette Dachaufbauten anwendbar ist. Erste Berechnungsergebnisse in Abbildung 23 weisen darauf hin. Eine frequenzabhängige Validierung des für diese Berechnung benutzten Modells nach Abschnitt 2.3.4 erfolgt derzeit in einer begleitenden Arbeit anhand von Messergebnissen mit Anregung durch natürlichen Regen.

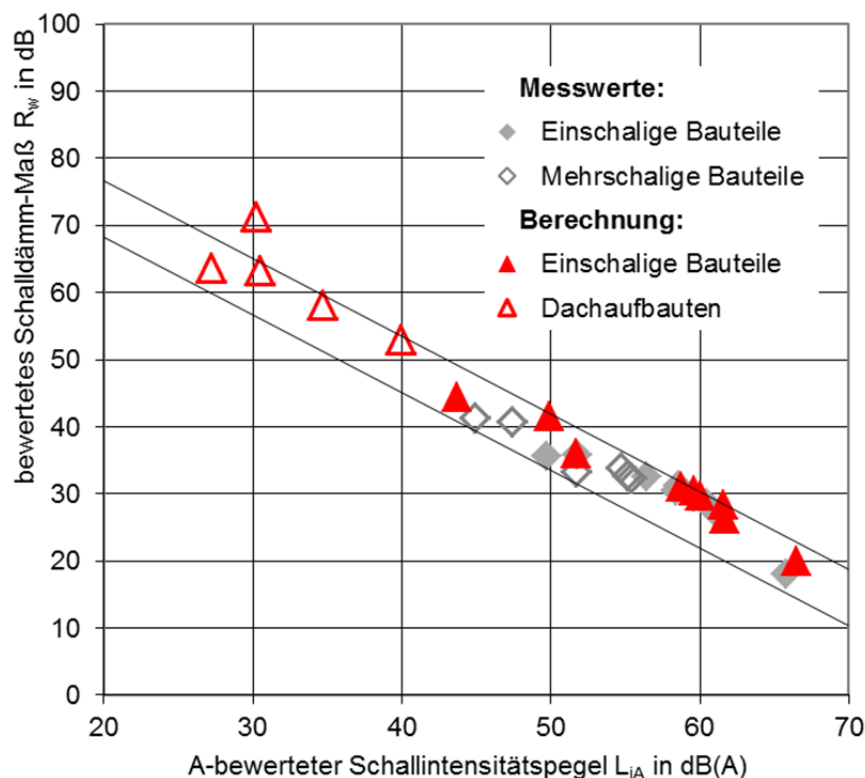


Abbildung 23 Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schallintensitätspegel L_i und dem bewerteten Schalldämm-Maß R_w für unterschiedliche Bauteile. Messwerte nach [28], Berechnung nach Abschnitt 2.3.4 für 40 mm/h Niederschlag mit $D = 5,9$ mm, Fallhöhe: 3,50 m

Aus dem dargestellten Zusammenhang lässt sich nun für das zugrundeliegende Regenereignis der zu erwartende Schalldruckpegel $L_{p,A}$ im Wohnraum abschätzen.

$$L_{p,A} = L_{i,A} + 10 \lg \frac{4S}{A} \quad (45)$$

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A ergibt sich für übliche Wohnräume mit einer (mittleren) Raumhöhe $H = 2,50$ m und einer Nachhallzeit $T = 0,5$ s zu:

$$A = 0,16 \frac{V}{T} \approx 0,16 \frac{2,50 \text{ m } S_G}{0,5 \text{ s}} = 0,8 S_G \quad (46)$$

Wird die schallabstrahlende Dachfläche S ungefähr gleichgroß der Grundfläche S_G des Raumes angenommen, so lässt sich Gleichung (45) wie folgt vereinfachen:

$$L_{p,A} \approx L_{i,A} + 10 \lg \frac{4S}{0,8 S_G} \approx L_{i,A} + 7 \text{ dB} \quad (47)$$



6 Planungsdaten

Um Planungsdaten für die Praxis zur Verfügung stellen zu können, wurden die Messergebnisse des Projektes und zusätzliche Datensätze aus der begleitenden Arbeitsgruppe zu einem Bauteilkatalog zusammengestellt (siehe Abschnitt 6.1). Neben den bauakustischen Planungsdaten wurden in [32] unter Mitwirkung der Arbeitsgruppe auch Hilfestellungen zur Nutzwert-Analyse erarbeitet (siehe Abschnitt 6.2).

6.1 Bauteilkatalog

Der Bauteilkatalog für Flachdächer, Dachterrassen und leichtgeneigte Dächer mit Metalleindeckung wurde in [32] als Basis für die nächste Überarbeitung der DIN 4109-33 und für die Veröffentlichung in [33] erstellt (siehe Anhang C). Eine Übersicht aller Aufbauten für die Flachdächer und Dachterrassen ist in Anhang C, Tabelle 1 zu finden. In Tabelle 2 werden die verwendeten Abkürzungen erläutert und die Materialien mit ihren Eigenschaften beschrieben.

Die Einzahlwerte für den Norm-Trittschallpegel und das Schalldämm-Maß findet man in Anhang C, Tabelle 3 bis 5. Zuerst werden die Varianten für Flachdächer mit begehbaren Dachterrassen in Tabelle 3 aufgelistet. Anschließend werden die Ergebnisse für nicht begehbare Flachdächer in Tabelle 4 und die Werte für flach geneigte Dächer mit Metalleindeckungen in Tabelle 5 aufgeführt.

6.2 Nutzwert – Analyse

Für die Nutzwertanalyse wurden in [32] zunächst Zielkriterien für die Beurteilung der Dachaufbauten erstellt und diese durch die Arbeitsgruppenmitglieder anhand einer Dominanzmatrix gewichtet. Dadurch konnten die Erfüllungsgrade für die einzelnen Dachaufbauten und ihr Gesamtnutzwert ermittelt werden. Tabelle 9 zeigt diese Gewichtung beispielhaft für Flachdächer mit Dachterrassen.

Tabelle 9 Gewichtung der Zielkriterien für Dachterrassen

Zielkriterien	Gewichtung
Schalldämm-Maß R_w	13,33 %
Schalldämm-Maß $R_w + C_{tr,50-5000}$	2,86 %
Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$	23,81 %
Norm-Trittschallpegel $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$	18,10 %
Flächenbezogene Masse m'	7,62 %
Bauteildicke (Gesamt)	17,14 %
Aufbauhöhe (oberhalb Tragelement)	17,14 %

Wie Tabelle 9 zeigt, wurden durch die Arbeitsgruppenmitglieder die Trittschallübertragung der Dachterrassen und die Konstruktionshöhe am stärksten gewichtet. Beim Norm-Trittschallpegel wurde auch die Berücksichtigung des Spektrumanpassungswerts $C_{1,50-2500}$, für wichtig gehalten, um am Bau wahrnehmbare Trittschallübertragung beurteilen zu können. Bei der Konstruktionshöhe spielte die Aufbauhöhe oberhalb der Grundkonstruktion eine wichtige Rolle, um einen barrierefreien Terrassenausgang ermöglichen zu können.

Neben diesen Gewichtungen wurden die einzelnen Bauteilschichten auch bezüglich ihrer Material und Montagekosten bewertet. Durch diese detaillierte Aufschlüsselung der Bauteilschichten lassen sich nun auch einzelne Schichten bezüglich Ihrer schalltechnischen Verbesserung und der dadurch anfallenden Zusatzkosten beurteilen. In Tabelle 10 werden hierzu die im Projekt untersuchten Zusatzmaßnahmen und Ihre Beurteilungswerte gelistet.

Tabelle 10 Verbesserung durch Zusatzmaßnahmen im Verhältnis zu den Mehrkosten pro m^2

Zusatzmaßnahmen	Verbesserung	Mehrkosten pro dB und m^2
Baulager zur Entkopplung der Stelzlager (s. Abbildung 18)	$\Delta R_w \approx 0$ dB $\Delta L_{n,w} \approx 5$ dB $\Delta(L_{n,w} + C_{1,50-2500}) \approx 4$ dB	- 0,40 €/dB m^2 0,50 €/dB m^2
Bitumenbahn als Trennlage unter Metalleindeckung (s. Abbildung 17)	$\Delta R_w \approx 4$ dB $\Delta L_{n,w} \approx 5$ dB ¹⁾	4,00 €/dB m^2 3,00 €/dB m^2
50 – 80 kg/ m^2 Splitt als Beschwerung im Element (s. Abbildung 17,d)	$\Delta R_w \approx 5$ bis 13 dB $\Delta L_{n,w} \approx 9$ bis 14 dB $\Delta(L_{n,w} + C_{1,50-2500}) \approx 3$ bis 7 dB	2,00 bis 6,00 €/dB m^2 2,00 bis 3,00 €/dB m^2 4,00 bis 10,00 €/dB m^2
80 kg/ m^2 Kies auf dem Flachdachelement (s. Abbildung 15)	$\Delta R_w \approx 17$ dB	0,50 €/dB m^2
Unterdecke unter Massivholzelement (s. Abbildung 19)	$\Delta R_w \approx 21$ dB $\Delta L_{n,w} \approx 14$ dB $\Delta(L_{n,w} + C_{1,50-2500}) \approx -5$ dB	2,00 €/dB m^2 3,00 €/dB m^2 -

¹⁾ orientierender Wert für die Reduzierung der Regengeräusche

Wie Tabelle 10 zeigt, weisen die Bekiesung des Dachaufbaus und die Entkopplung des Stelzlagers durch einzelne Elastomer-Pads als Baulager die günstigsten Verhältnisse zwischen Mehrkosten und bauakustischer Verbesserung auf. Beschwerungen im Element und Bitumenbahnen unter Metalleindeckungen wirken gut zur Reduzierung der Trittschallübertragung und zur Bedämpfung der Regengeräusche. Unterdecken unter flächigen Massivholzelementen haben in den geprüften Varianten zwar gute Versesserungen im Einzahlwert ergeben, bewirken aber subjektiv eine Verschlechterung in der Trittschalldämmung. Ein Verhältnis der Mehrkosten gegenüber der Verbesserung ist deshalb nicht darstellbar.



7 Zusammenfassung und Ausblick

Der zunehmende Anteil an Mehrgeschossern in Holzbauweise und leichten Aufstockungen im urbanen Bereich, fordert Planungswerte für die dort eingesetzten Bauteile. Insbesondere für die dort häufig verwendeten Flachdächer und leichtgeneigten Dächer lagen bislang kaum Planungsdaten vor. Ebenso fehlen erprobte Konstruktionen für die Ausführung von Dachterrassen, die neben den üblichen Luftschallanforderungen auch den Anforderungen an die Trittschalldämmung genügen müssen. Die maßgebliche Zielsetzung des Projektes bestand deshalb in der Erarbeitung von Planungsunterlagen für verschiedene Konstruktionsvarianten von Flachdächern, Dachterrassen und leicht geneigten Dächern für diese Einsatzbereiche. Hierzu wurden zunächst in enger Abstimmung mit der projektbegleitenden Arbeitsgruppe Dachaufbauten festgelegt, die den Anforderungen an den Schallschutz genügen könnten, sowie den weiteren Leistungseigenschaften wie Wärme- und Feuchteschutz entsprechen.

Die bauakustische Prüfung der festgelegten Aufbauten ergab erfreulich gute Werte und Planungsdaten für die Luft- und Trittschalldämmung, die nun als Vorlage für die Überarbeitung des Bauteilkatalogs der DIN 4109-33 zur Verfügung stehen und bereits Eingang in verschiedene Veröffentlichungen gefunden haben. Neben den empirischen Untersuchungen der Dachelemente wurden auch die vorhandenen Prognosemodelle zusammengestellt und weiterentwickelt, um sowohl nicht geprüfte Konstruktionsvarianten prognostizieren zu können als auch Aussagen über die zu erwartenden Regengeräusche der Dachaufbauten treffen zu können.

Anhand der Messergebnisse zur Luft- und Trittschalldämmung konnte auch der Einfluss einzelner Bauteilschichten analysiert werden. Zu nennen ist hier die Entkopplung des Dachterrassenaufbaus durch Baulager, die Entkopplung der Unterdecke durch Federstreifen oder Abhänger und die Bedämpfung der Metalleindeckung durch bituminöse Trennlagen. Neben der Entkopplung wurden Zusatzmassen in Form von Splittschüttungen im Element oder Kies auf der Flachdachdämmung untersucht. Auch unterhalb des Dachterrassenaufbaus mit Dielenboden kam eine Beschwerung zum Einsatz. Neben der schalltechnischen Analyse erfolgte für diese Schichten auch eine Nutzwertanalyse, in der die erreichten bauakustischen Verbesserungen den dadurch entstehenden Mehrkosten gegenübergestellt wurden.

Überraschende Ergebnisse boten die im Gründachbereich erforderlichen Dränelemente und Speicherschutzmatten. Erste Ergebnisse zeigten eine deutliche Reduzierung der Schalldämmung beim Einsatz dieser Elemente, die noch weiter untersucht werden sollte. Weiterer Bedarf besteht in der Entwicklung schalltechnisch wirksamer abgehängter Unterdecken, die gleichzeitig den Anforderungen einer wirtschaftlich vertretbaren Abhänghöhe entsprechen und in der Überprüfung des vorgeschlagenen Prognosemodells für die Flankenübertragung in der Bausituation.



8 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 10140-1:2016, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte, Dezember 2016
- [2] DIN EN ISO 10140-2:2010, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung, Dezember 2010
- [3] DIN EN ISO 10140-3:2010 + A1:2015, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 3: Messung der Trittschalldämmung, November 2015
- [4] DIN EN ISO 10140-5:2010 + A1:2014, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen, September 2014
- [5] DIN EN ISO 717-1:2013, Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung, Juni 2013
- [6] DIN EN ISO 717-2:2013, Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung, Juni 2013
- [7] DIN EN 29052-1:1992, Bestimmung der dynamischen Steifigkeit – Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden, August 1992
- [8] DIN EN 29053:1993, Materialien für akustische Anwendungen - Bestimmung des Strömungswiderstandes, Mai 1993
- [9] Weber, L., Rube, A., Koehler, M., Zusammenhang zwischen Regengeräuschen und Schalldämmung bei leichten Dachelementen, DAGA 2012, Darmstadt, 71-72
- [10] Guigou-Carter, C., Villot, M., Horlville, C., „study of simulated rainfall noise on roofs and glazings“, PACS reference 43.40-r, CSTB, 2002
- [11] Griffin, D., Ballagh, K., A Consolidated Theory for Predicting Rain Noise, BUILDING ACOUSTICS, 19, 2012, 221–248
- [12] Ballagh, K.; „Noise of simulated rainfall on roofs“, Applied Acoustics 31, 1990.
- [13] McLoughlin, J. , Saunders, J. D., Ford, R. D., „Noise generated by simulated rainfall on profiled steel roof structures“, Applied Acoustics 42, 1993
- [14] Suga H., Tachibana, H., „Sound radiation characteristics of lightweight roof constructions excited by rain“, Building Acoustics, Vol. 1, Issue 4, 1994
- [15] Dubout, P., „The sound of rain on a steel roof“, Journal of Sound and Vibration 10 (1), 1969
- [16] Marshall, J.S., Palmer, W. McK., „The distribution of raindrops with size“, Journal of Meteorology, Volume 5, August 1948
- [17] Naßhan, K., „comparison of artificial and natural rainfall“, NAG/DAGA, Rotterdam, 2009
- [18] Moorhouse, A., „virtual acoustic prototype techniques applied to the simulation of noise from rainfall on skylights“, ICA Madrid September 2007
- [19] Chéné J.-B., Guigou-Carter, C., Foret, R., Langager L., „Mesure et prediction du bruit de pluie sur des systems multicouches“. 10ème Congrès Francais d'Acoustique, April 2010
- [20] Yu, Y., Hopkins, C., „Validation of a wavelet deconvolution method for experimental determination of the force applied by liquid water drops“
- [21] Yu, Y., Hopkins, C., „Experimental determination of forces applied by liquid water drops at high drop velocities impacting a glass plate with and without a shallow water layer using wavelet deconvolution“, Experiments in Fluids (2018) 59:84
- [22] Petersson, B.A.T., „The liquid drop impact as a source of sound and vibration“, Loughborough University, December 1996

- [23] Griffin, D., „Accuracy of prediction methods for rain noise levels“, inter.noise, Hamburg 2016
- [24] Cremer, L., Heckl, M.
Körperschall – physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, Berlin, Verlag Springer ISBN 3-540-54631-6 1996
- [25] DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau
Teil 1: Mindestanforderungen
Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
DIN 4109-33:2016-07 Schallschutz im Hochbau
Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau
- [26] Rabold, A., Mecking, S., Huber, A., Kohrmann, M., „Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen“, Teilbereich Bauakustik, Forschungsprojekt Technische Hochschule Rosenheim, in Bearbeitung
- [27] Thiele, U., „Weine nicht, wenn der Regen zerfällt“, Physik Journal 8 (2009), Nr. 10, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- [28] Rube, A., „Messung von Regengeräuschen nach DIN EN ISO 140-18, Vergleich von Schalldämmung und Regengeräuschpegel für verschiedene Bauteile,“ Abschlussarbeit Hochschule für Technik Stuttgart und Fraunhofer IBP, Stuttgart, 2011
- [29] Martin, M., „Prognose von Regengeräuschen aus der Anregungskraft der Regentropfen,“ Abschlussarbeit Technische Hochschule Rosenheim, 2019
- [30] Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Bacher, S., Ergänzende Deckenmessungen zum laufenden Vorhaben: Integration des Holz- und Skelettbbaus in die neue DIN 4109, Forschungsbericht ift Rosenheim, 2005
- [31] DIN EN ISO 12354-1:2017-11, Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen
- [32] Ecker, T., Erarbeitung eines Bauteilkatalogs für den Schallschutz von Flachdächern zur Verwendung in der Fachliteratur u. Normung mit wirtschaftlichem Vergleich in Form einer Nutzwert-Kosten-Analyse, Bachelorarbeit TH Rosenheim, 2019
- [33] Blödt, A., Rabold, A., Halstenberg, M., Ecker, T., Huber, A., Huissel, L., Löffler, S., Scheuerpflug, M., Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung, holzbau handbuch, REIHE 3, TEIL 3, FOLGE 1, Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2019
- [34] Rabold, A., Anwendung der Finite Element Methode auf die Trittschallberechnung. Dissertation, Technische Universität München, 2010

9 Danksagung

Das diesem Forschungsbericht zugrundeliegende Vorhaben wurde dankenswerter Weise mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.41). Das Forschungsprojekt wurde durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe aus Beratern und Industriepartnern betreut, die das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützten und somit maßgeblich zum Gelingen beitrugen. Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe gilt besonderer Dank:

	Forschungsinitiative Zukunft Bau Kisseler, S.
	BDF Müller, M.
	Holzbau Deutschland Schmidt-Hieber, F.
	Alwitra Löcherbach, J.
	Lignotrend Rupprecht, M.
	Lignatur AG Schläpfer, R.
	Prefa Kirchmayr, H., Hanf, K

	Stora Enso Kumer, N.
	Regnauer Sebald, S.
	Getzner Wiederin, S.

Anlage A Materialliste

	Hersteller Produktbezeichnung Material	Technische Daten
Abhänger	Knauf Gips KG Knauf VF-Abhänger 8 / Knauf VF-Abhänger 25 Stahlblechabhänger mit Elastomer	
Alu-Bänder	PREFA Aluminiumprodukte Ges. m. b. H. Dacheindeckung mit PREFALZ Farbaluminiumband Aluminium Dacheindeckung aus PREFALZ Farbaluminiumbändern mit Doppelstehfalz, verdeckt mit Winkel-Festhafte befestigt	d = 0,7 mm m' = 2,3 kg/m ²
Baulager	Getzner Werkstoffe GmbH Sylomer SR 85-12 Elastomer aus gemischtzelligem Polyurethan 80 mm × 60 mm Ø = 150 mm	d = 12 mm f ₀ ≤ 60 Hz f ₀ ≤ 70 Hz
Bautenschutzmatte	BSW Berleburger Schaumstoffwerk GmbH Regupol resist 9510 Bautenschutzmatte aus PUR-gebundenem Butylkautschuk	d = 6 mm
Balken	Konstruktionsvollholz aus Nadelholz, 80 mm × 220 mm	
Betonplatten	Casafino Gehwegplatte Betonplatten 400 mm × 400 mm, mit ca. 7 mm Kreuzfugen auf Stelzlager oder im Splitt als Belag	d = 40 mm m' ≥ 90 kg/m ²
Bitumen-Unterdachbahn	Paul Bauder GmbH & Co. KG BauderTOP UDS 3 nahtselbstklebende Bitumen-Unterdachbahn	d = 3 mm m' ≥ 3 kg/m ²
Brettsperrholz	Stora Enso Wood Products GmbH CLT L5s Brettsperrholzelemente aus Nadelholz, 5-lagig	d = 140 mm m' ≥ 67 kg/m ²
Brettsperrholz-Kastenelemente	Lignotrend Produktions GmbH LIGNO Block Q3 Akustik Z1 Brettsperrholz-Kastenelemente mit unterseitiger Akustikprofilierung	d = 196 mm m' = 62,7 kg/m ²
Brettsperrholz-Rippenelemente	Lignotrend Produktions GmbH LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1 Brettsperrholz-Rippenelemente mit unterseitiger Akustikprofilierung und Splittfüllung	d = 196 mm m' = 145 kg/m ²
CD-Profile	Knauf Gips KG Knauf CD-Profil 60/27/06 CD-Profile aus Stahlblech; Unterkonstruktion für Unterdecke in Verbindung mit Direktschwingabhängern; Achsabstand e = 500 mm	
Direktschwingabhängiger	Knauf Gips KG Knauf Direktschwingabhängiger für CD 60/27 Abhänger aus Stahlblech mit Gummiformteil zu Schallentkopplung	
Drän- und Wasserspeicherelement	ZinCo GmbH Floradrain FD 25 Druckstabiles, niedriges Drän- und Wasserspeicherelement aus tiefgezogenem RC-Polyolefin	d = 25 mm m' = 1,7 kg/m ²
EPDM-Dachbahn	alwitra GmbH & Co. Klaus Göbel EVALASTIC V EPDM-Bahn, unterseitig vlieskaschiert	d = 2,5 mm m' = 1,96 kg/m ²
EPS Flachdachdämmplatten	Karl Bachl Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG BACHL Flachdach-Dämmplatte EPS 035 DAA dh Flachdach-Dämmplatte aus EPS mit Stufenfalz	d = 140 mm m' = 2,40 kg/m ² s' = 52 MN/m ³
EPS Flachdachdämmplatten	Karl Bachl Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG BACHL Flachdach-Dämmplatte EPS 035 DAA dh Flachdach-Dämmplatte aus EPS mit Stufenfalz	d = 200 mm m' = 3,48 kg/m ² s' = 30 MN/m ³
EVA-Dachbahn	alwitra GmbH & Co. Klaus Göbel EVALON V EVA-Bahn, unterseitig vlieskaschiert	d = 2,5 mm m' = 2,0 kg/m ²

Federschiene	Knauf Gips KG Knauf Federschiene 60/27/06 Federschiene 60 mm × 27 mm aus Stahlblech; mit ca. 1 mm Luft in der Verschraubung montiert; Achsabstand e = 500 mm	
Filtervlies	ZinCo GmbH Systemfilter SF Geotextil aus thermisch verfestigtem Polypropylen, eingesetzt als Filtervlies über Dränelementen	d = 0,6 mm m' = 0,1 kg/m ²
Glattkantbretter	Glattkantbretter aus Nadelholz (Lärche); 140 mm × 26 mm; 4-seitig gehobelt; mit ca. 10 mm Fugen auf Kanthölzer geschraubt	d = 26 mm m' = 15,9 kg/m ²
Gipskartonfeuer-schutzplatte	Knauf Gips KG Feuerschutzplatte Knauf Piano GKF Gipskartonfeuerschutzplatte	d = 12,5 mm m' = 10,0 kg/m ²
Gipskartonfeuer-schutzplatte	Knauf Gips KG Knauf Massivbauplatte Gipskartonfeuerschutzplatte	d = 25 mm m' = 20,2 kg/m ²
Holzfaserdämmplat-ten	STEICO SE STEICObase druckfeste Holzfaserdämmplatte	d = 60 mm □ = 285 kg/m ³ r = 1402 kPa·s/m ² s' = 93 MN/m ³
Holzfaserdämmplat-ten	STEICO SE STEICOtherm Holzfaserdämmplatte	d = 100 mm □ = 177 kg/m ³ r = 311 kPa·s/m ² s' = 13 MN/m ³
Kanthölzer	Unterkonstruktion Holzterrasse Kanthölzer aus Nadelholz (Lärche) ; 66 mm × 44 mm; 4-seitig gehobelt; Achsabstand e ≥ 500 mm	
Kanthölzer	Unterkonstruktion Blechdach Kanthölzer aus Nadelholz (Fichte); 80 mm × 80 mm , jede zweite Latte durch Dämmung in Tragwerk verschraubt mit Achsabstand e ≥ 600 mm	
Kies	Kies Körnung 4/16 angegebenen Schütthöhe und flächenbezogenen Masse	
Latten	Latten aus Nadelholz (Fichte); 60 mm × 30 mm; Unterkonstruktion für Unterdecke in Verbindung mit VF-Abhängern; Achsabstand e ≥ 625 mm	
LIGNATUR Flächenelemente	Lignatur AG LIGNATUR-Flächenelement LFE 240 Dachelemente aus Nadelholz gefüllt mit Splitt	d = 240 mm m' = 92,4 kg/m ²
	Lignatur AG LIGNATUR-Flächenelement LFE 240 Akustik Typ 3.1 ZL Dachelemente aus Nadelholz mit Zusatzlamelle und unterseitiger Akustiklochung leer gefüllt mit Splitt	d = 240 mm m' = 57,2 kg/m ² m' = 107,2 kg/m ²
Mineralischer Schütt-stoff	ZinCo GmbH Mineralsubstrat „Zincolit“ Mineralischer Schüttstoff für Dachbegrünungen als ungebundene Schüttung	d = 80 mm m' = 96,7 kg/m ²
MW-Dämmung	Knauf Insulation GmbH Trennwand-Dämmrolle TI 140 T Dämmfilz aus Glaswolle	d = 40 mm □ = 17,2 kg/m ³ r = 10 kPa·s/m ²
MW-Dämmung	SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG ISOVER Akustic TP 1 Trennwand-Platte aus Glaswolle	d = 60 mm □ = 13,5 kg/m ³ r = 9 kPa·s/m ²
MW-Dämmung	SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG Integr ZKF 1-035 Zwischensparren-Klemmfilz aus Glaswolle	d = 140 mm □ = 20,2 kg/m ³ r = 24 kPa·s/m ²
OSB/3	SWISS KRONO GmbH SWISS KRONO OSB/3	d = 22 mm m' = 12,9 kg/m ²
OSB/4	Sonae Arauco Deutschland AG Agepan OSB 4 PUR	d = 25 mm m' = 15,5 kg/m ²
PUR/PIR-	Karl Bachl Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG	d = 140 mm

Flachdachdämmplatten	BACHL PUR/PIR Dämmplatte ALU - Flachdach Flachdach-Dämmplatte aus PUR mit beidseitiger Alukaschierung und Stufenfalz	$m' = 4,8 \text{ kg/m}^2$ $s' = 28 \text{ MN/m}^3$
Schalung	Unterkonstruktion Blechdach Bretter aus Nadelholz (Fichte), sägerauh mechanisch auf Kanthölzern befestigt	$d = 24 \text{ mm}$ $m' = 11,2 \text{ kg/m}^2$
Speicherschutzmatte	ZinCo GmbH Speicherschutzmatte SSM 45 Wasser- und Nährstoff speichernde Synthesefasermatte aus Polyester/Polypropylen zum Einsatz als Schutzlage unter Dachbegrünung	$d = 5 \text{ mm}$ $m' = 0,47 \text{ kg/m}^2$
Splitt	Ungebundene Schüttung Splitt, Körnung 5/8 mit der angegebenen Schütthöhe und flächenbezogenen Masse	
Steinwolle-Dachdämmplatten	DEUTSCHE ROCKWOOL GmbH & Co. KG Dachdämmplatte Hardrock 040	$d = 100 \text{ mm}$ $\rho = 159 \text{ kg/m}^3$ $r = 85 \text{ kPa}\cdot\text{s/m}^2$ $s' = 20 \text{ MN/m}^3$
Stelzlager	alwitra GmbH & Co. Klaus Göbel alwitra Terrassen-Stelzlager PA 20 plus aus temperatur- und alterungsbeständigem Polypropylen (PP-H GF30) höhenverstellbar, $\varnothing = 150 \text{ mm}$	
Vakuum-Isolations-Paneel	Vaku-Isotherm GmbH UltraVIP Terrassendämmung Vakuum-Isolations-Paneel mit 15 mm PUR-Decklage und unterseitiger 3 mm Gummigranulatmatte	$d = 58 \text{ mm}$ $m' = 11 \text{ kg/m}^2$ $s' = 49 \text{ MN/m}^3$
	d Materialdicke f_0 Eigenfrequenz m' Flächenbezogene Masse ρ Rohdichte r Längenbezogener Strömungswiderstand s' Dynamische Steifigkeit	

Anlage B Messergebnisse

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

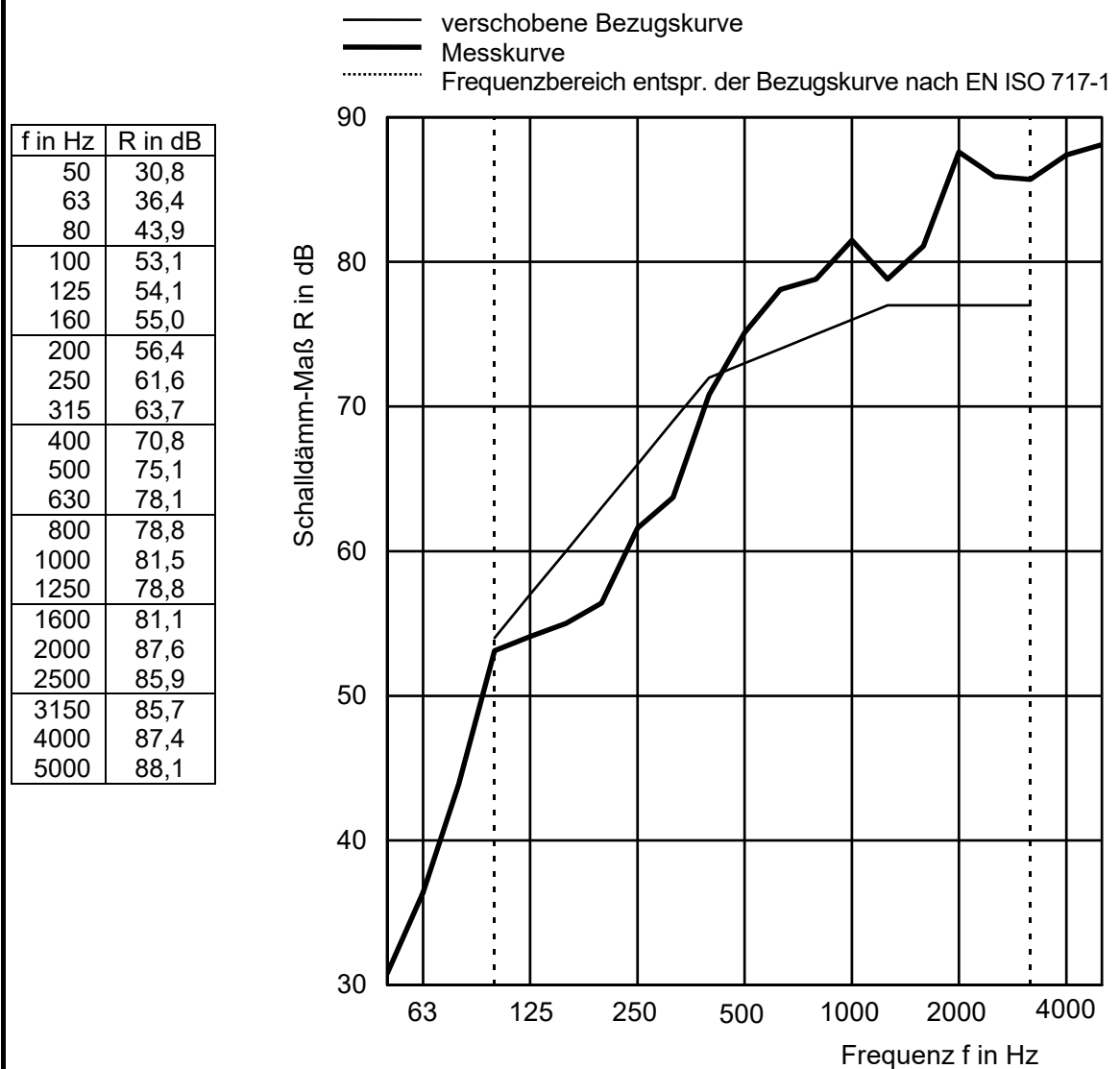
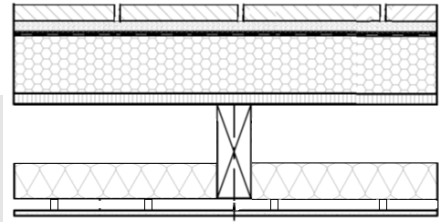
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 140 mm EPS Flachdachdämmplatten

Messung-Nr.: 01

Prüfdatum 4. Mai 2018

25 mm OSB-4 Platte
 220 mm Balken 80/220, e = 625 mm
 40 mm MW-Dämmung, zwischen Balken
 15 mm Abhänger VF8/VF25/VF8, e = 1160 mm
 30 mm Latten 60/30, e = 625 mm
 25 mm Gipskartonfeuerschutzplatten



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 73 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -7 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -6 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -19 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -19 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

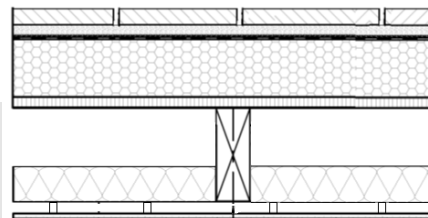
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
140 mm EPS Flachdachdämmplatten

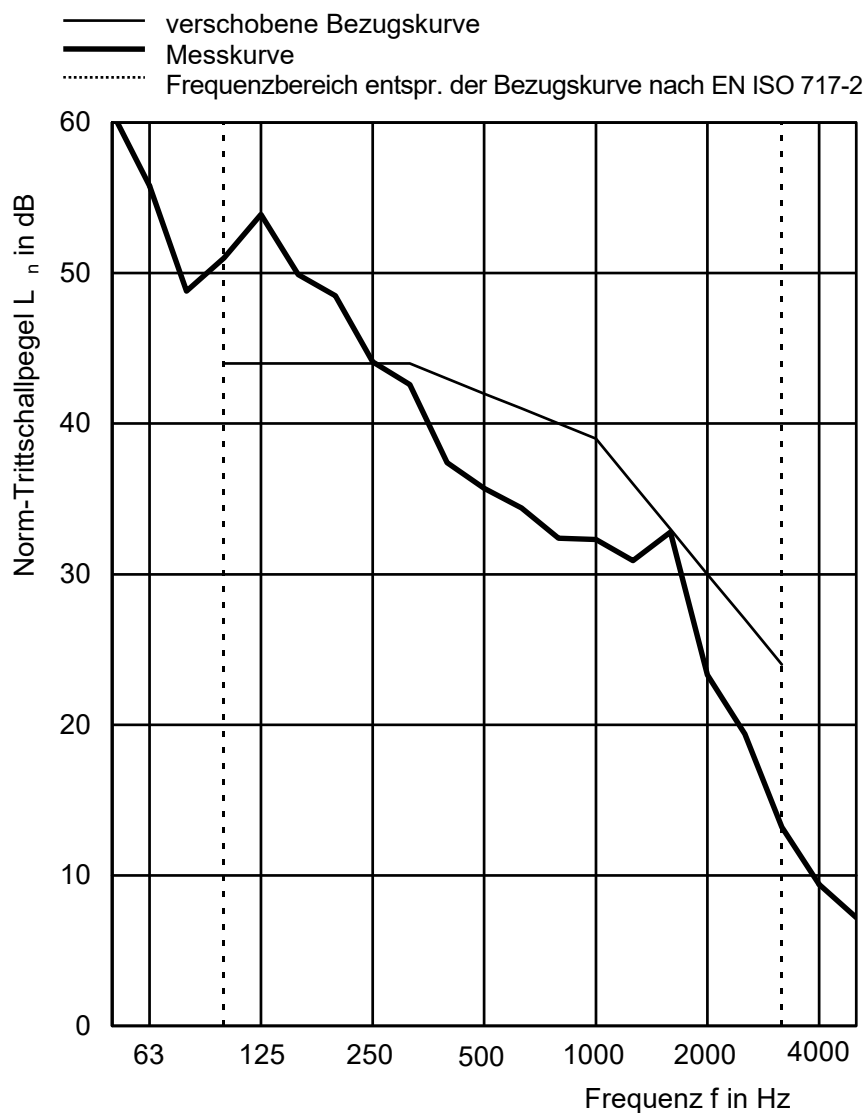
25 mm OSB-4 Platte
220 mm Balken 80/220, e = 625 mm
40 mm MW-Dämmung, zwischen Balken
15 mm Abhänger VF8/VF25/VF8, e = 1160 mm
30 mm Latten 60/30, e = 625 mm
25 mm Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 01_TS

Prüfdatum 4. Mai 2018



f in Hz	L _n in dB
50	60,7
63	55,8
80	48,8
100	51,0
125	53,9
160	49,9
200	48,5
250	44,1
315	42,6
400	37,4
500	35,7
630	34,4
800	32,4
1000	32,3
1250	30,9
1600	32,8
2000	23,3
2500	19,4
3150	13,2
4000	9,4
5000	7,2



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C₁) = 42 (1) dB

C_{1,50-2500} = 6 dB

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

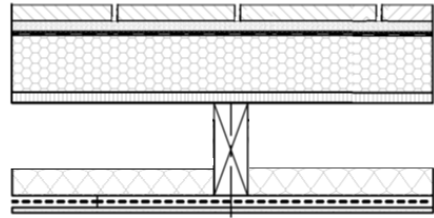
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 140 mm EPS Flachdachdämmplatten

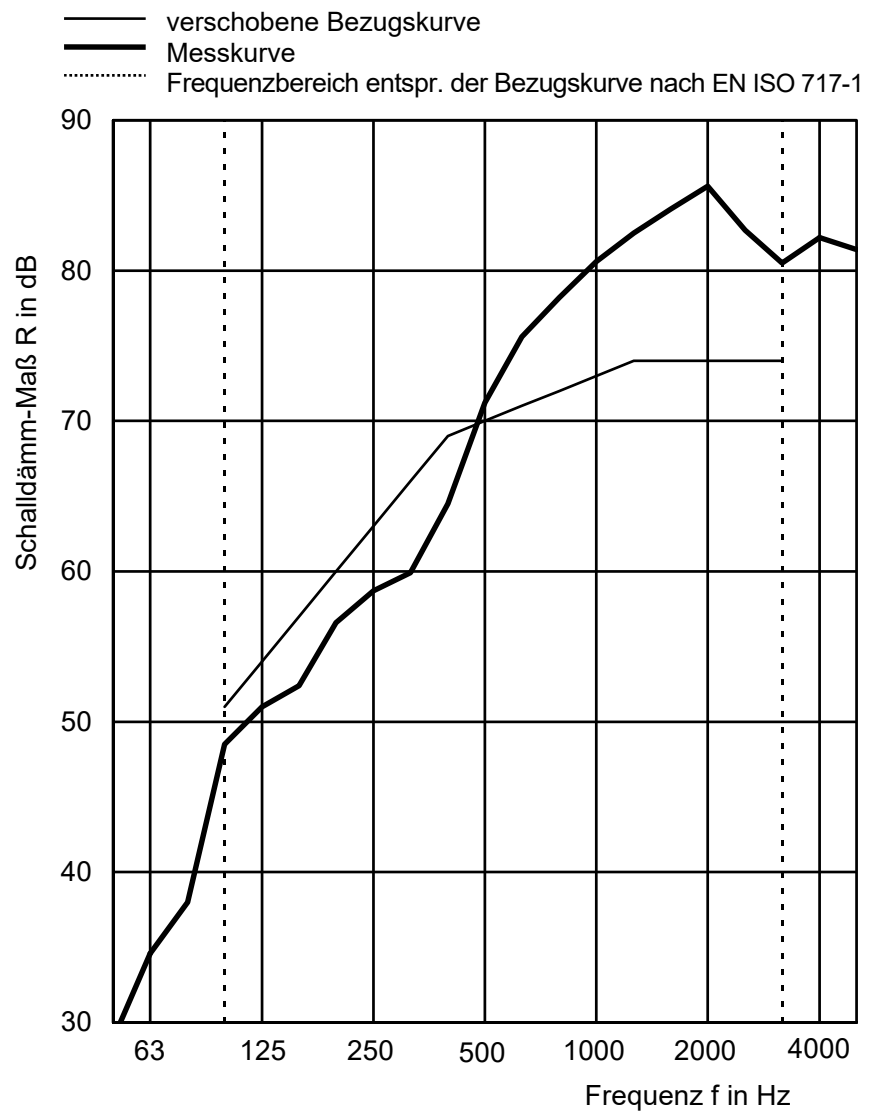
25 mm OSB-4 Platte
 220 mm Balken 80/220, e = 625 mm
 40 mm MW-Dämmung, zwischen Balken
 28 mm Federschienen 60/27, e = 500 mm
 mit 1 mm Abstand locker verschraubt
 12,5 mm Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 02

Prüfdatum 8. Mai 2018



f in Hz	R in dB
50	28,9
63	34,6
80	38,0
100	48,5
125	51,0
160	52,4
200	56,6
250	58,7
315	59,9
400	64,5
500	71,2
630	75,6
800	78,2
1000	80,6
1250	82,5
1600	84,1
2000	85,6
2500	82,7
3150	80,5
4000	82,2
5000	81,4



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 70 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -6 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -5 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -19 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -19 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

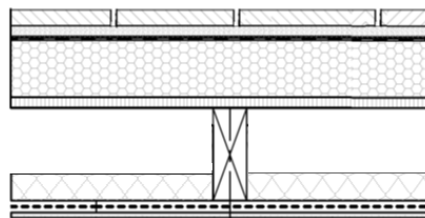
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
140 mm EPS Flachdachdämmplatten

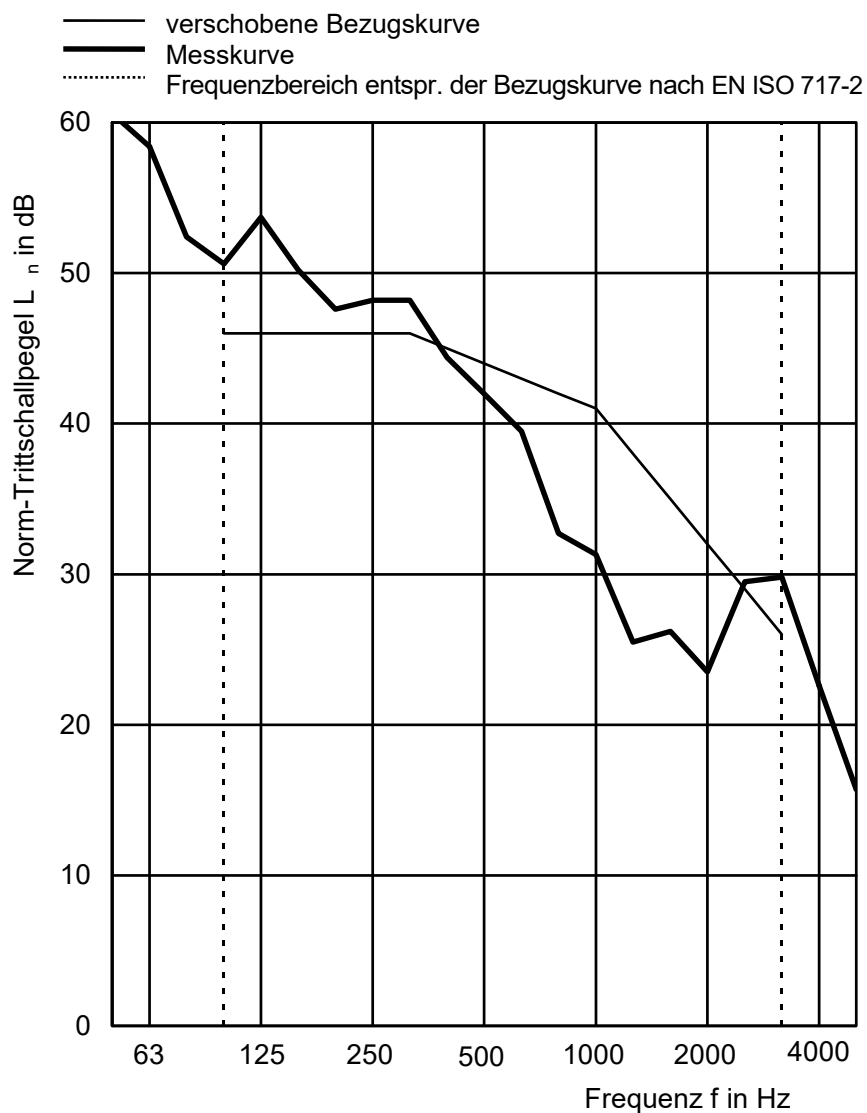
25 mm OSB-4 Platte
220 mm Balken 80/220, e = 625 mm
40 mm MW-Dämmung, zwischen Balken
28 mm Federschienen 60/27, e = 500 mm
mit 1 mm Abstand locker verschraubt
12,5 mm Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 02_TS

Prüfdatum 8. Mai 2018



f in Hz	L _n in dB
50	60,6
63	58,4
80	52,4
100	50,6
125	53,7
160	50,2
200	47,6
250	48,2
315	48,2
400	44,4
500	42,0
630	39,5
800	32,7
1000	31,3
1250	25,5
1600	26,2
2000	23,5
2500	29,5
3150	29,8
4000	22,6
5000	15,7



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C₁) = 44 (-1) dB

C_{1,50-2500} = 5 dB

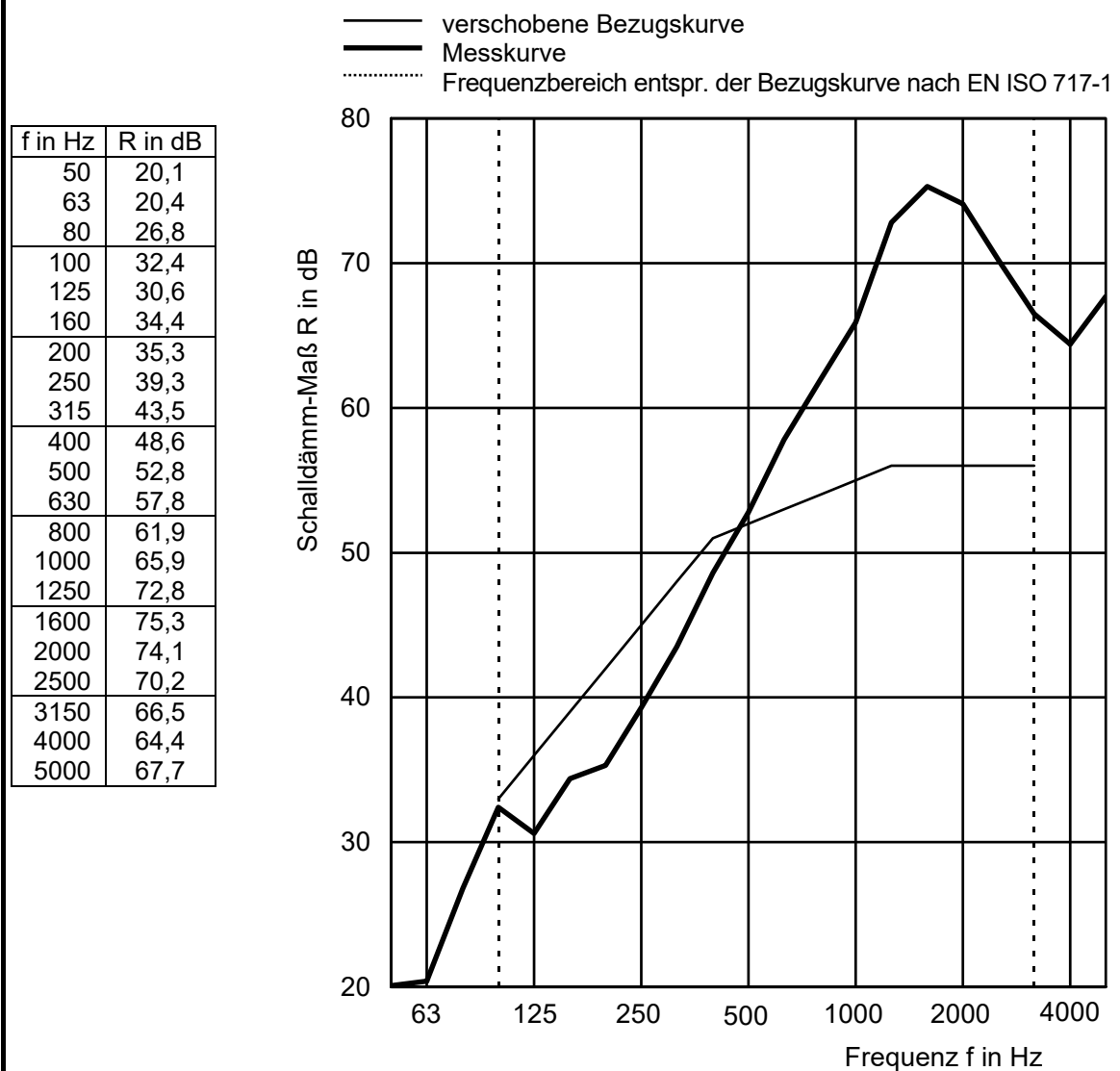
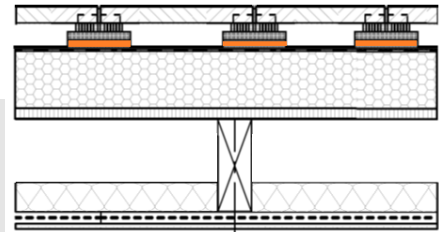
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Stelzlager
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
140 mm	EPS Flachdachdämmplatten
25 mm	OSB-4 Platte
220 mm	Balken 80/220, e = 625 mm
40 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
28 mm	Federschienen 60/27, e = 500 mm mit 1 mm Abstand locker verschraubt
12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 03

Prüfdatum 9. Mai 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 52 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -4 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -13 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -13 \text{ dB}$

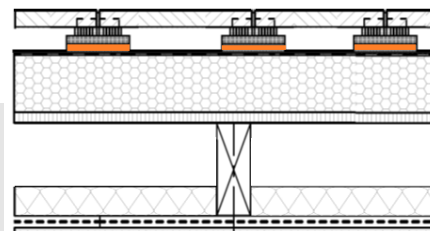
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

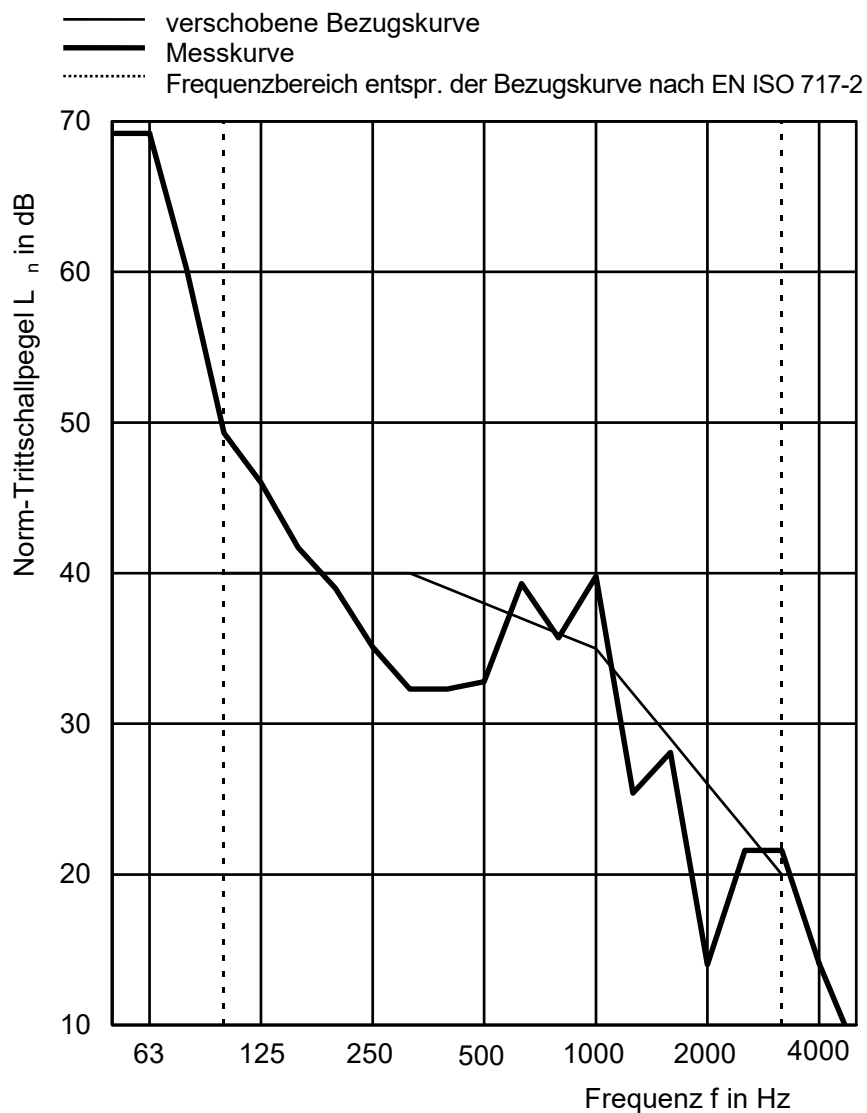
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
140 mm	EPS Flachdachdämmplatten
25 mm	OSB-4 Platte
220 mm	Balken 80/220, e = 625 mm
40 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
28 mm	Federschienen 60/27, e = 500 mm mit 1 mm Abstand locker verschraubt
12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 03_TS

Prüfdatum 9. Mai 2018



f in Hz	L _n in dB
50	69,2
63	69,2
80	60,2
100	49,3
125	46,0
160	41,7
200	39,0
250	35,1
315	32,3
400	32,3
500	32,8
630	39,3
800	35,7
1000	39,8
1250	25,4
1600	28,1
2000	14,0
2500	21,6
3150	21,6
4000	14,1
5000	8,2



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

$L_{n,w} (C_1) = 38 (0) \text{ dB}$ $C_{1,50-2500} = 20 \text{ dB}$

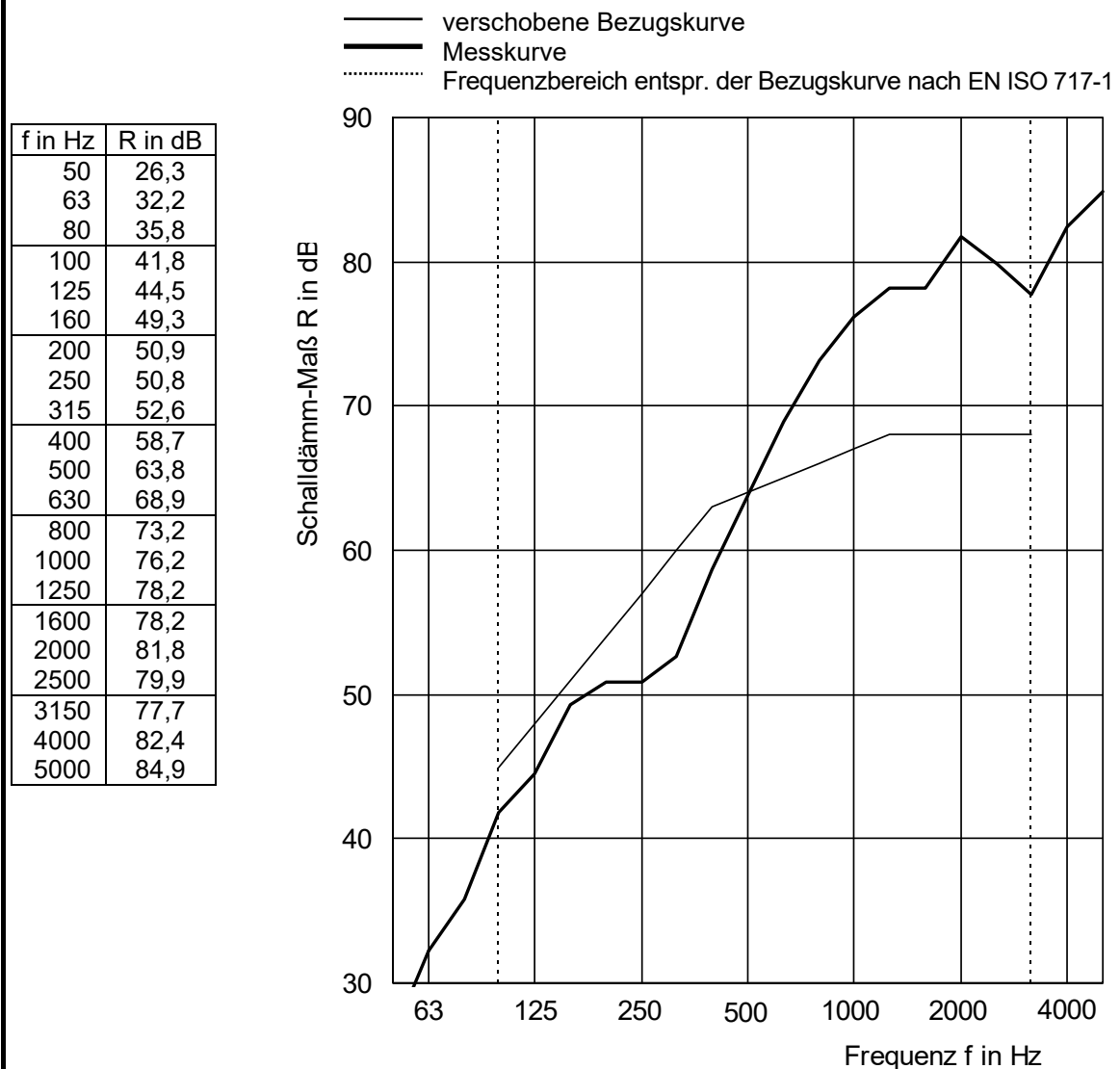
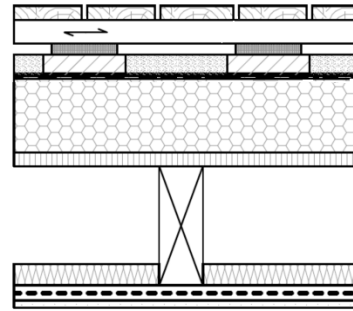
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Holzbelag

26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
140 mm	EPS Flachdachdämmplatten
25 mm	OSB-4 Platte
220 mm	Balken 80/220, e = 625 mm
40 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
28 mm	Federschienen 60/27, e = 500 mm
	mit 1 mm Abstand locker verschraubt
12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 04

Prüfdatum 9. Mai 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 64 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -4 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -16 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -16 \text{ dB}$

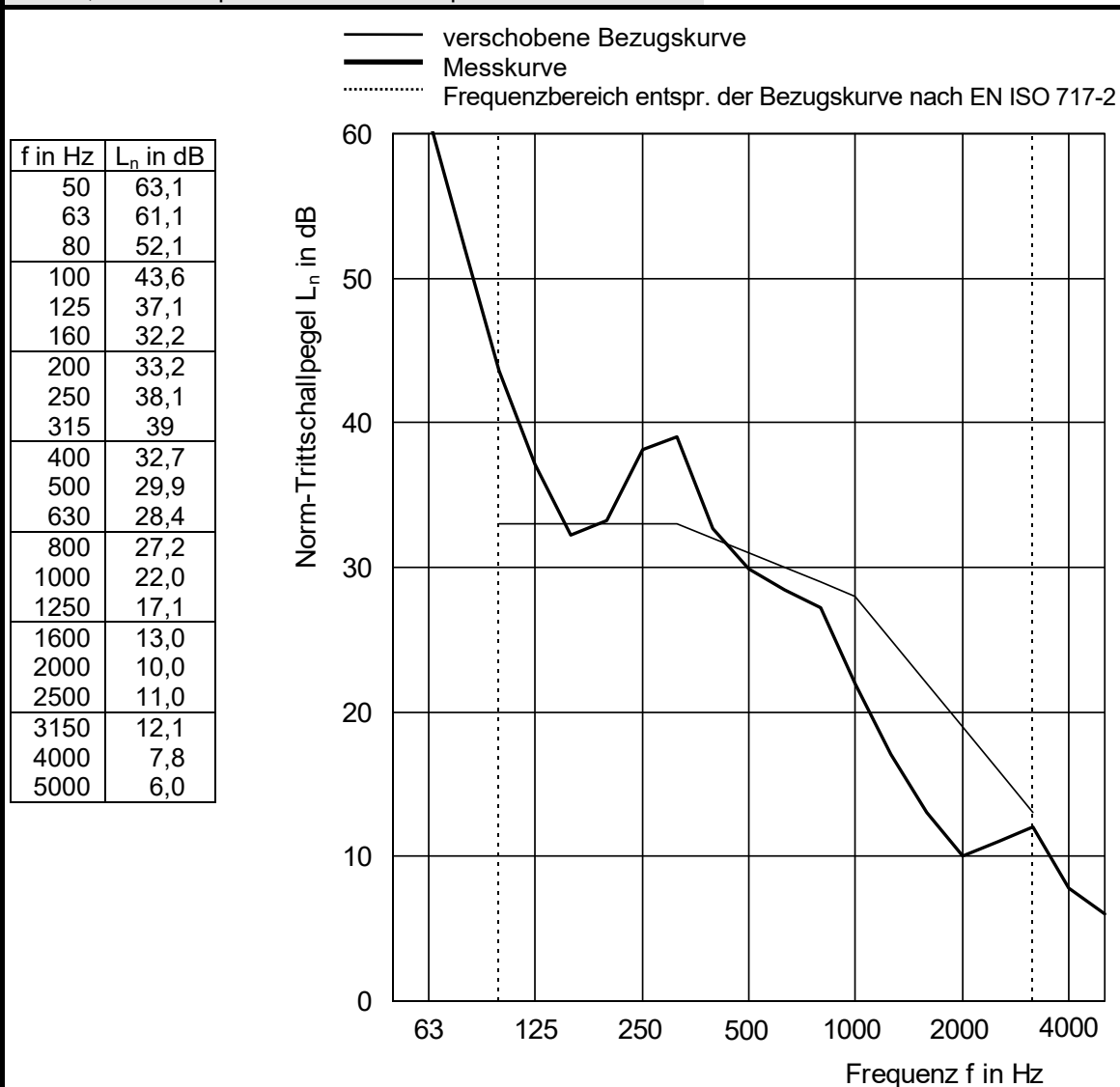
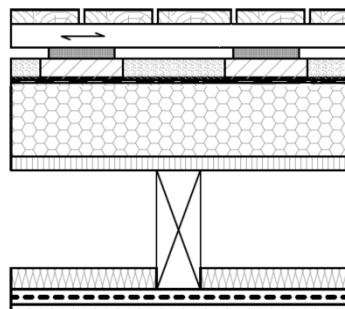
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Holzbelag

26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
140 mm	EPS Flachdachdämmplatten
25 mm	OSB-4 Platte
220 mm	Balken 80/220, e = 625 mm
40 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
28 mm	Federschienen 60/27, e = 500 mm
	mit 1 mm Abstand locker verschraubt
12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 04_TS

Prüfdatum 9. Mai 2018



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C₁) = 31 (1) dB C_{1,50-2500} = 19 dB

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

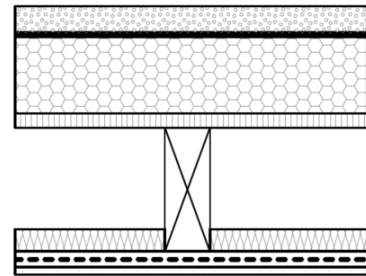
Flachdach mit Kiesbelag

50 mm Kies 4/16
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 140 mm EPS Flachdachdämmplatten

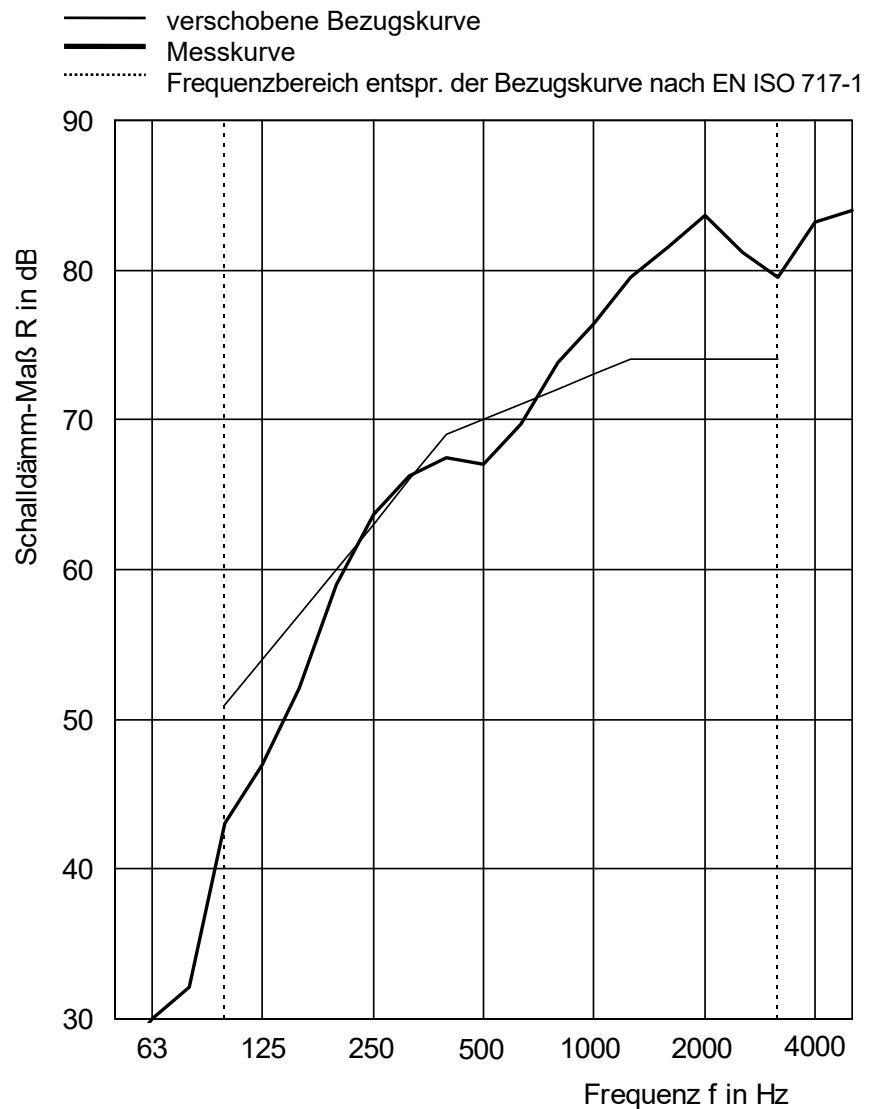
Messung-Nr.: 05

Prüfdatum 14. Mai 2018

25 mm OSB-4 Platte
 220 mm Balken 80/220, e = 625 mm
 40 mm MW-Dämmung, zwischen Balken
 28 mm Federschien 60/27, e = 500 mm
 mit 1 mm Abstand locker verschraubt
 12,5 mm Gipskartonfeuerschutzplatten



f in Hz	R in dB
50	26,7
63	30,0
80	32,1
100	43,0
125	46,9
160	52,1
200	59,0
250	63,7
315	66,3
400	67,5
500	67,0
630	69,7
800	73,8
1000	76,4
1250	79,5
1600	81,5
2000	83,6
2500	81,2
3150	79,5
4000	83,2
5000	84,0



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 70 (-3; -10) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -10 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -9 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -22 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -10 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -22 \text{ dB}$

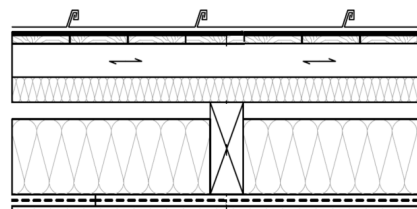
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Flachgeneigtes Dach mit Blecheindeckung

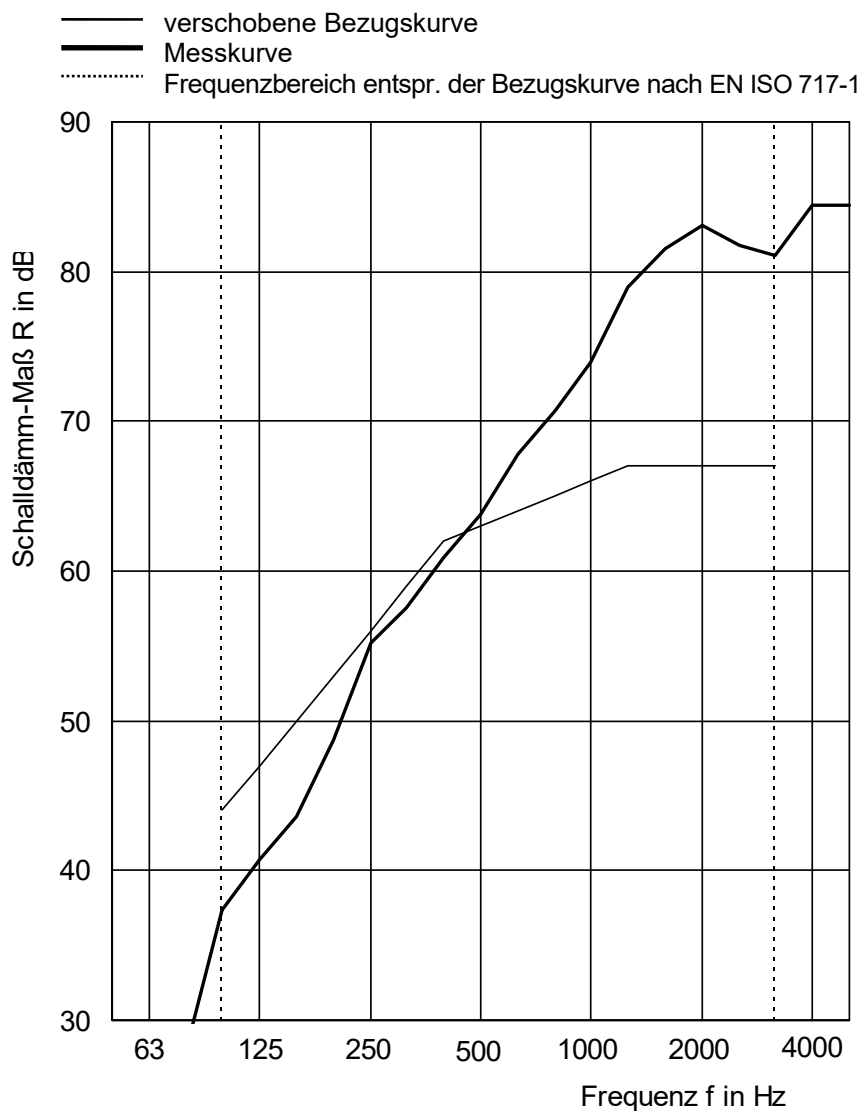
0,7 mm	Alu-Bänder mit Doppelstehfalz
3 mm	Bitumen-Unterdachbahn
24 mm	Schalung aus Nadelholz
80 mm	Kanthölzer 80/80, e = 640 mm
60 mm	Holzfaserdämmplatten
220 mm	Balken 80/220, e = 625 mm
140 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
40 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
28 mm	Federschienen 60/27, e = 500 mm mit 1 mm Abstand locker verschraubt
12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 06

Prüfdatum 16. Mai 2018



f in Hz	R in dB
50	15,5
63	22,0
80	28,1
100	37,4
125	40,7
160	43,6
200	48,7
250	55,2
315	57,6
400	60,9
500	63,8
630	67,8
800	70,7
1000	73,9
1250	79,0
1600	81,5
2000	83,1
2500	81,7
3150	81,1
4000	84,4
5000	84,4



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

R_w (C; C_{tr}) = 63(-3; -9) dB

C₅₀₋₃₁₅₀ = -11 dB; C₁₀₀₋₅₀₀₀ = -2 dB; C₅₀₋₅₀₀₀ = -10 dB

C_{tr,50-3150} = -24 dB; C_{tr,100-5000} = -9 dB; C_{tr,50-5000} = -24 dB

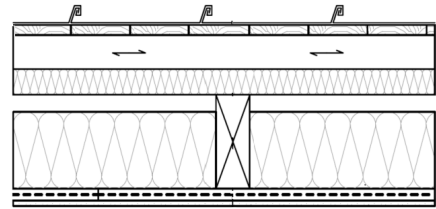
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Flachgeneigtes Dach mit Blecheindeckung

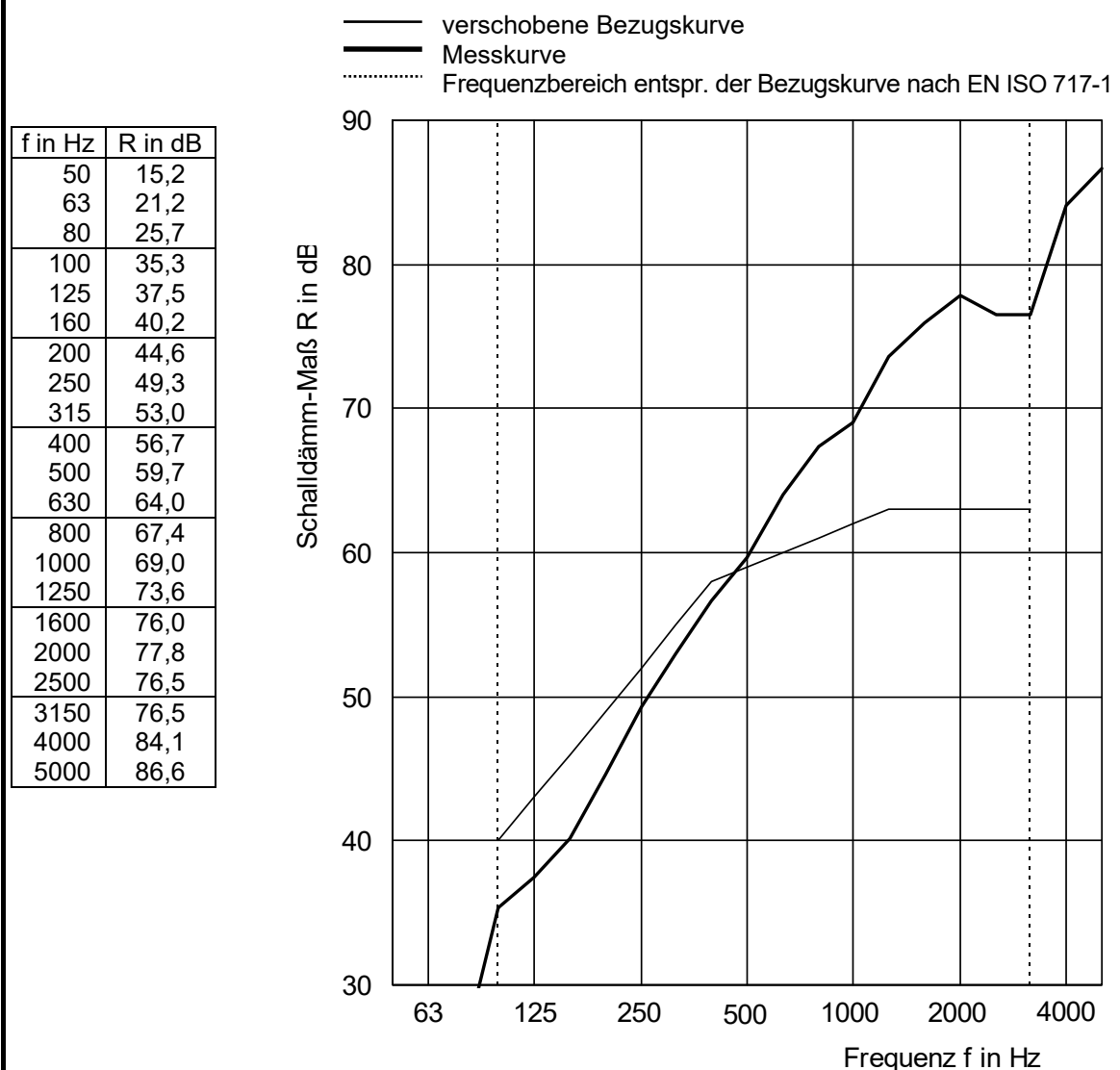
0,7 mm	Alu-Bänder mit Doppelstehfalz
24 mm	Schalung aus Nadelholz
80 mm	Kanthölzer 80/80, e = 640 mm
60 mm	Holzfaserdämmplatten

Messung-Nr.: 07

Prüfdatum 17. Mai 2018



220 mm	Balken 80/220, e = 625 mm
140 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
40 mm	MW-Dämmung, zwischen Balken
28 mm	Federschienen 60/27, e = 500 mm mit 1 mm Abstand locker verschraubt
12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 59(-2; -8) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -8 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -7 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -21 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -8 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -21 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

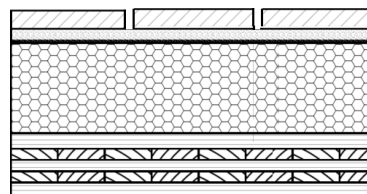
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
200 mm EPS Flachdachdämmplatten

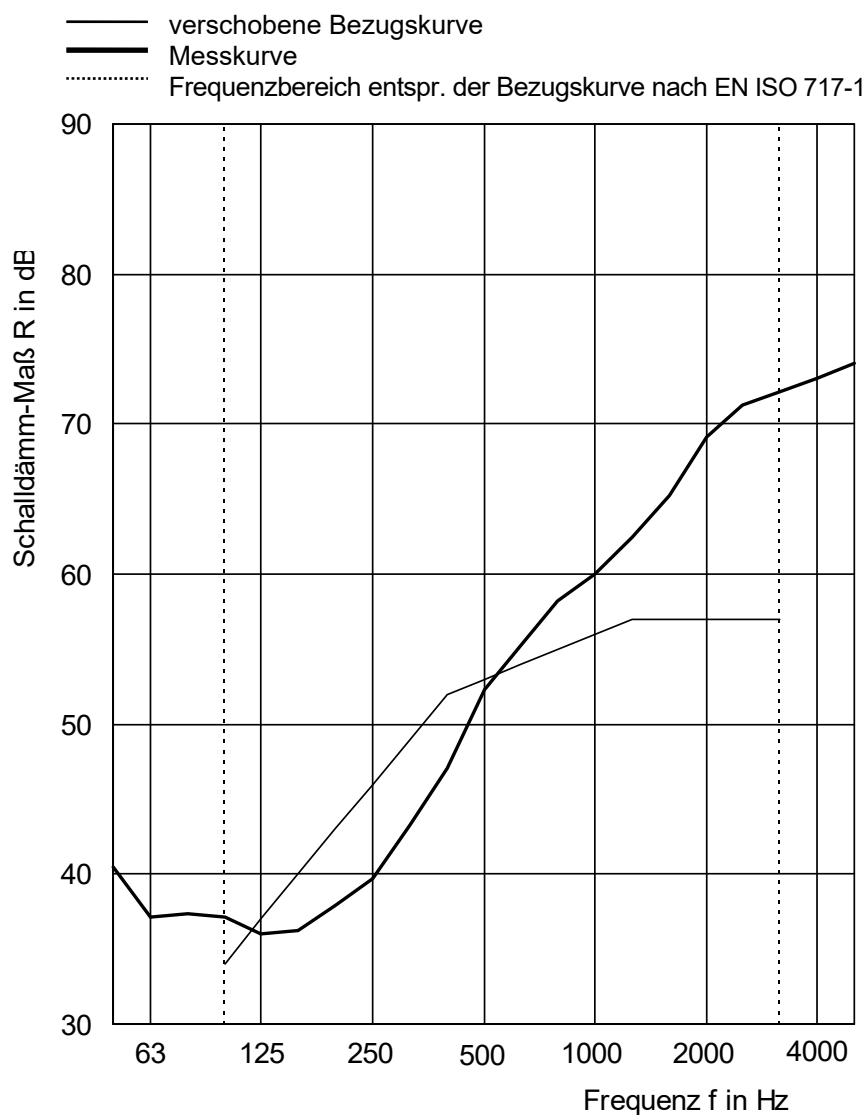
140 mm Brettsperrholz 5-lagig

Messung-Nr.: 08

Prüfdatum 24. Mai 2018



f in Hz	R in dB
50	40,5
63	37,1
80	37,4
100	37,1
125	36,0
160	36,3
200	37,9
250	39,7
315	43,3
400	47,1
500	52,3
630	55,2
800	58,2
1000	60,0
1250	62,4
1600	65,2
2000	69,2
2500	71,3
3150	72,2
4000	73,1
5000	74,1



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 53 (-2; -6) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -2 \text{ dB}; C_{100-5000} = -1 \text{ dB}; C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -6 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -6 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -6 \text{ dB}$

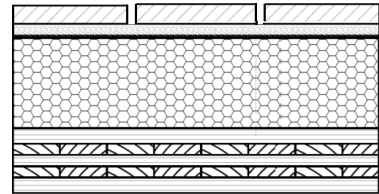
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

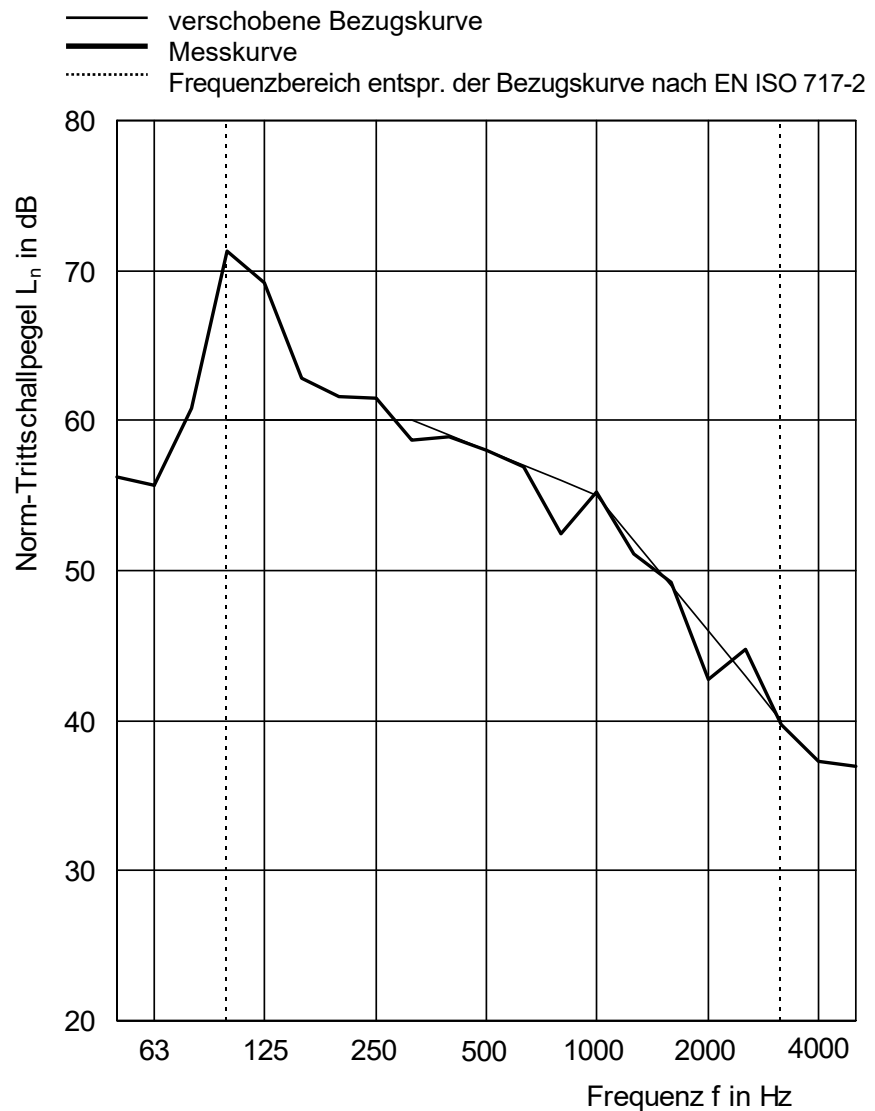
40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 200 mm EPS Flachdachdämmplatten
 140 mm Brettsper Holz 5-lagig

Messung-Nr.: 08_TS

Prüfdatum 24. Mai 2018



f in Hz	L_n in dB
50	56,2
63	55,7
80	60,8
100	71,3
125	69,2
160	62,8
200	61,6
250	61,5
315	58,7
400	58,9
500	58,0
630	56,9
800	52,4
1000	55,2
1250	51,1
1600	49,2
2000	42,7
2500	44,8
3150	39,7
4000	37,3
5000	36,9



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

 $L_{n,w} (C_1) = 58 (2) \text{ dB}$
 $C_{1,50-2500} = 2 \text{ dB}$

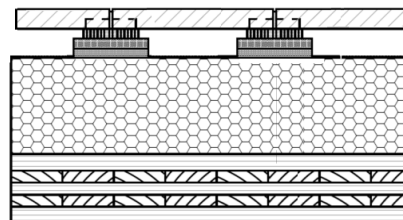
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Betonplatten

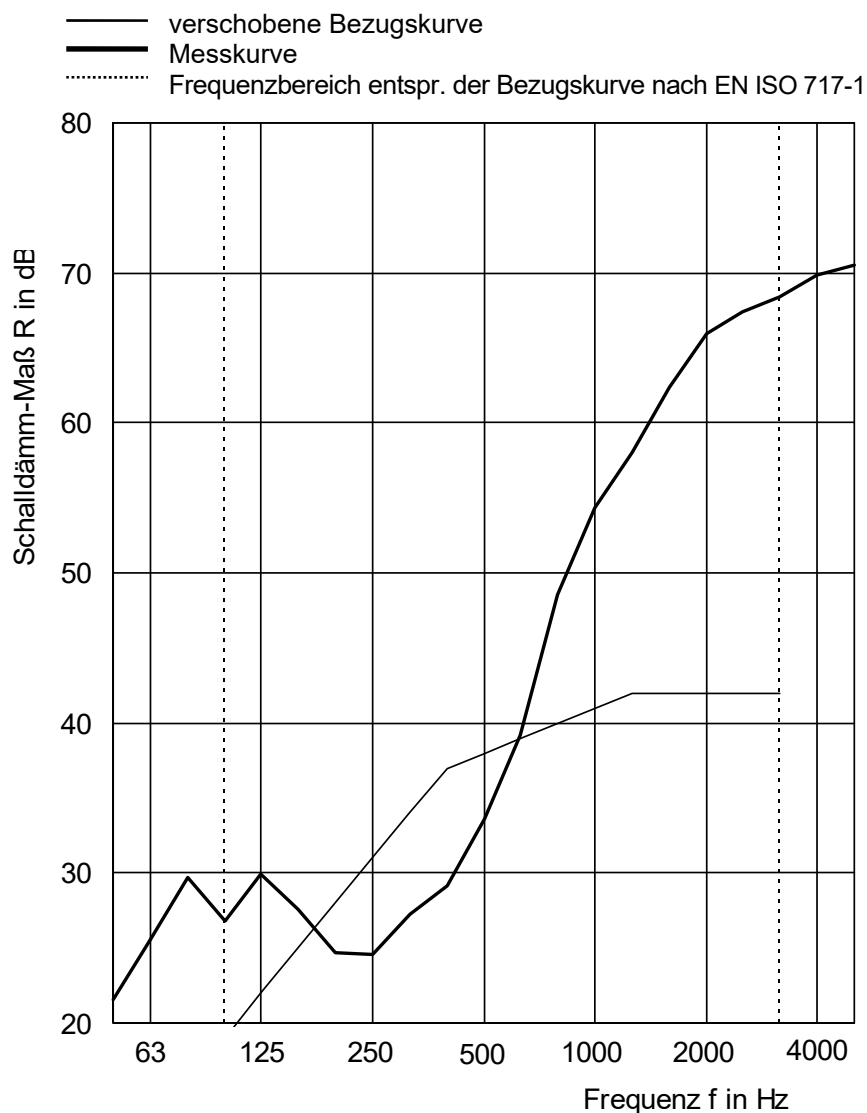
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
140 mm	Brettsper Holz 5-lagig

Messung-Nr.: 09

Prüfdatum 25. Mai 2018



f in Hz	R in dB
50	21,6
63	25,6
80	29,7
100	26,8
125	29,9
160	27,6
200	24,7
250	24,6
315	27,2
400	29,1
500	33,6
630	39,2
800	48,5
1000	54,4
1250	58
1600	62,4
2000	65,9
2500	67,4
3150	68,4
4000	69,8
5000	70,5



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 38 (-1; -4) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -1 \text{ dB}; C_{100-5000} = 0 \text{ dB}; C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -5 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -4 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -5 \text{ dB}$

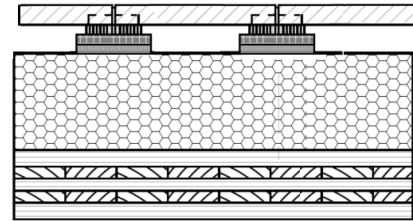
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

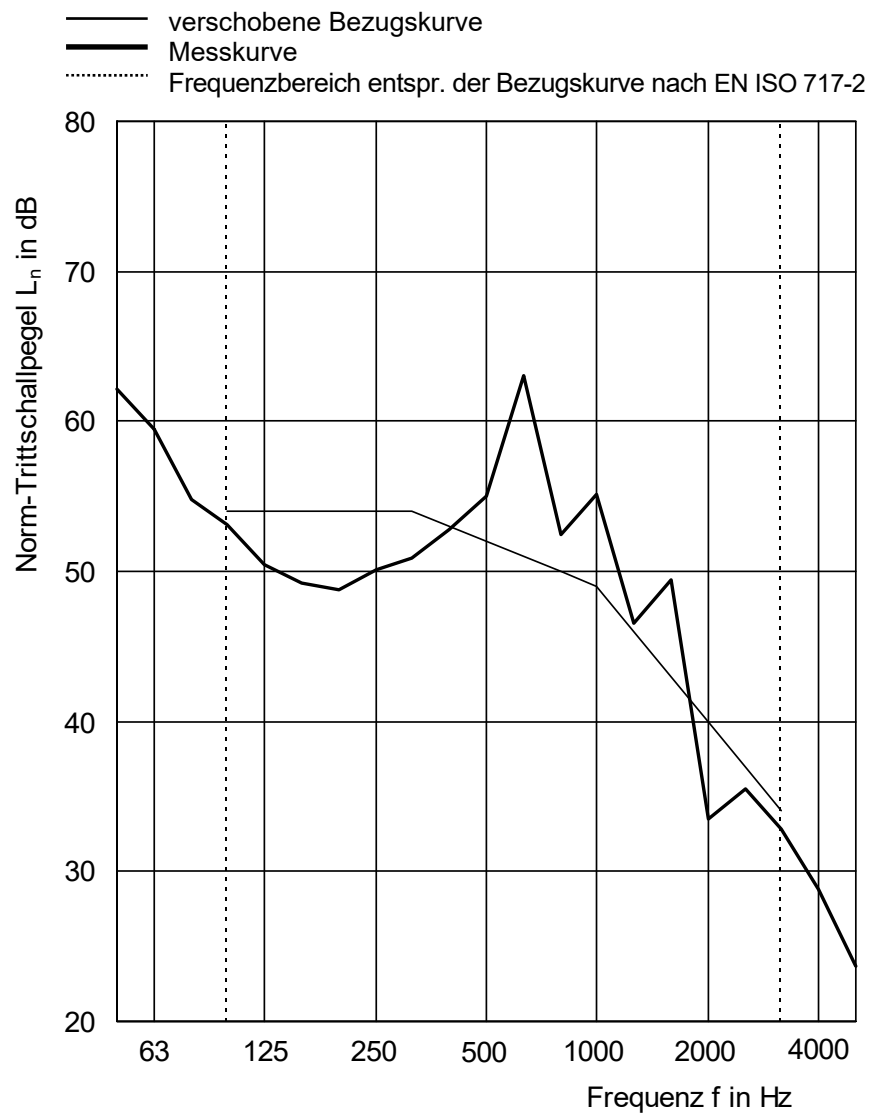
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
140 mm	Brettsper Holz 5-lagig

Messung-Nr.: 09_TS

Prüfdatum 25. Mai 2018



f in Hz	L _n in dB
50	62,2
63	59,5
80	54,8
100	53,1
125	50,5
160	49,2
200	48,8
250	50,1
315	50,9
400	52,8
500	55,0
630	63,0
800	52,4
1000	55,1
1250	46,5
1600	49,4
2000	33,5
2500	35,5
3150	32,8
4000	28,8
5000	23,7



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C₁) = 52 (-1) dB C_{1,50-2500} = 1 dB

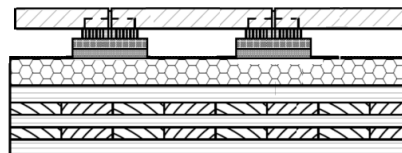
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Betonplatten

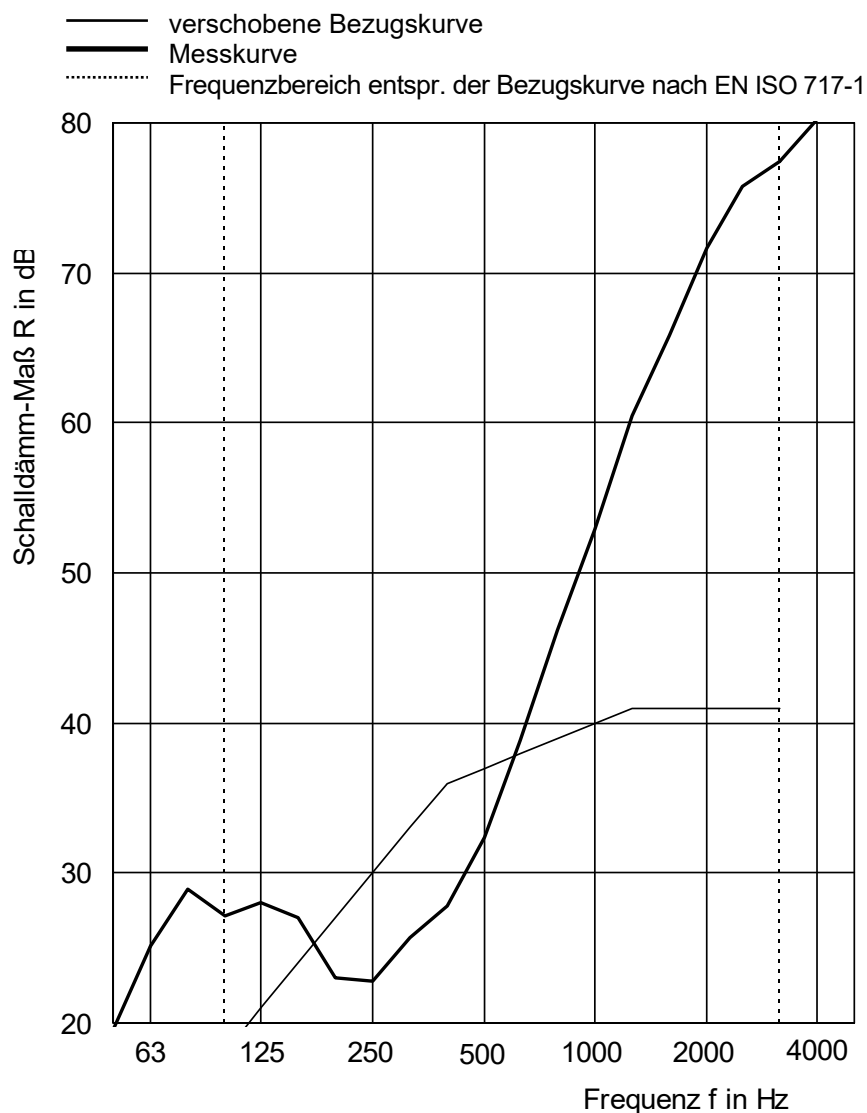
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
58 mm	Vakuum-Isolations-Paneel
140 mm	Brettsperrholz 5-lagig

Messung-Nr.: 10

Prüfdatum 28. Mai 2018



f in Hz	R in dB
50	19,5
63	25,1
80	28,9
100	27,1
125	28,0
160	27,0
200	23,0
250	22,8
315	25,7
400	27,8
500	32,4
630	38,9
800	46,2
1000	52,9
1250	60,5
1600	65,8
2000	71,6
2500	75,8
3150	77,4
4000	80,2
5000	82,8



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 37 (-1; -5) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -1 \text{ dB}; C_{100-5000} = 0 \text{ dB}; C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -5 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -5 \text{ dB}$

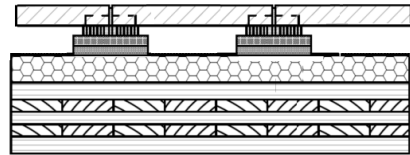
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

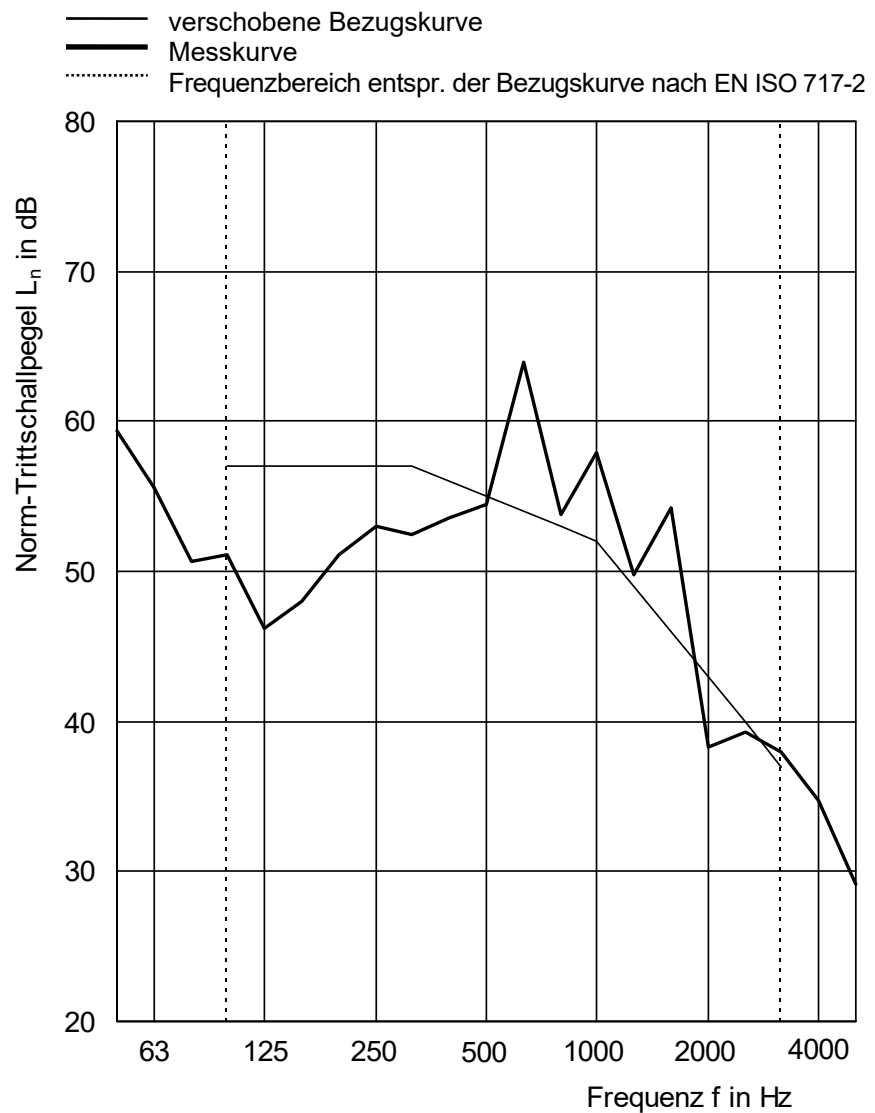
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
58 mm	Vakuum-Isolations-Paneel
140 mm	Brettspertholz 5-lagig

Messung-Nr.: 10_TS

Prüfdatum 28. Mai 2018



f in Hz	L _n in dB
50	59,4
63	55,6
80	50,7
100	51,1
125	46,2
160	48,0
200	51,1
250	53,0
315	52,5
400	53,6
500	54,5
630	63,9
800	53,8
1000	57,9
1250	49,8
1600	54,2
2000	38,3
2500	39,3
3150	38,0
4000	34,7
5000	29,2



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C₁) = 55 (-3) dB C_{1,50-2500} = -2 dB

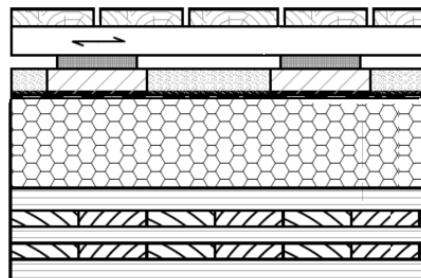
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Holzbelag

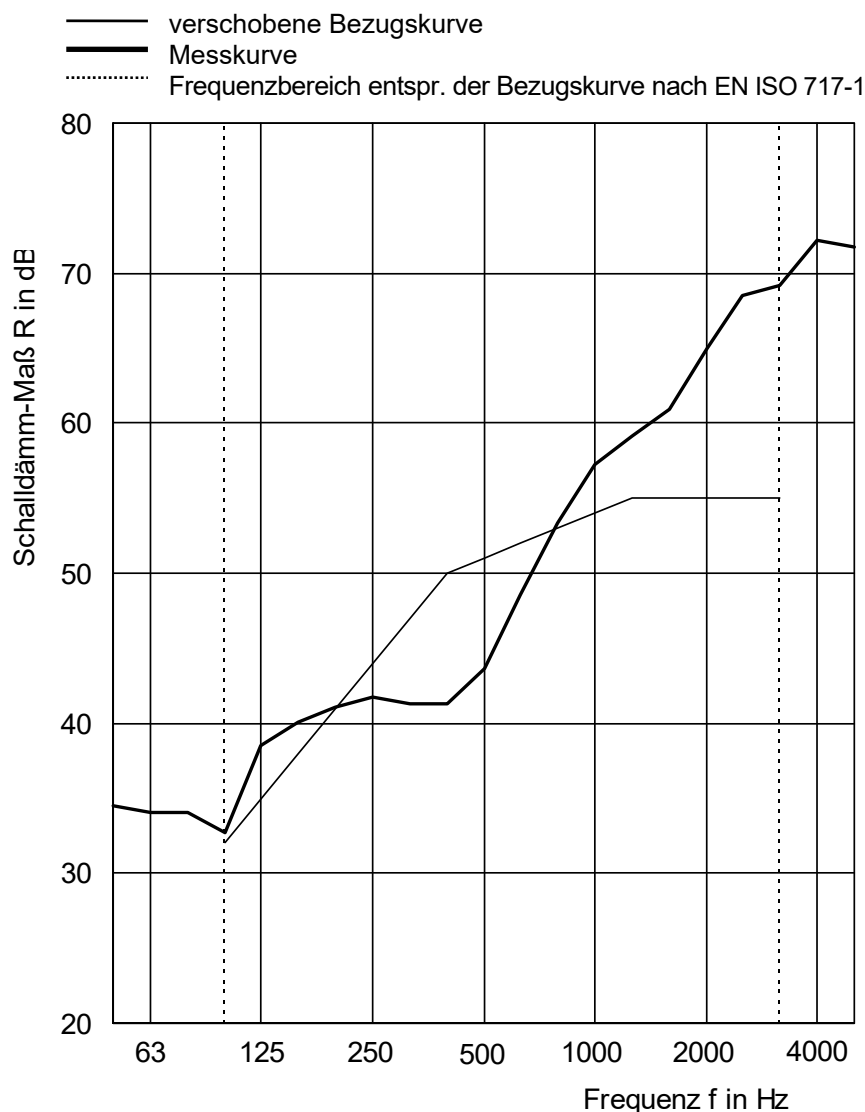
26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
140 mm	Brettsper Holz 5-lagig

Messung-Nr.: 11

Prüfdatum 30. Mai 2018



f in Hz	R in dB
50	34,5
63	34,0
80	34,0
100	32,7
125	38,5
160	40,1
200	41,1
250	41,7
315	41,3
400	41,3
500	43,6
630	48,6
800	53,4
1000	57,2
1250	59,1
1600	60,9
2000	64,9
2500	68,5
3150	69,2
4000	72,2
5000	71,7



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 51 (-1; -5) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -1 \text{ dB}; C_{100-5000} = 0 \text{ dB}; C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -6 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -6 \text{ dB}$

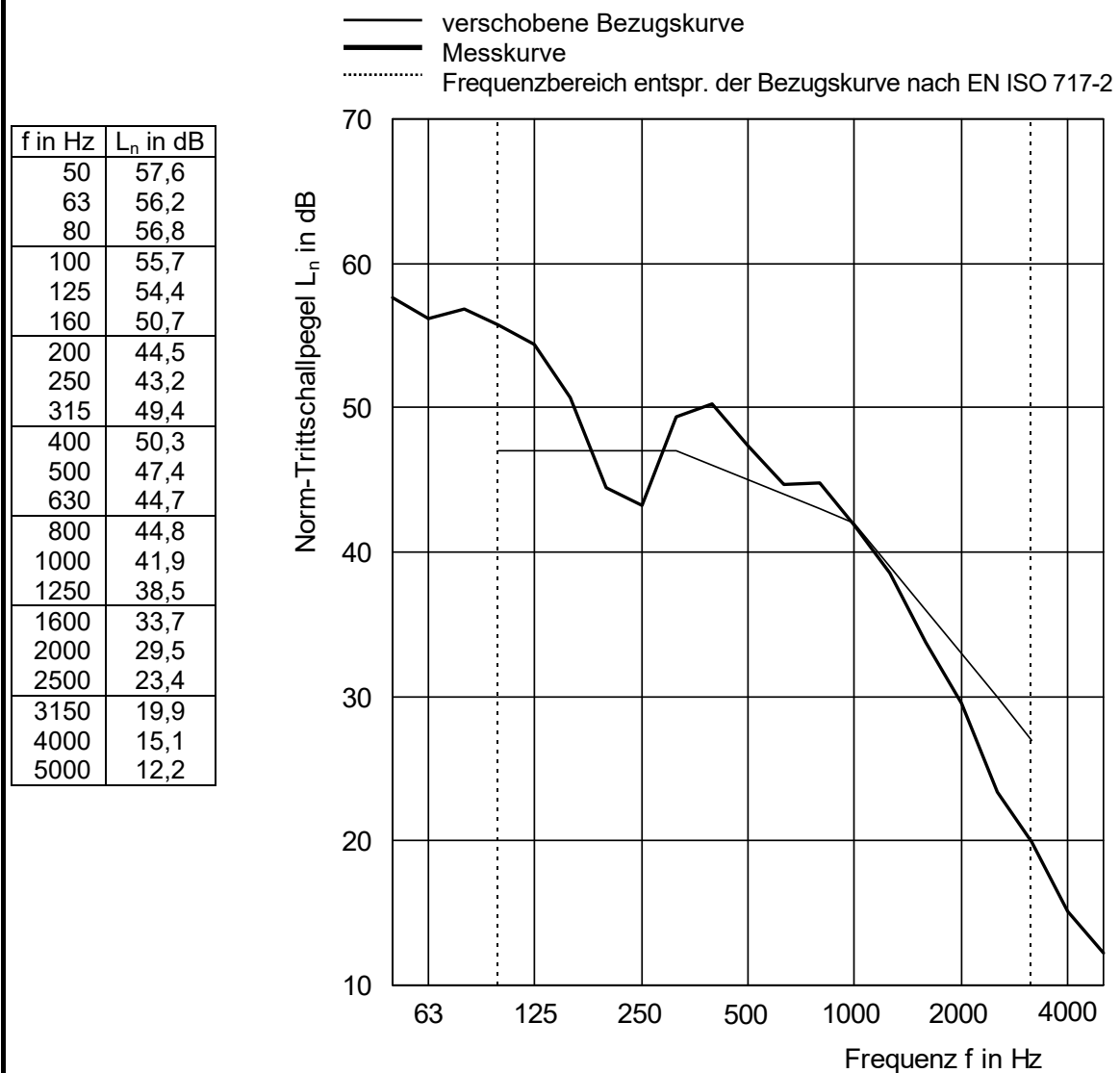
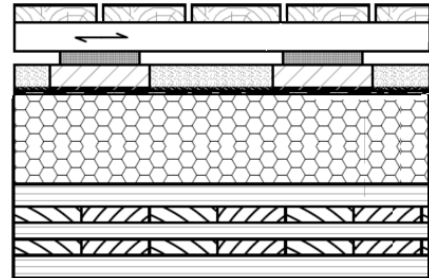
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Holzbelag

26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
140 mm	Brettsper Holz 5-lagig

Messung-Nr.: 11_TS

Prüfdatum 30. Mai 2018



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

 $L_{n,w} (C_1) = 45 (1) \text{ dB}$
 $C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$

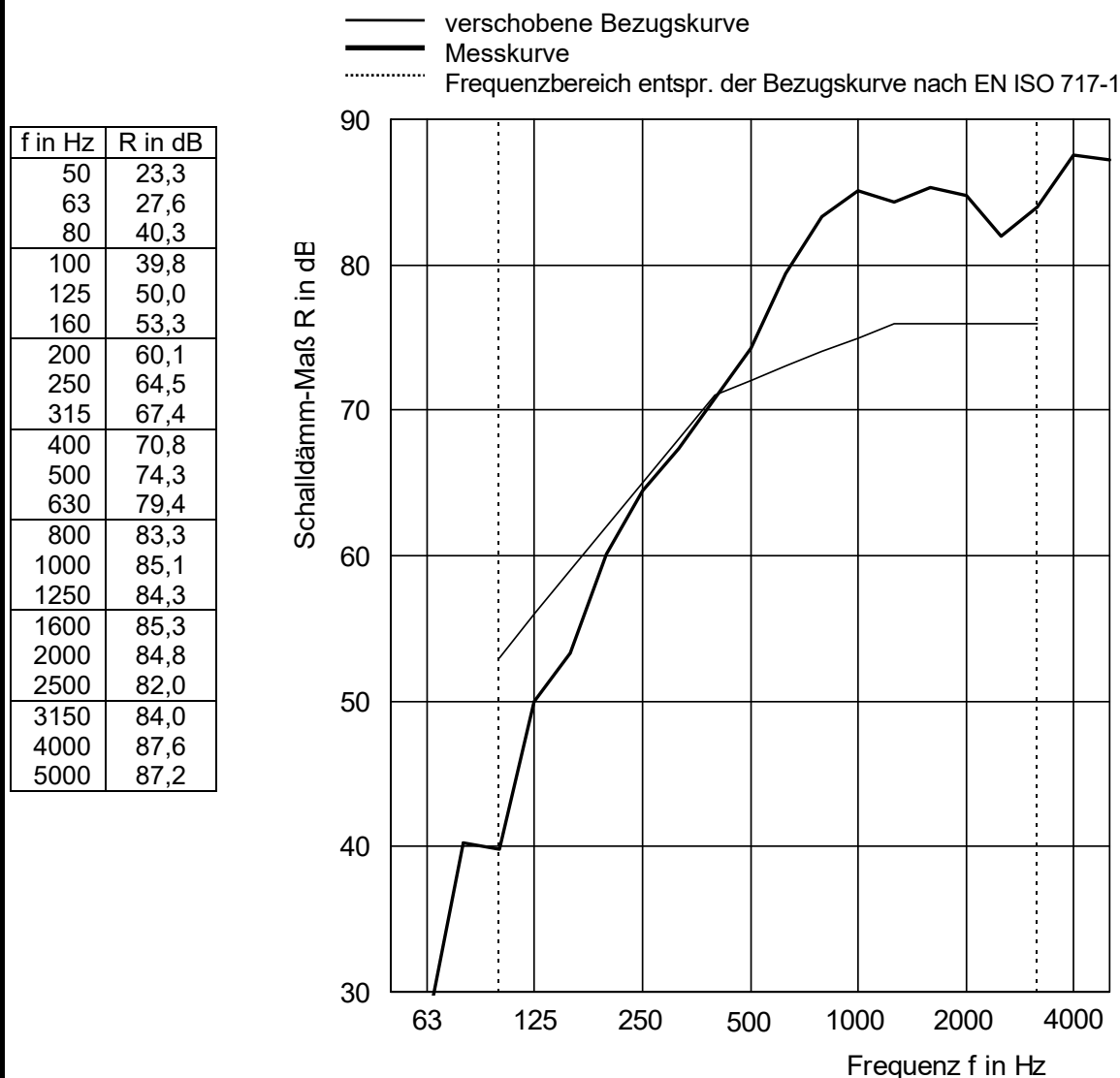
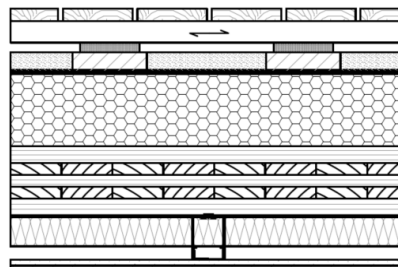
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Holzbelag

26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
140 mm	Brettspertholz 5-lagig
60 mm	MW-Dämmung
90 mm	Direktschwingabhängiger 9 × 7 Stück
	CD-Profile, e = 500 mm
2 × 12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 12

Prüfdatum 4. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 72 (-5; -13) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -13 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -4 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -12 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -26 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -13 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -26 \text{ dB}$

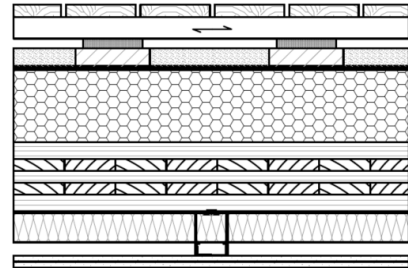
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Holzbelag

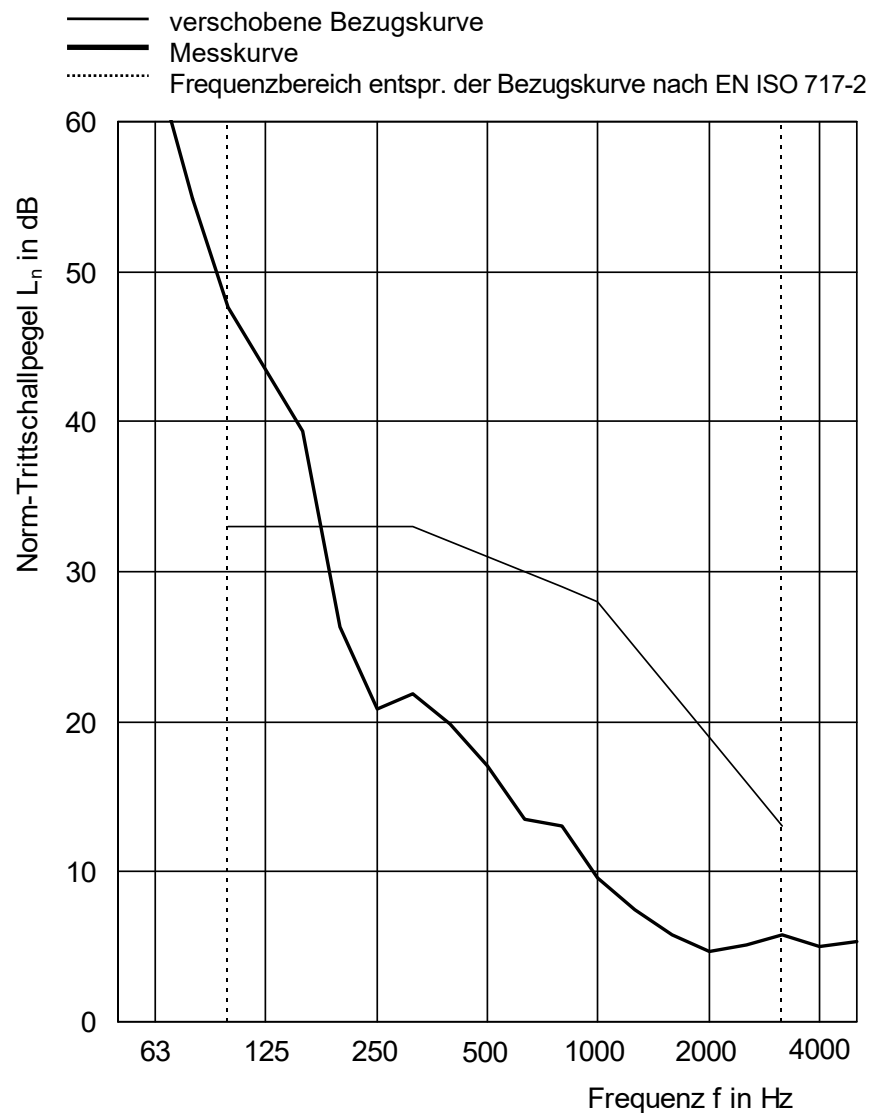
26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
140 mm	Brettsperrholz 5-lagig
60 mm	MW-Dämmung
90 mm	Direktschwingabhänger 9 × 7 Stück
	CD-Profile, e = 500 mm
2 × 12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 12_TS

Prüfdatum 4. Juni 2018



f in Hz	L _n in dB
50	67,8
63	63,9
80	54,9
100	47,6
125	43,5
160	39,4
200	26,3
250	20,8
315	21,9
400	19,9
500	17,1
630	13,5
800	13,0
1000	9,6
1250	7,5
1600	5,8
2000	4,7
2500	5,1
3150	5,8
4000	5,0
5000	5,4



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

 $L_{n,w} (C_1) = 45 (1) \text{ dB}$
 $C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$

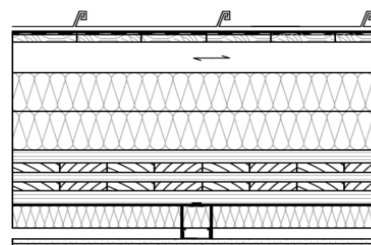
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Flachgeneigtes Dach mit Blecheindeckung

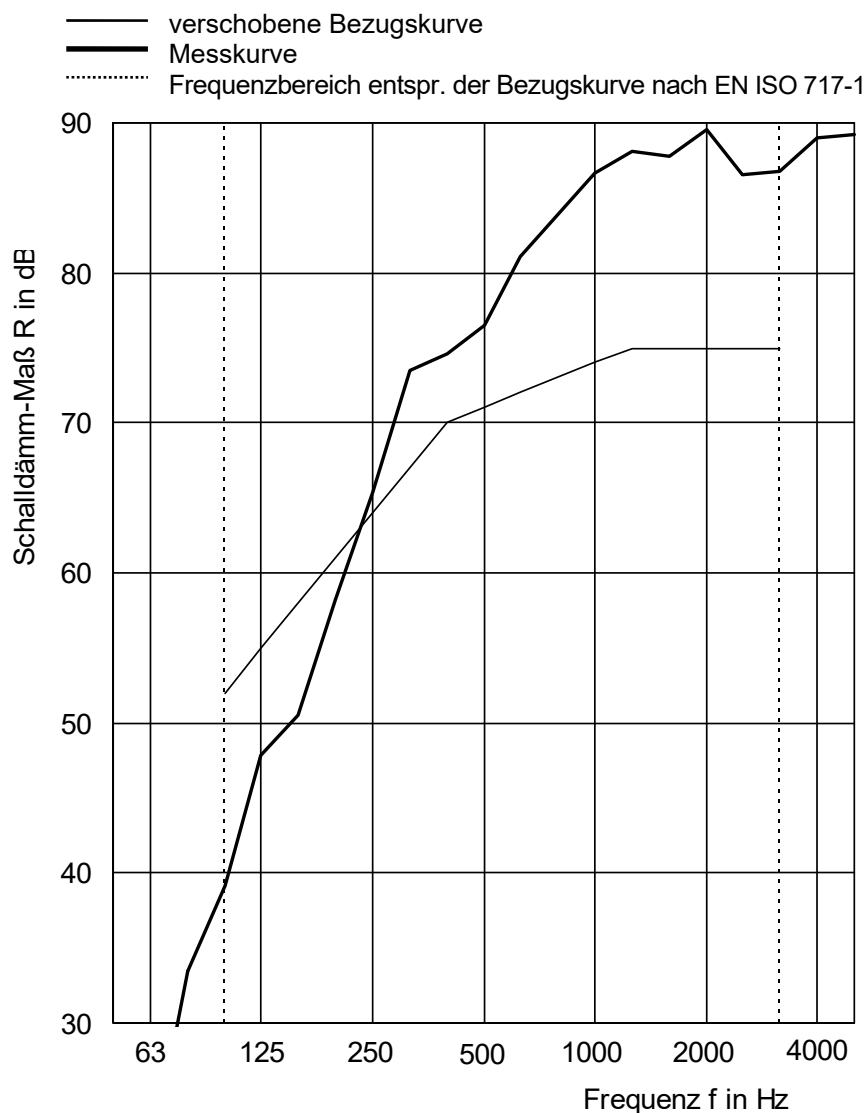
0,7 mm	Alu-Bänder mit Doppelstehfalz
3 mm	Bitumen-Unterdachbahn
24 mm	Schalung aus Nadelholz
80 mm	Kanthölzer 80/80, e = 640 mm
2 × 100 mm	Holzfaserdämmplatten
140 mm	Brettsper Holz 5-lagig
60 mm	MW-Dämmung
90 mm	Direktschwingabhängiger 9 × 7 Stück CD-Profile, e = 500 mm
2 × 12,5 mm	Gipskartonfeuerschutzplatten

Messung-Nr.: 13

Prüfdatum 5. Juni 2018



f in Hz	R in dB
50	17,3
63	20,7
80	33,5
100	39,1
125	47,8
160	50,5
200	58,2
250	65,3
315	73,5
400	74,6
500	76,5
630	81,1
800	83,9
1000	86,6
1250	88,1
1600	87,8
2000	89,6
2500	86,5
3150	86,8
4000	89,0
5000	89,2



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 71 (-5; -13) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -18 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -4 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -17 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -31 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -13 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -31 \text{ dB}$



Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

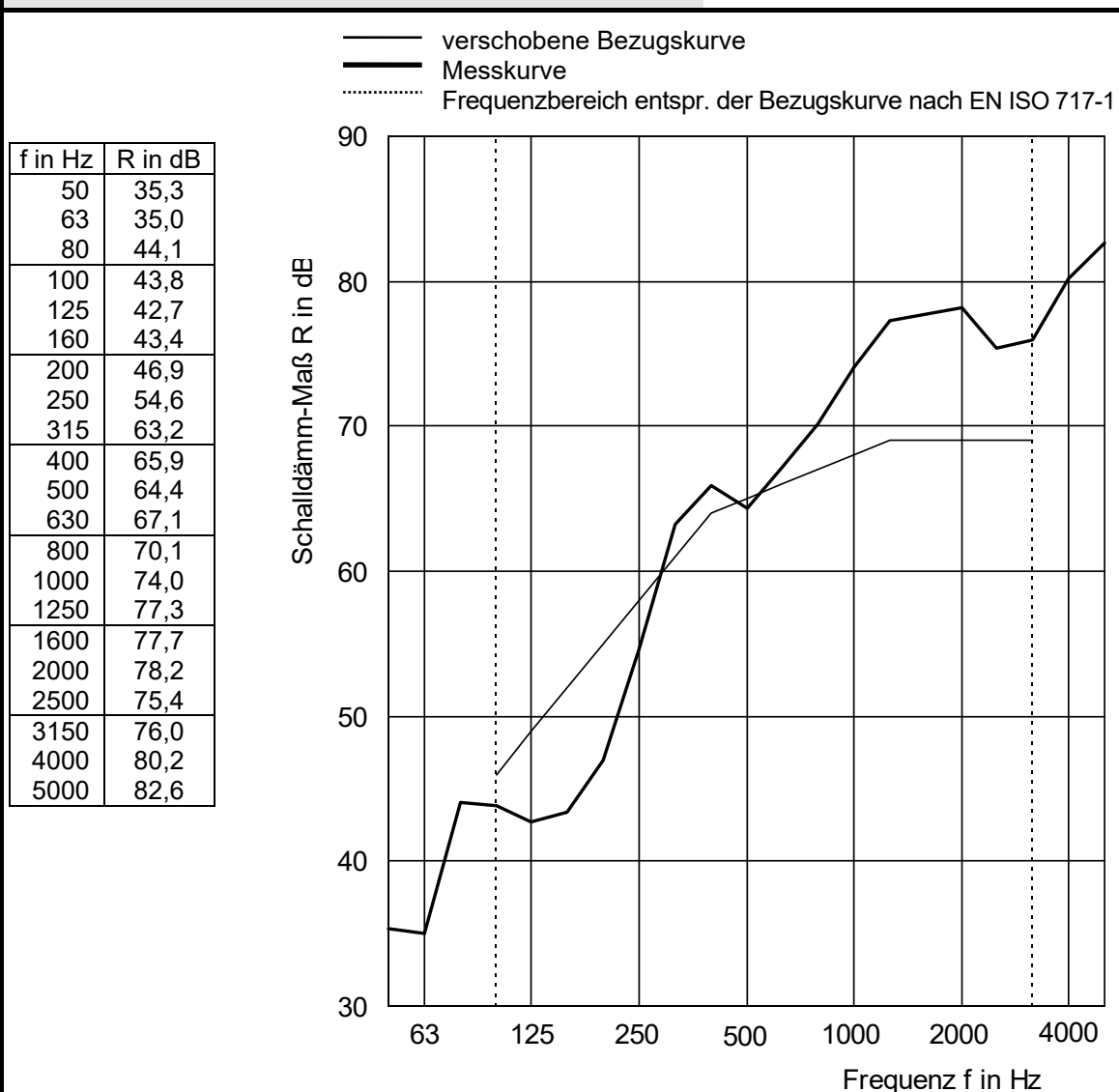
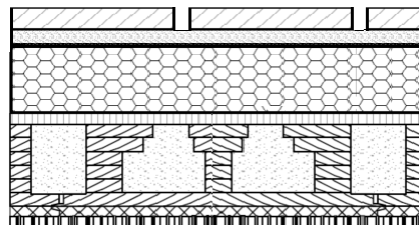
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 140 mm PUR/PIR Flachdachdämmplatten

22 mm OSB Platte
 196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
 LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 14

Prüfdatum 12. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 65 (-3; -9) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -4 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -12 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -12 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

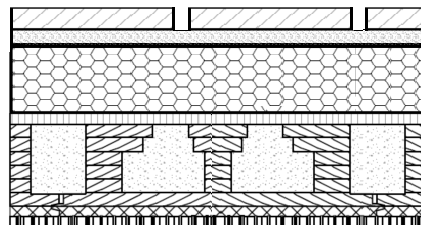
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
140 mm PUR/PIR Flachdachdämmplatten

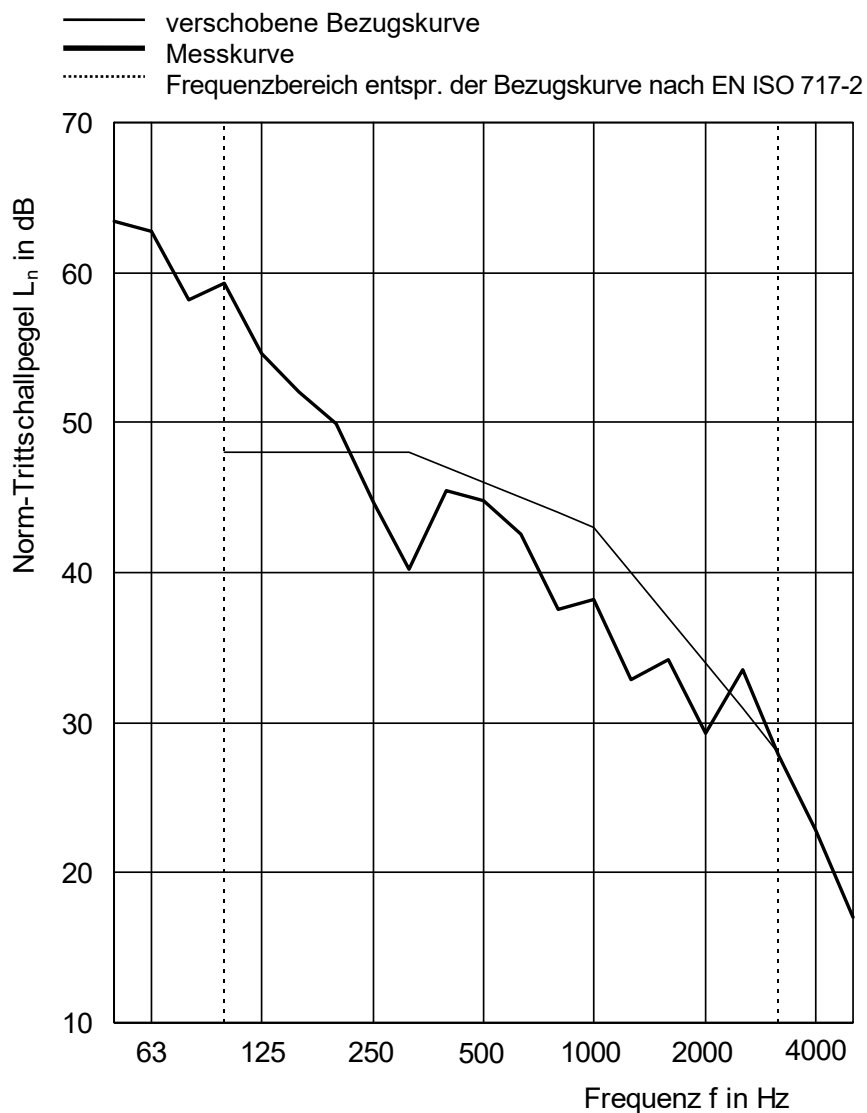
22 mm OSB Platte
196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 14_TS

Prüfdatum 12. Juni 2018



f in Hz	L _n in dB
50	63,4
63	62,7
80	58,2
100	59,3
125	54,6
160	52,1
200	49,9
250	44,7
315	40,2
400	45,5
500	44,8
630	42,6
800	37,6
1000	38,2
1250	32,9
1600	34,2
2000	29,3
2500	33,5
3150	27,8
4000	22,8
5000	17,0



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C_l) = 46 (1) dB

C_{l,50-2500} = 7 dB

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

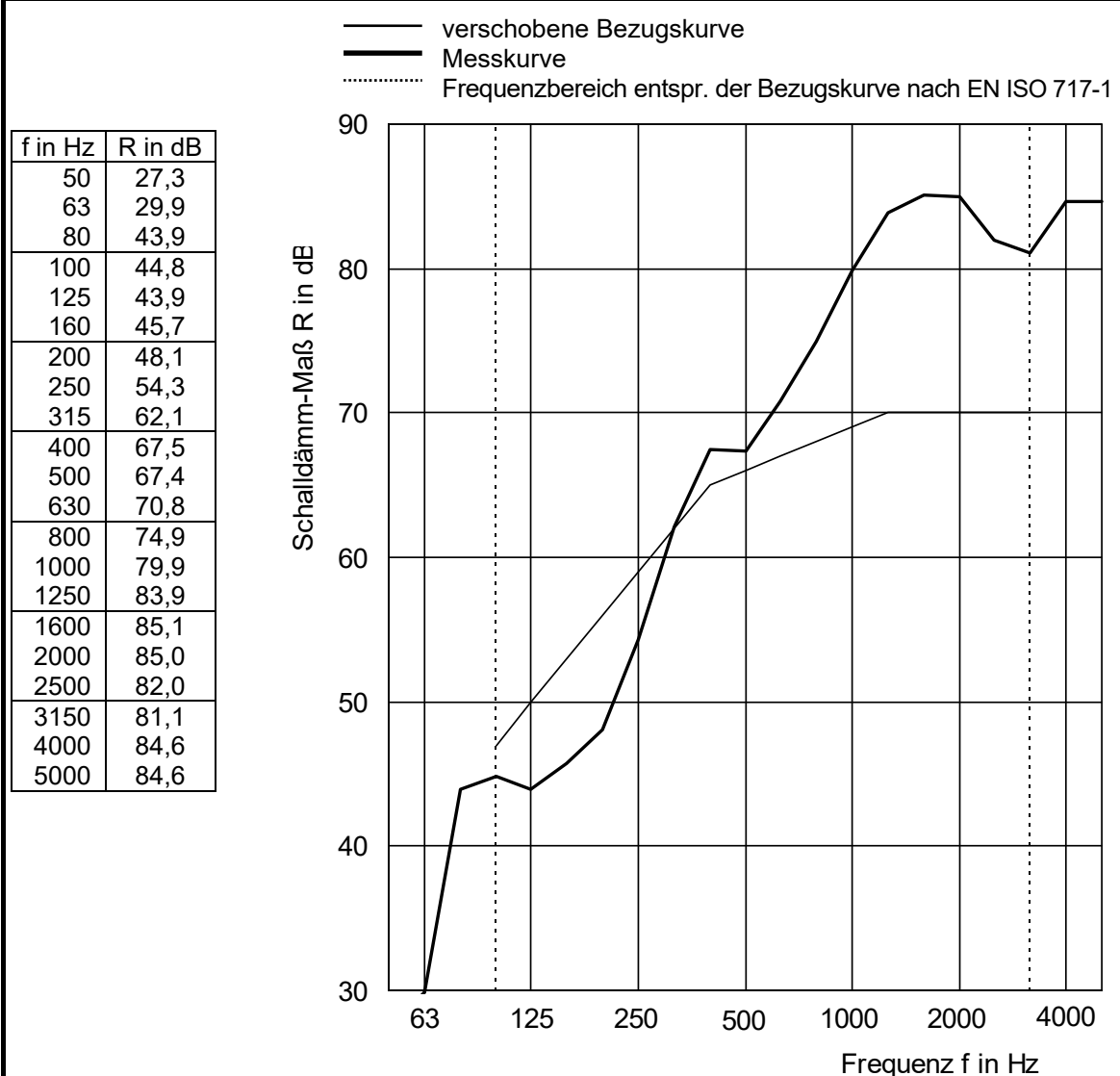
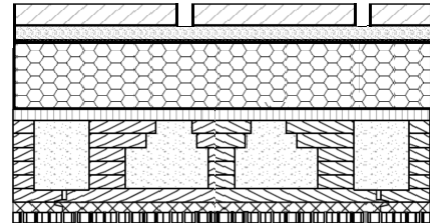
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 200 mm EPS Flachdachdämmplatten

22 mm OSB Platte
 196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
 LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 15

Prüfdatum 12. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 66 (-3; -8) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -6 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -5 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -17 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -8 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -17 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

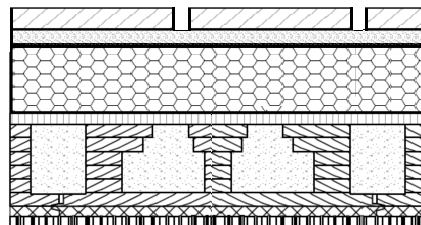
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
200 mm EPS Flachdachdämmplatten

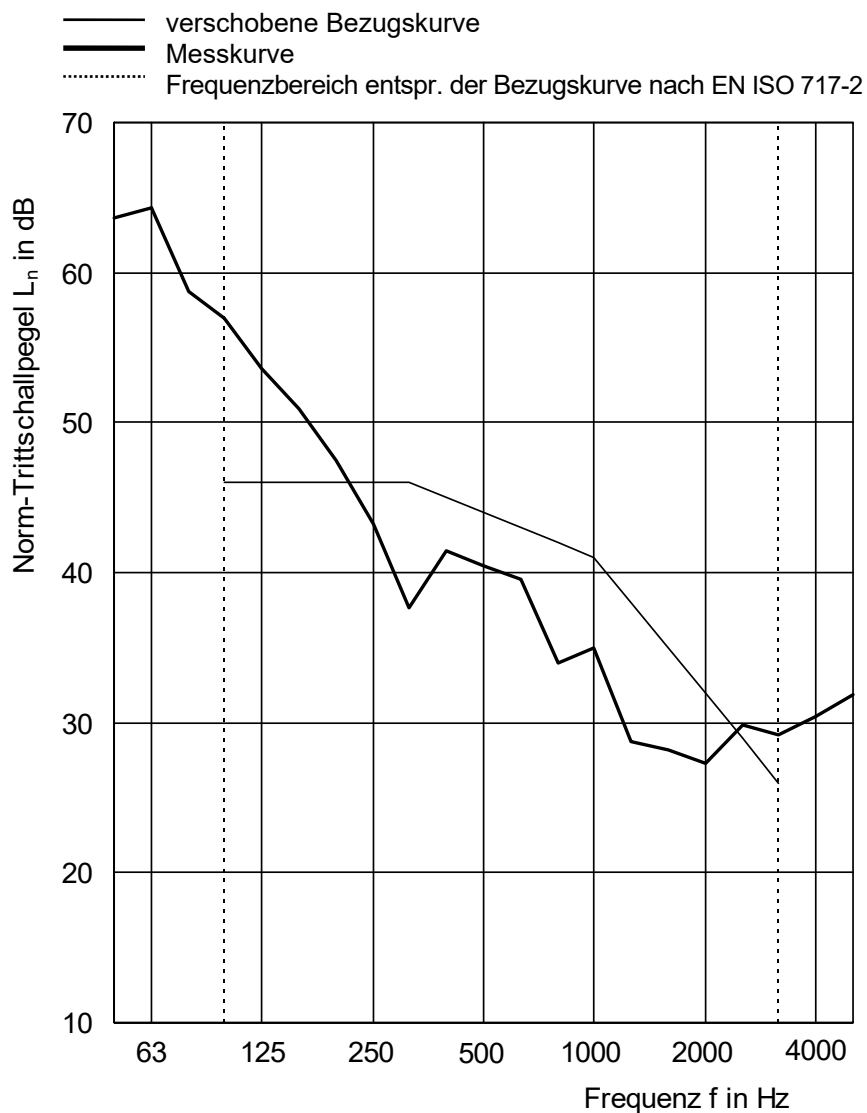
22 mm OSB Platte
196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 15_TS

Prüfdatum 12. Juni 2018



f in Hz	L _n in dB
50	63,6
63	64,3
80	58,7
100	57,0
125	53,6
160	50,9
200	47,5
250	43,2
315	37,7
400	41,4
500	40,4
630	39,5
800	34,0
1000	35,0
1250	28,7
1600	28,2
2000	27,3
2500	29,8
3150	29,2
4000	30,4
5000	31,9



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C_l) = 44 (1) dB

C_{l,50-2500} = 9 dB

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

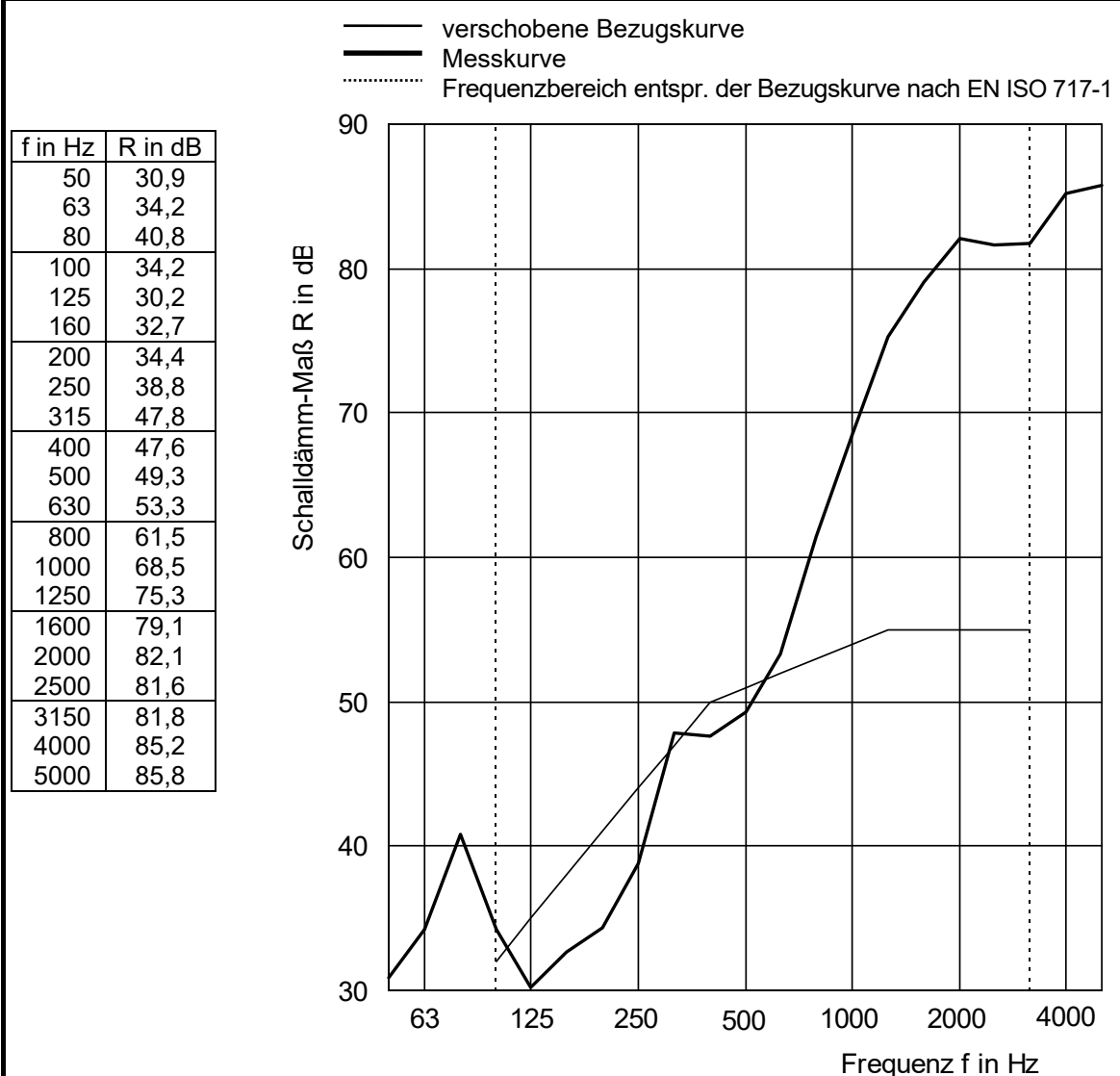
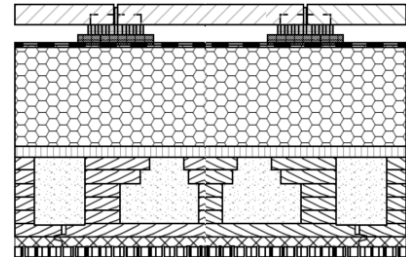
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
 40 mm Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
 2,5 mm EVA-Dachbahn
 200 mm EPS Flachdachdämmplatten

22 mm OSB Platte
 196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
 LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 16

Prüfdatum 14. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 51 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -2 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -7 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

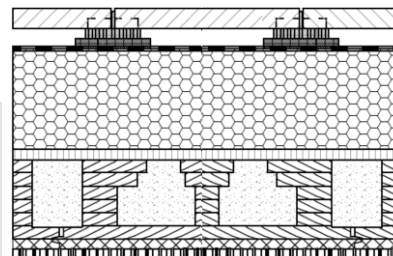
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
2,5 mm EVA-Dachbahn
200 mm EPS Flachdachdämmplatten

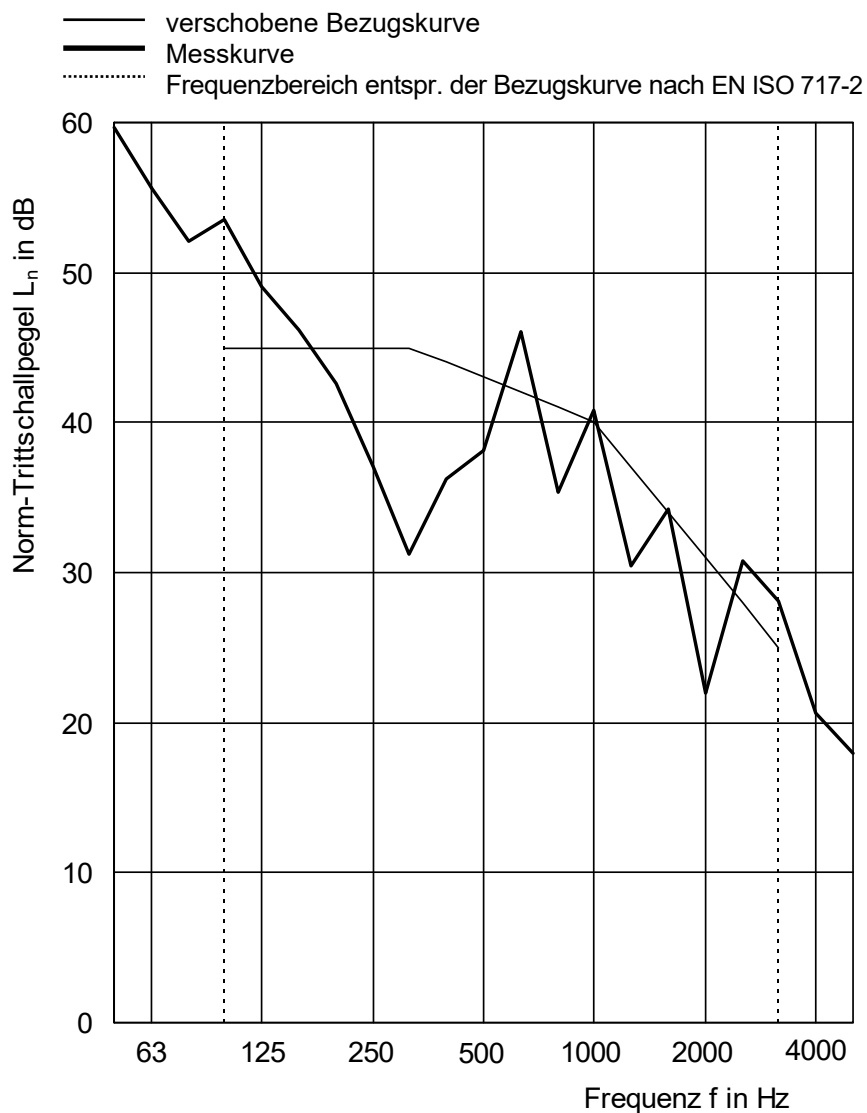
22 mm OSB Platte
196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 16_TS

Prüfdatum 14. Juni 2018



f in Hz	L _n in dB
50	59,7
63	55,6
80	52,1
100	53,5
125	49,1
160	46,2
200	42,6
250	37,0
315	31,2
400	36,3
500	38,1
630	46,1
800	35,4
1000	40,8
1250	30,5
1600	34,2
2000	22,0
2500	30,8
3150	28,1
4000	20,6
5000	17,9



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C₁) = 43 (-2) dB C_{1,50-2500} = 5 dB

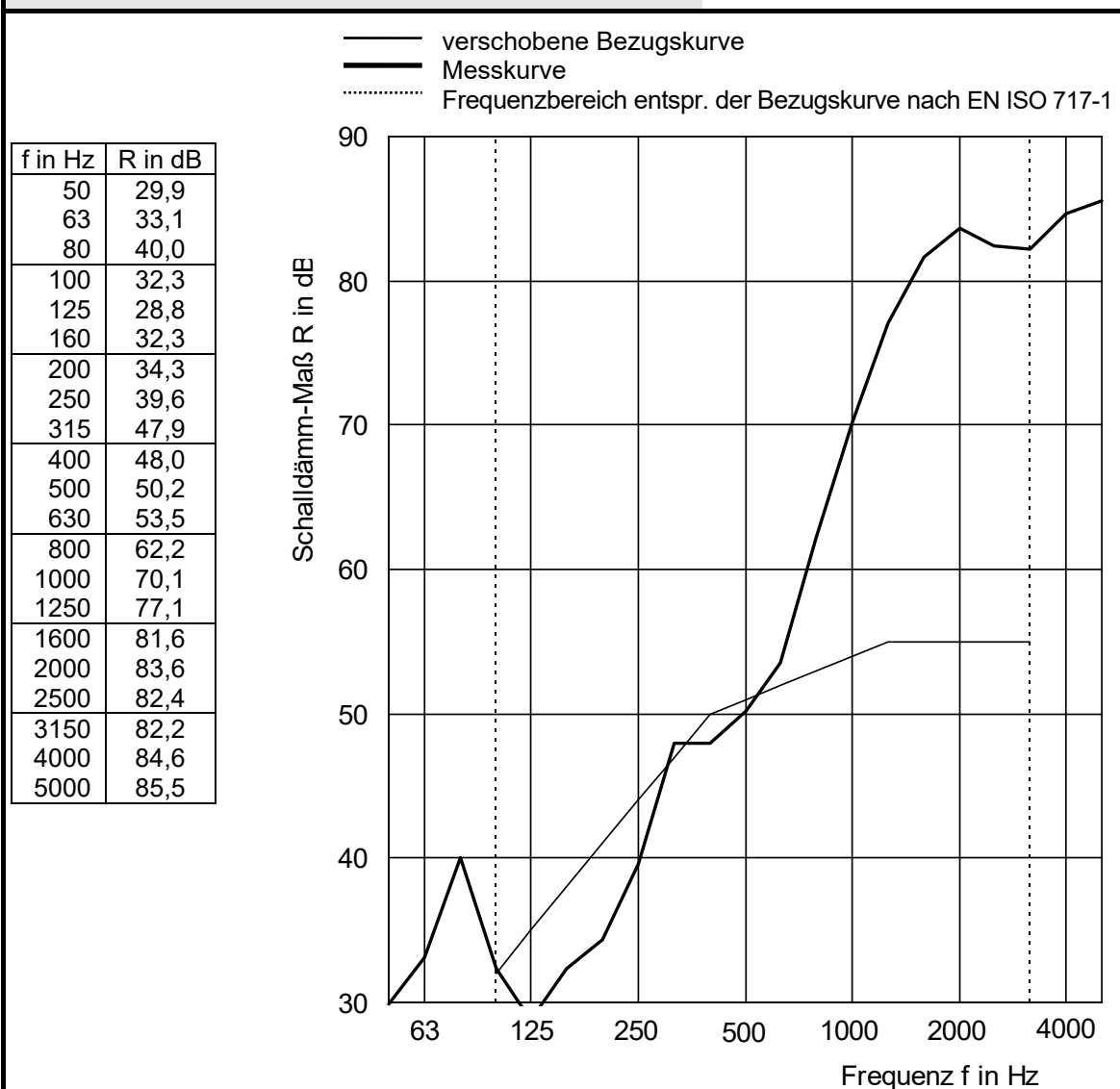
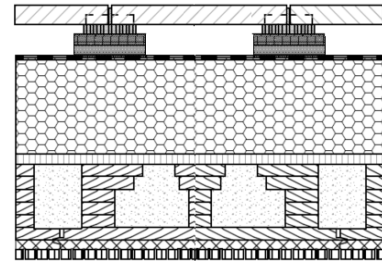
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
22 mm	OSB Platte
196 mm	Brettspertholz-Rippenelemente LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 17

Prüfdatum 14. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 51 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -2 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -8 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -8 \text{ dB}$

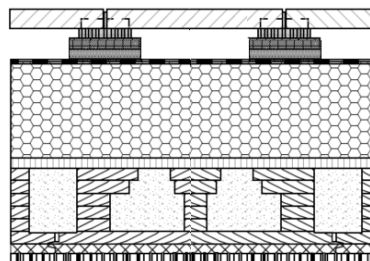
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

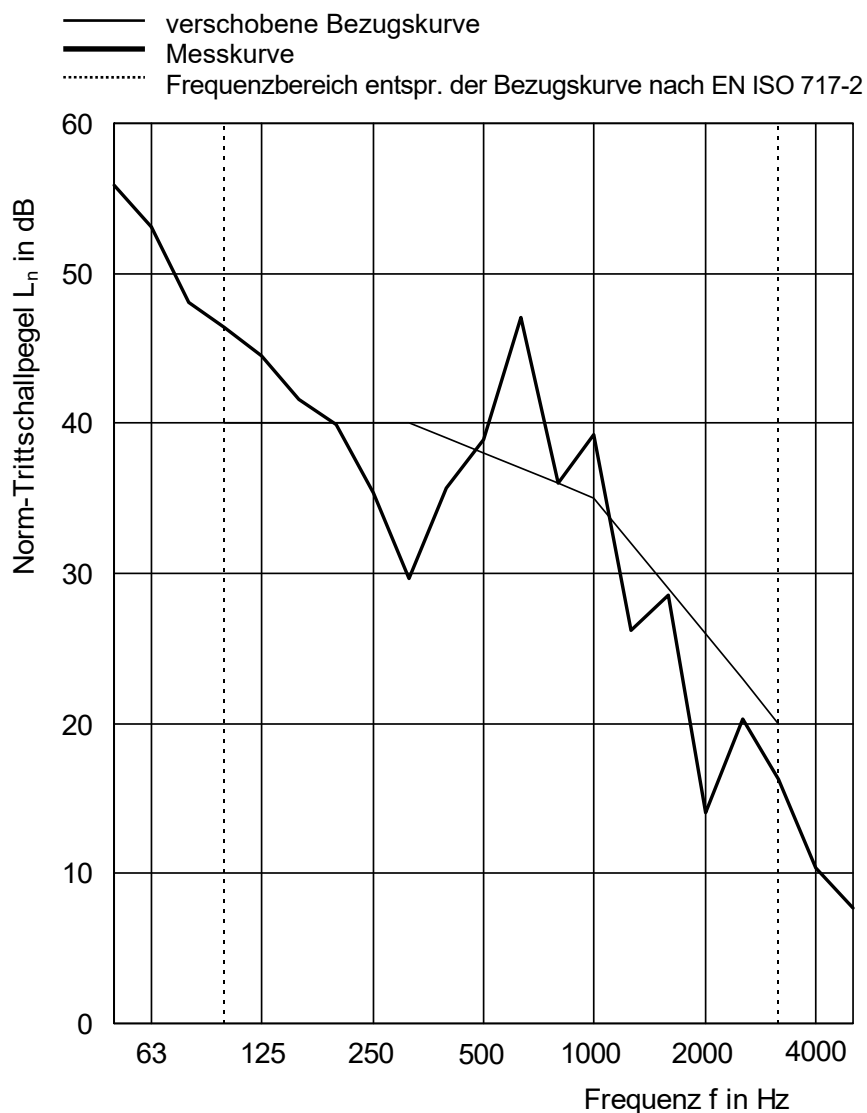
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
22 mm	OSB Platte
196 mm	Brettsperrholz-Rippenelemente LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 17_TS

Prüfdatum 14. Juni 2018



f in Hz	L _n in dB
50	55,9
63	53,1
80	48,1
100	46,4
125	44,5
160	41,6
200	39,9
250	35,3
315	29,7
400	35,7
500	38,9
630	47,1
800	36,0
1000	39,3
1250	26,2
1600	28,5
2000	14,0
2500	20,3
3150	16,3
4000	10,4
5000	7,7



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

L_{n,w} (C₁) = 38 (-1) dB C_{1,50-2500} = 6 dB

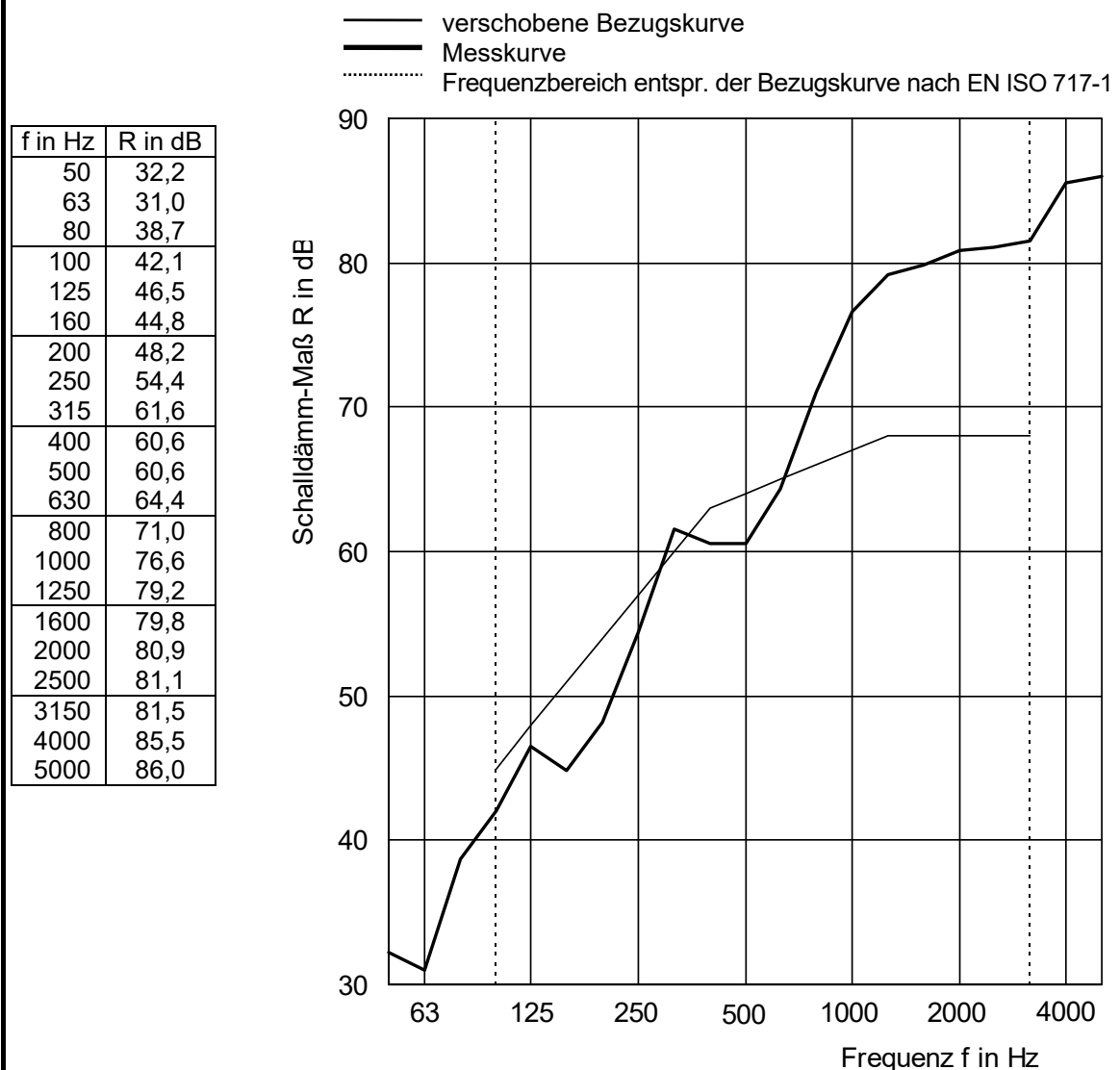
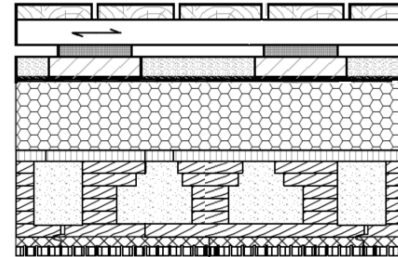
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Holzbelag

26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
22 mm	OSB Platte
196 mm	Brettsperrholz-Rippenelemente
	LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
	mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 18

Prüfdatum 14. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 64 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -4 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -14 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -14 \text{ dB}$

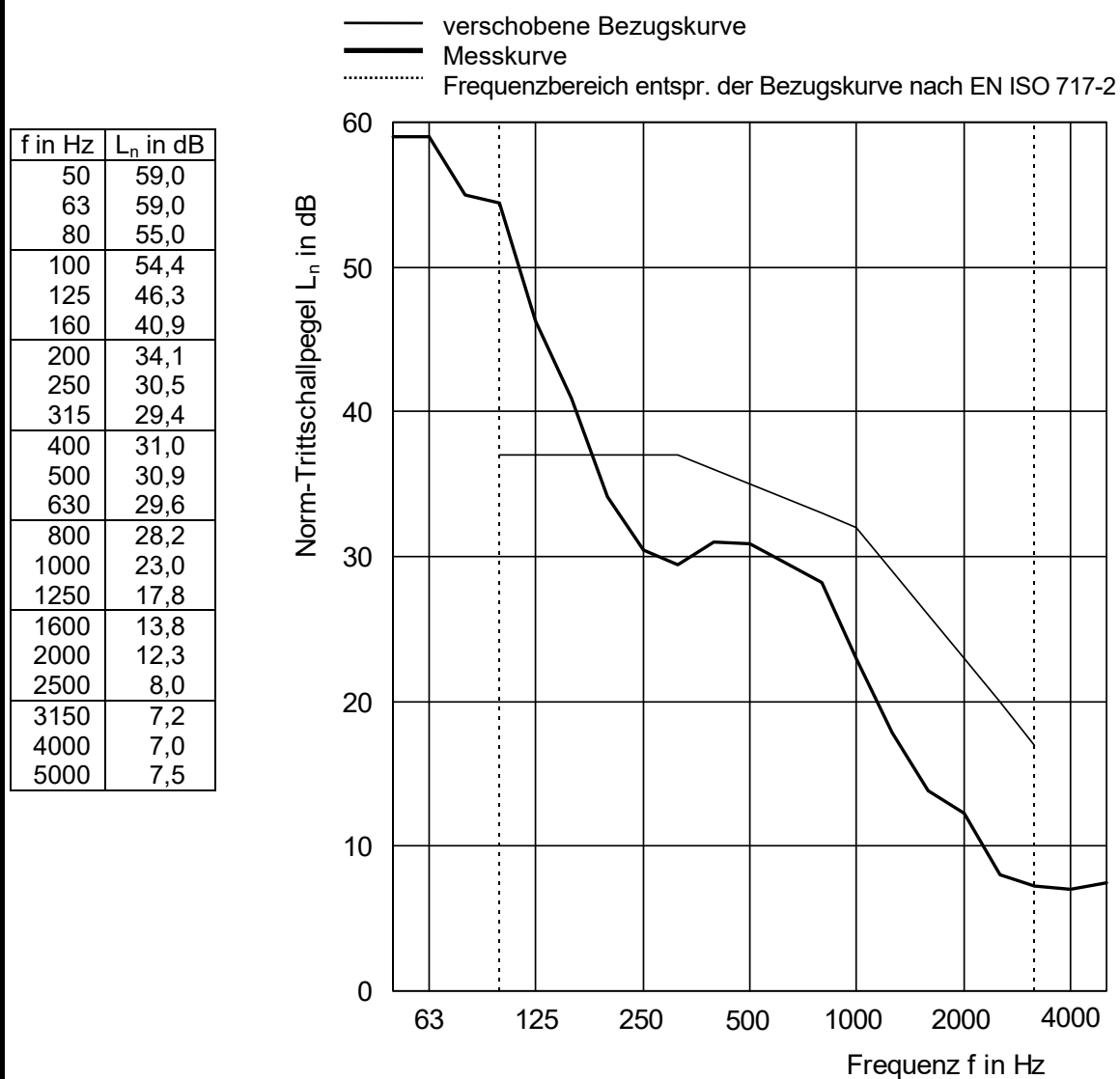
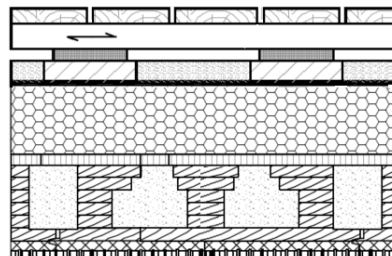
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Holzbelag

26 mm	Glattkantbretter 140/26, e = 150 mm
44 mm	Kanthölzer 66/44, e = 520 mm
12 mm	Baulager 60/80, 8 × 8 Stück
40 mm	Betonplatten 400/400, 8 × 8 Stück
	Zwischenraum mit Splitt gefüllt
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
22 mm	OSB Platte
196 mm	Brettspertholz-Rippenelemente LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 18_TS

Prüfdatum 14. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

$L_{n,w} (C_1) = 35 (5) \text{ dB}$ $C_{1,50-2500} = 14 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

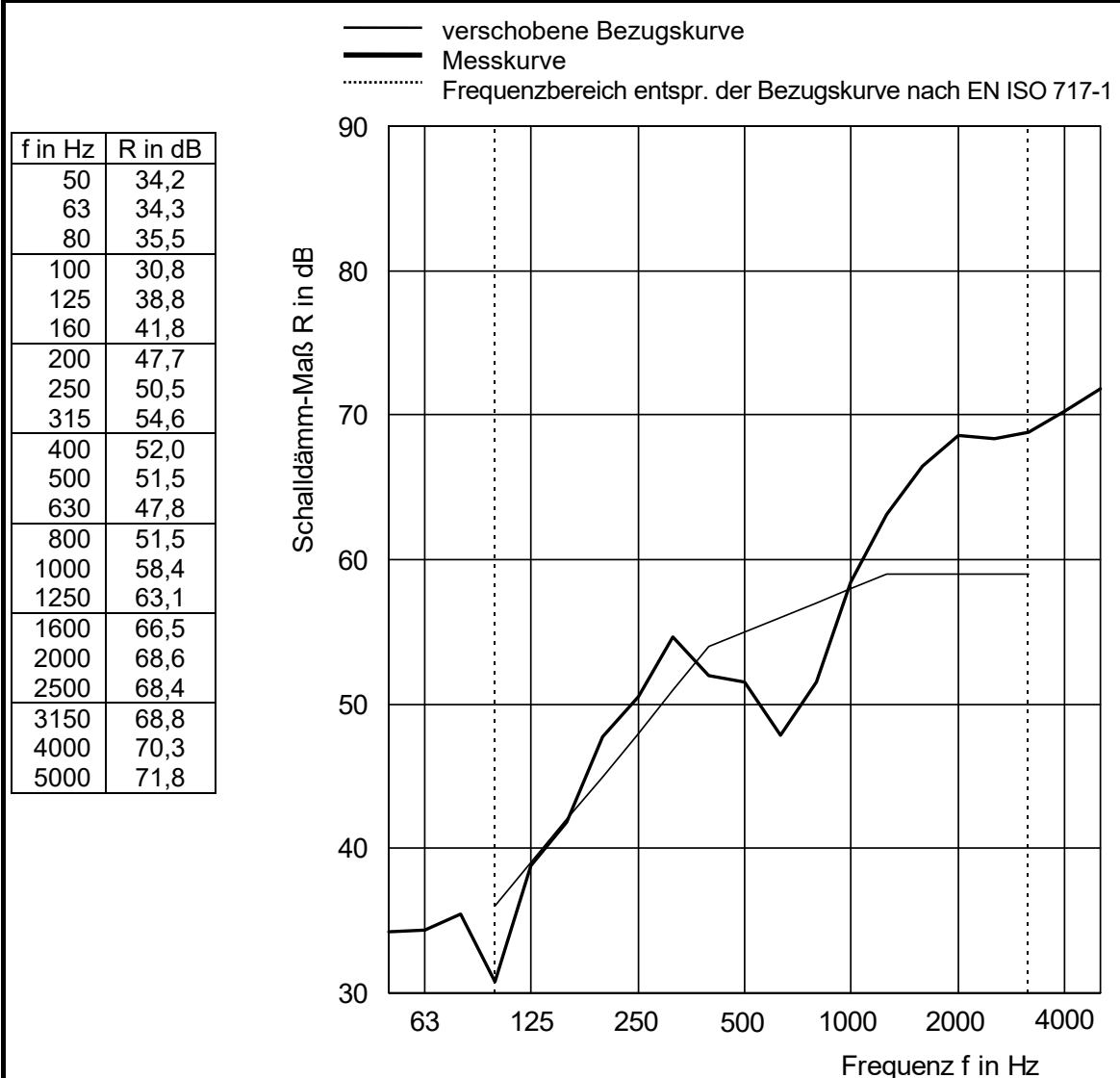
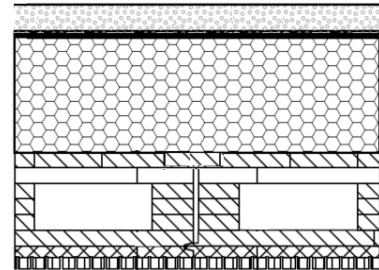
Flachdach mit Kiesbelag

50 mm Kies 4/16
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 140 mm EPS Flachdachdämmplatten

196 mm Brettsperrholz-Kastenelemente
 LIGNO Block Q3 Akustik Z1

Messung-Nr.: 19

Prüfdatum 20. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 55 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -2 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -8 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -8 \text{ dB}$

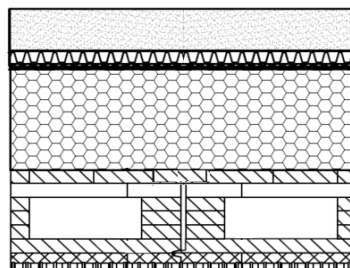
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Flachdach als Gründach

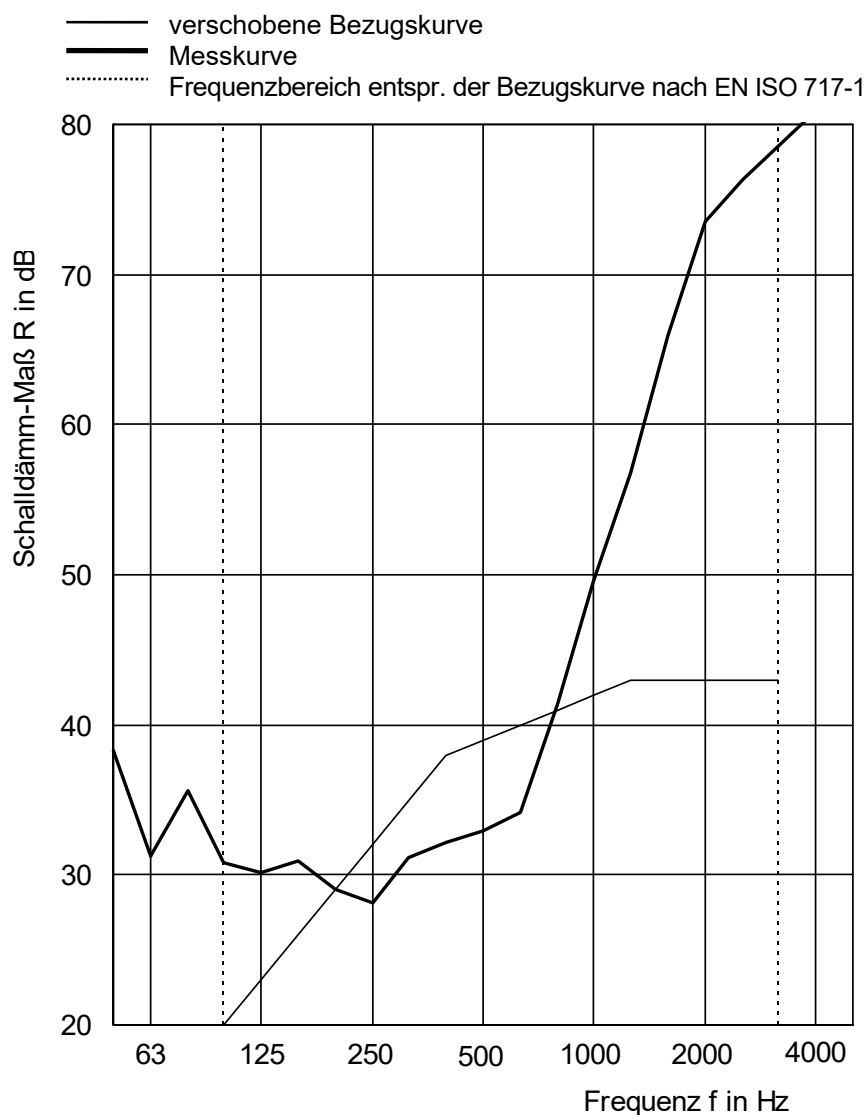
80 mm	mineralischer Schüttstoff
0,6 mm	Filtervlies aus PP
25 mm	Drän- und Wasserspeicherelement
5 mm	Speicherschutzmatte aus PE/PP
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
196 mm	Brettspertholz-Kastenelemente LIGNO Block Q3 Akustik Z1

Messung-Nr.: 20

Prüfdatum 21. Juni 2018



f in Hz	R in dB
50	38,3
63	31,3
80	35,6
100	30,8
125	30,1
160	30,9
200	29,0
250	28,1
315	31,2
400	32,2
500	32,9
630	34,2
800	41,4
1000	49,5
1250	56,8
1600	66,0
2000	73,5
2500	76,3
3150	78,6
4000	80,9
5000	80,8



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 39 (0; -3) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = 0 \text{ dB}; C_{100-5000} = 1 \text{ dB}; C_{50-5000} = 1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -3 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -3 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -3 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

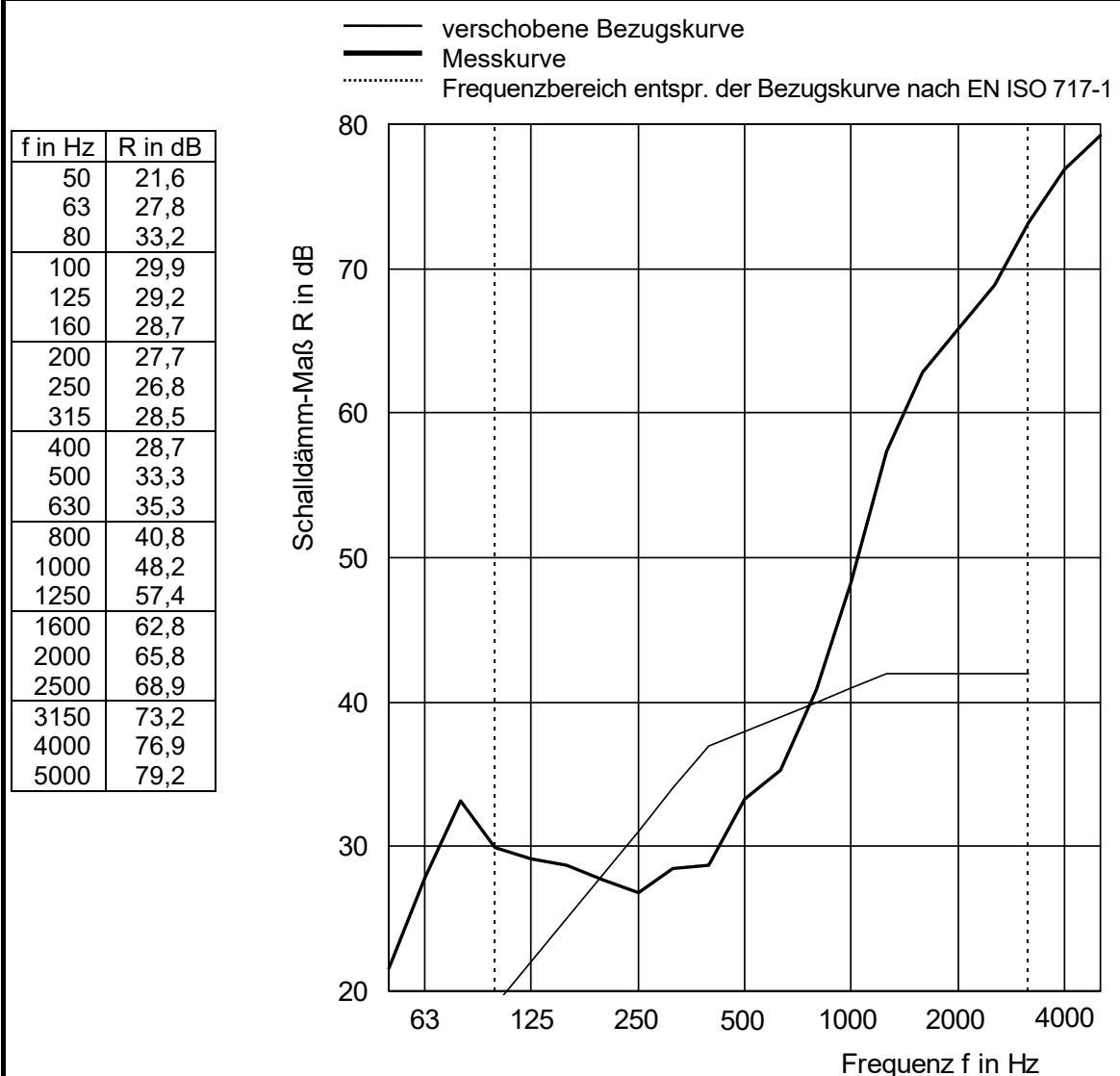
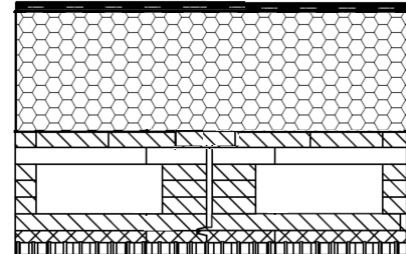
Flachdach mit Kunststoffbahn

2,5 mm EVA-Dachbahn
200 mm EPS Flachdachdämmplatten

Messung-Nr.: 21

Prüfdatum 19. Juni 2018

196 mm Brettsperrholz-Kastenelemente
LIGNO Block Q3 Akustik Z1



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 38 (0; -3) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = 0 \text{ dB}; C_{100-5000} = 1 \text{ dB}; C_{50-5000} = 1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -4 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -3 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -4 \text{ dB}$

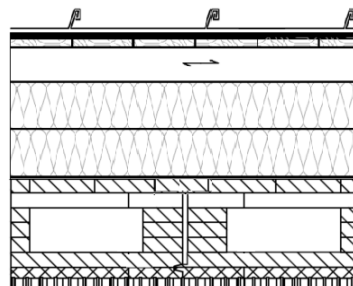
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Flachgeneigtes Dach mit Blecheindeckung

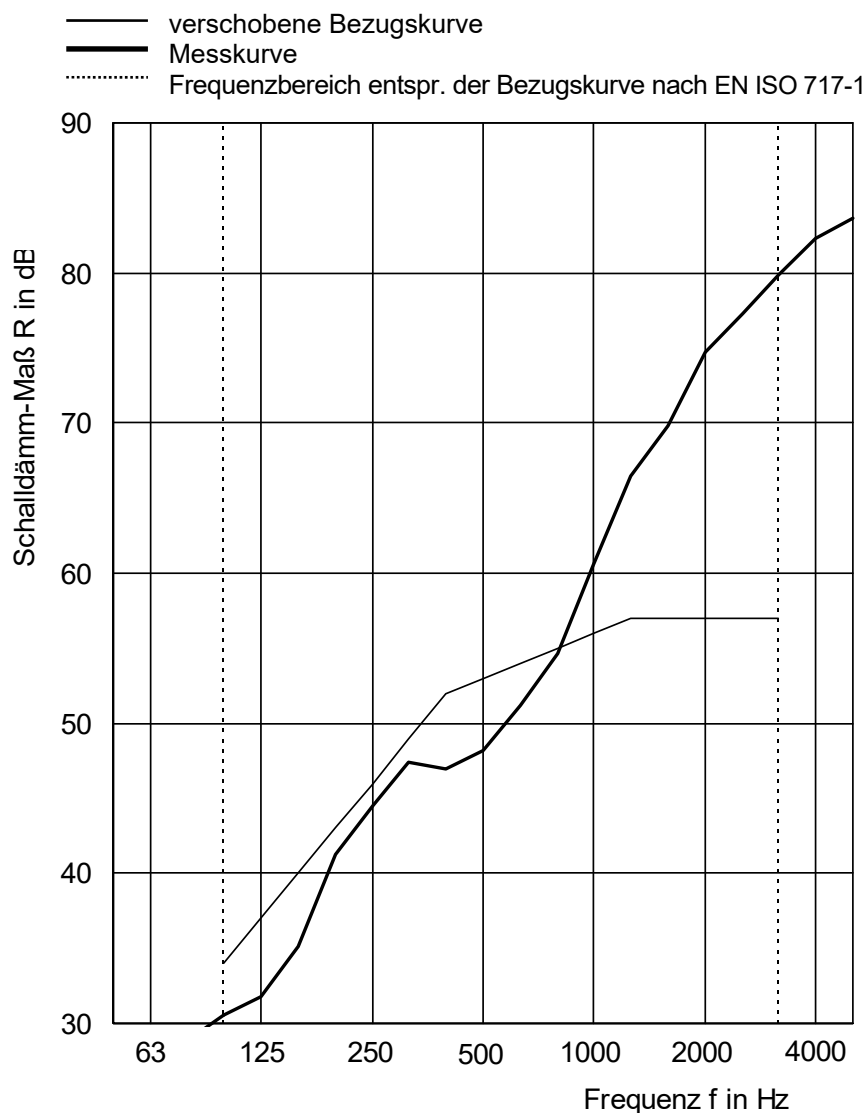
0,7 mm	Alu-Bänder mit Doppelstehfalz
3 mm	Bitumen-Unterdachbahn
24 mm	Schalung aus Nadelholz
80 mm	Kanthölzer 80/80, e = 640 mm
2 × 100 mm	Holzfaserdämmplatten
196 mm	Brettsper Holz-Kastenelemente LIGNO Block Q3 Akustik Z1

Messung-Nr.: 22

Prüfdatum 22. Juni 2018



f in Hz	R in dB
50	25,8
63	26,3
80	28,9
100	30,6
125	31,8
160	35,1
200	41,3
250	44,5
315	47,4
400	46,9
500	48,2
630	51,2
800	54,6
1000	60,6
1250	66,5
1600	69,8
2000	74,7
2500	77,3
3150	79,8
4000	82,3
5000	83,6



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 53 (-2; -7) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -3 \text{ dB}; C_{100-5000} = -1 \text{ dB}; C_{50-5000} = -2 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -11 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -11 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

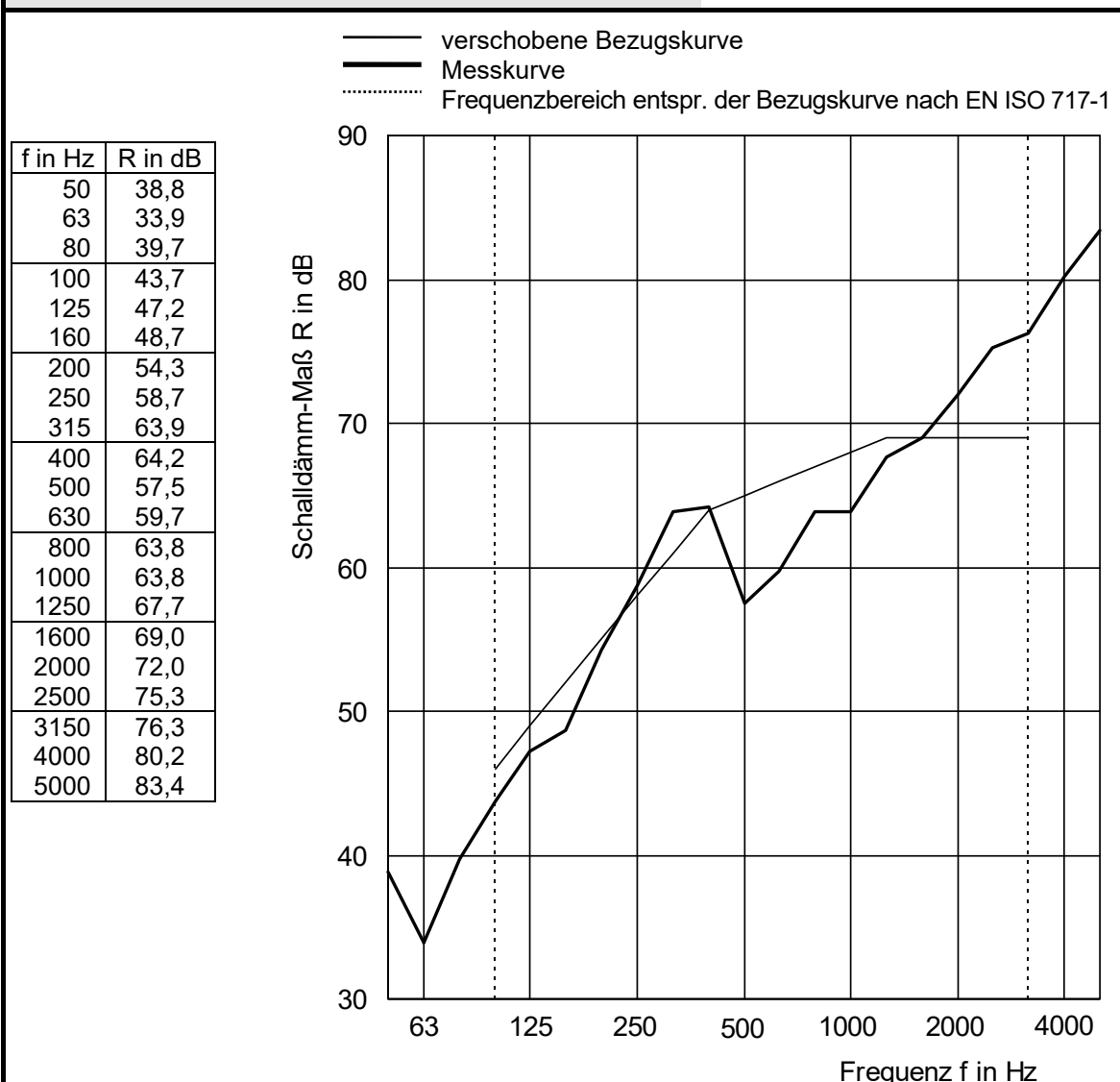
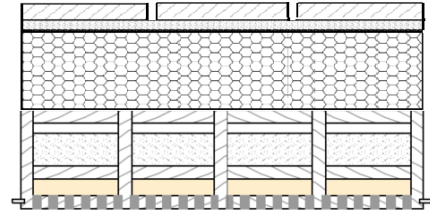
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 200 mm EPS Flachdachdämmplatten

240 mm LIGNATUR Flächenelemente
 LFE 240 Akustik REI30
 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 23

Prüfdatum 12. Juli 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 65 (-2; -6) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -3 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -2 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -12 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -6 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -12 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

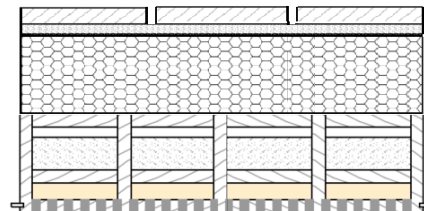
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
200 mm EPS Flachdachdämmplatten

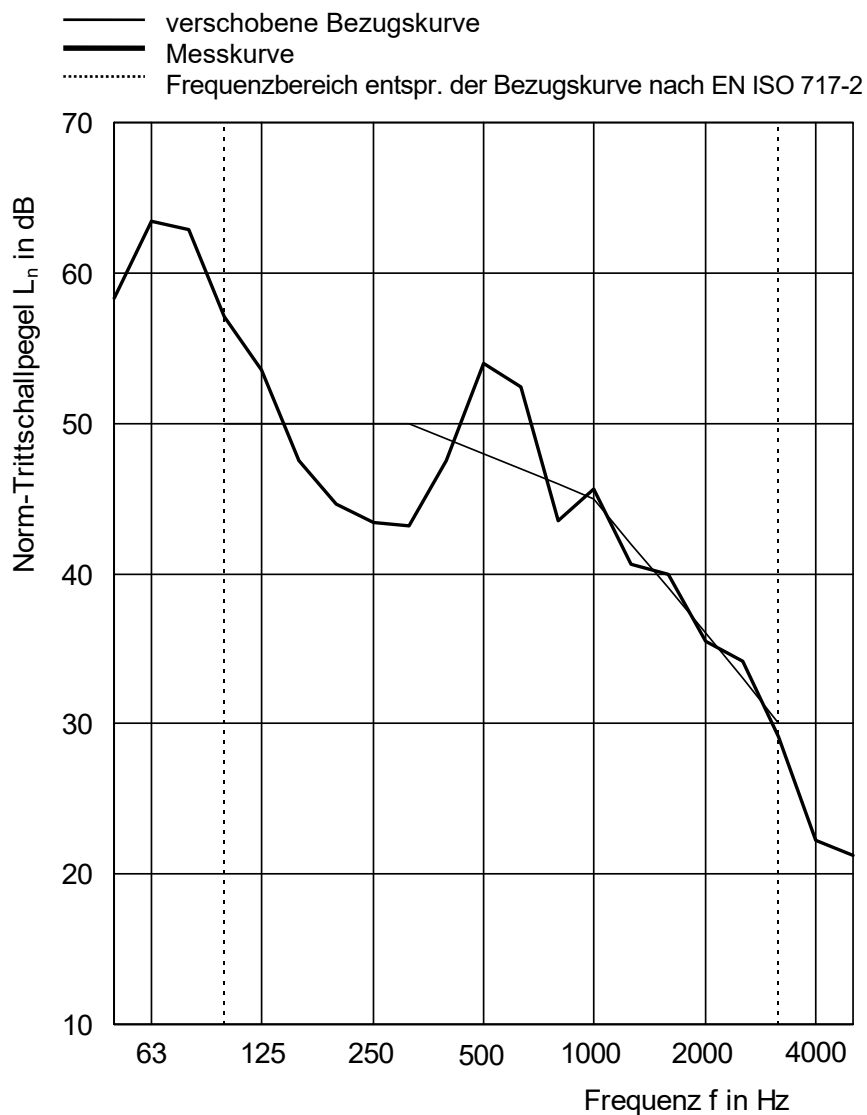
240 mm LIGNATUR Flächenelemente
LFE 240 Akustik REI30
mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 23_TS

Prüfdatum 12. Juli 2018



f in Hz	L_n in dB
50	58,3
63	63,4
80	62,9
100	57,1
125	53,5
160	47,5
200	44,6
250	43,4
315	43,2
400	47,5
500	54,0
630	52,4
800	43,5
1000	45,6
1250	40,6
1600	39,9
2000	35,5
2500	34,2
3150	29,2
4000	22,3
5000	21,2



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

$L_{n,w} (C_1) = 48 (-1) \text{ dB}$ $C_{1,50-2500} = 5 \text{ dB}$

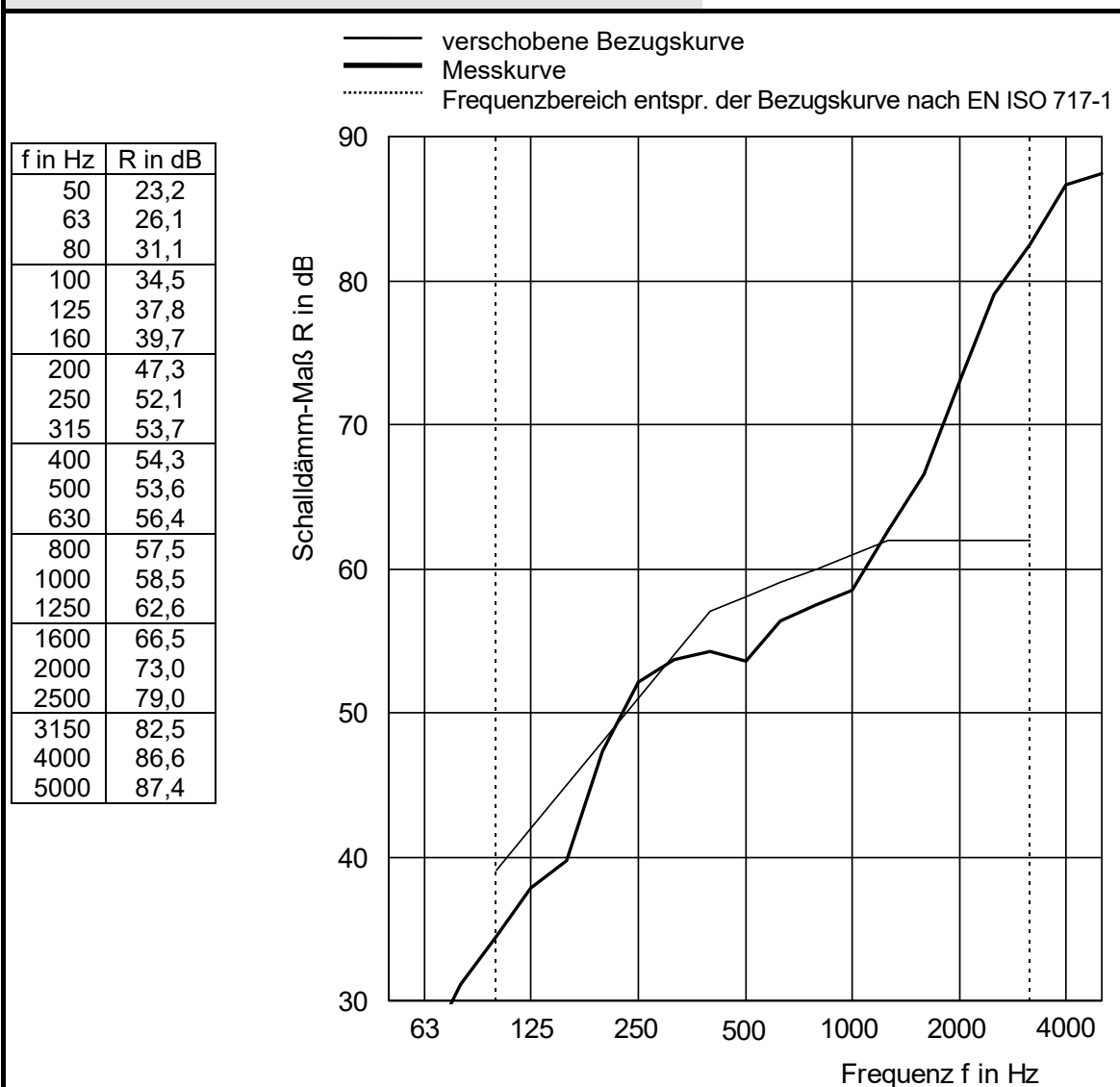
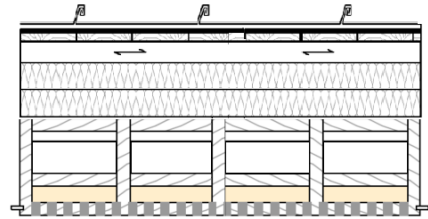
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Flachgeneigtes Dach mit Blecheindeckung

0,7 mm	Alu-Bänder mit Doppelstehfalz
3 mm	Bitumen-Unterdachbahn
24 mm	Schalung aus Nadelholz
80 mm	Kanthölzer 80/80, e = 640 mm
2 × 100 mm	Holzfaserdämmplatten
240 mm	LIGNATUR Flächenelemente LFE 240 Akustik REI30

Messung-Nr.: 24

Prüfdatum 6. Juli 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

 $R_w (C; C_{tr}) = 58 (-2; -8) \text{ dB}$
 $C_{50-3150} = -4 \text{ dB}; C_{100-5000} = -1 \text{ dB}; C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -14 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -8 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -14 \text{ dB}$

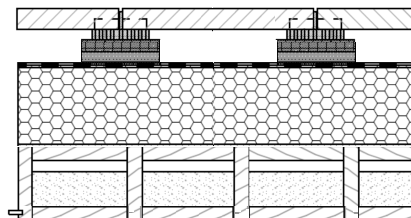
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Betonplatten

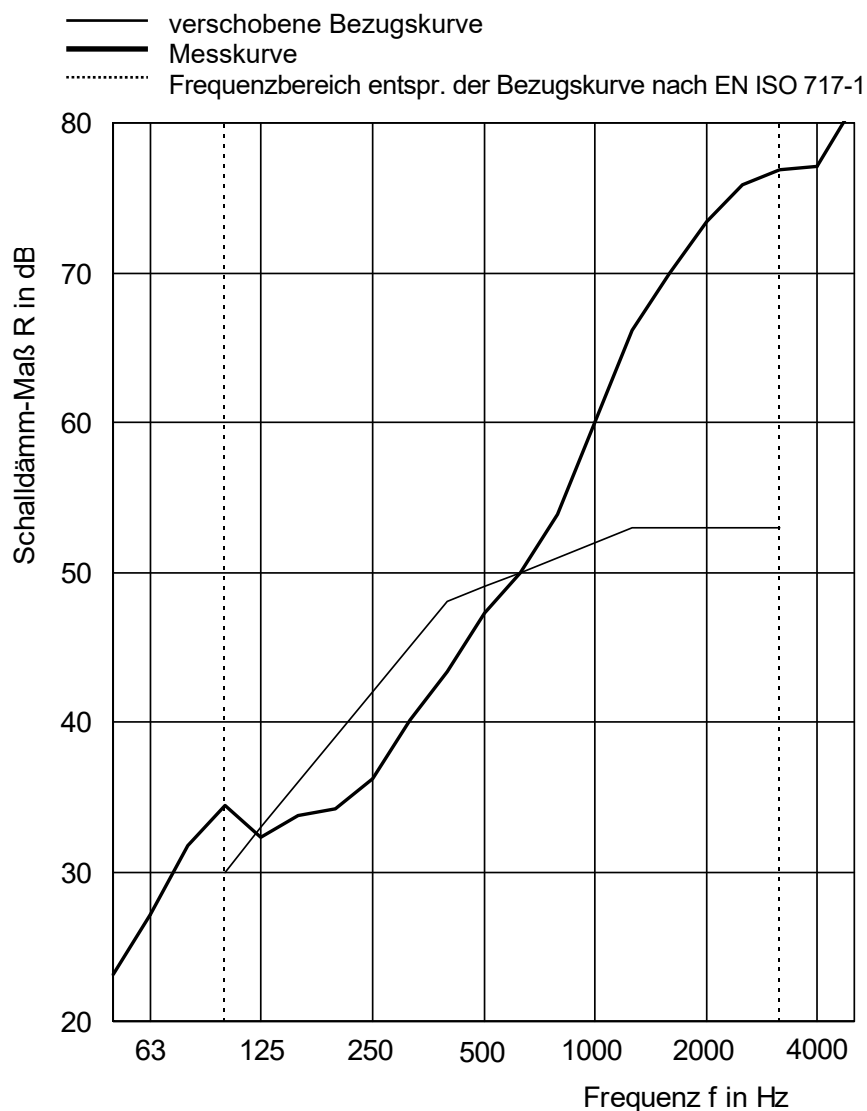
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
240 mm	LIGNATUR Flächenelemente LFE 240 REI30 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 25

Prüfdatum 4. Juli 2018



f in Hz	R in dB
50	23,1
63	27,2
80	31,7
100	34,4
125	32,3
160	33,7
200	34,2
250	36,2
315	40,1
400	43,4
500	47,3
630	49,9
800	53,9
1000	60,0
1250	66,1
1600	69,9
2000	73,4
2500	75,9
3150	76,9
4000	77,1
5000	81,2



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

R_w (C; C_{tr}) = 49 (-1; -5) dB

C₅₀₋₃₁₅₀ = -1 dB; C₁₀₀₋₅₀₀₀ = 0 dB; C₅₀₋₅₀₀₀ = 0 dB

C_{tr,50-3150} = -8 dB; C_{tr,100-5000} = -5 dB; C_{tr,50-5000} = -8 dB

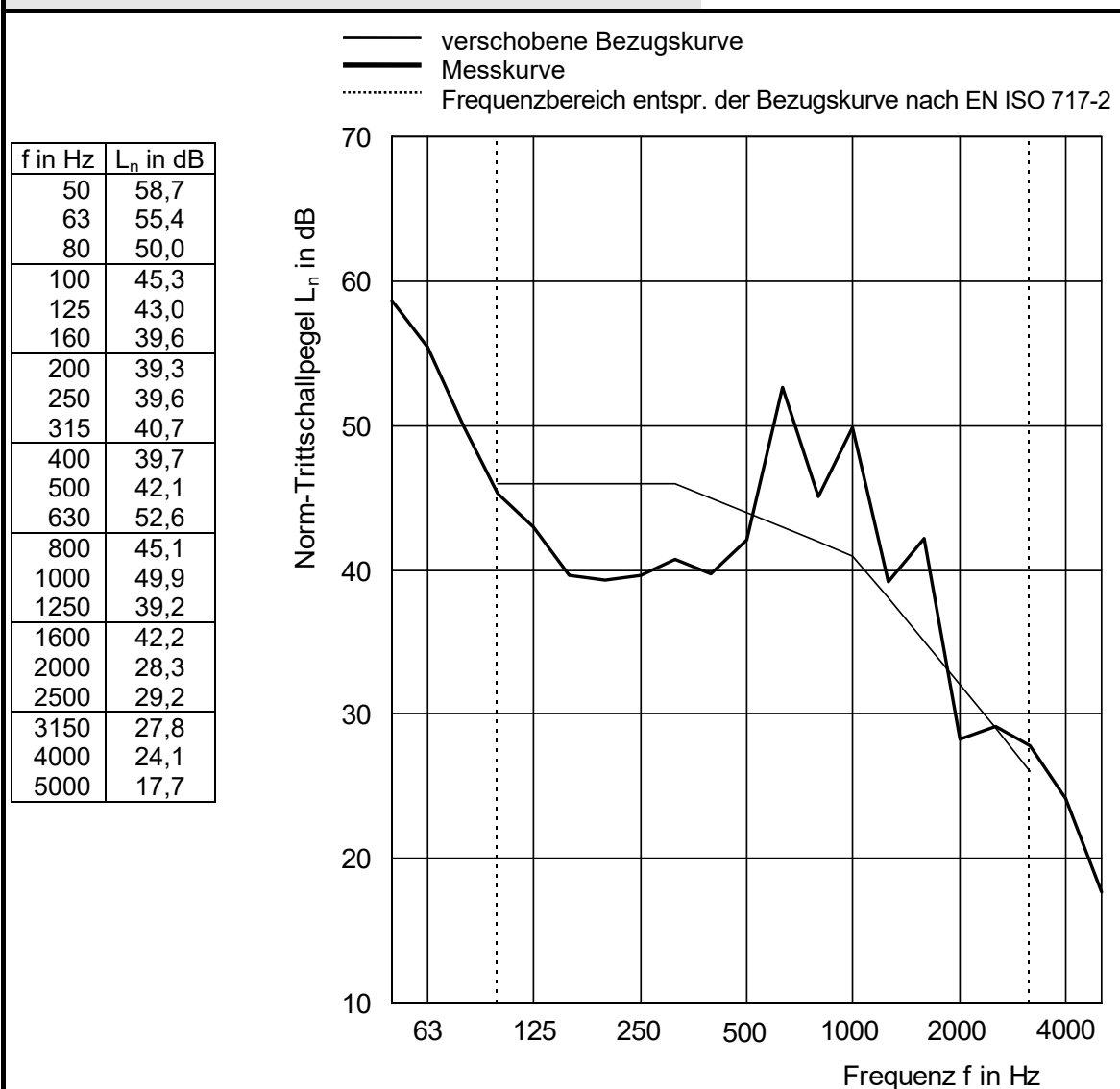
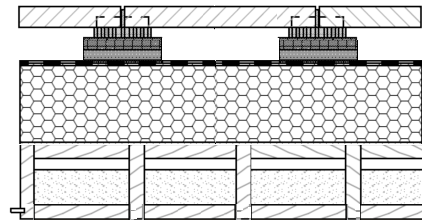
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
12 mm	Baulager, Ø = 150 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
240 mm	LIGNATUR Flächenelemente LFE 240 REI30 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 25_TS

Prüfdatum 4. Juli 2018



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

 $L_{n,w} (C_1) = 44 (-2) \text{ dB}$
 $C_{1,50-2500} = 3 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

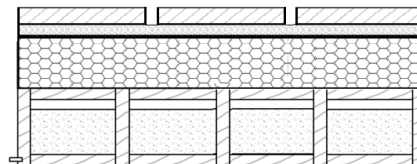
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
200 mm EPS Flachdachdämmplatten

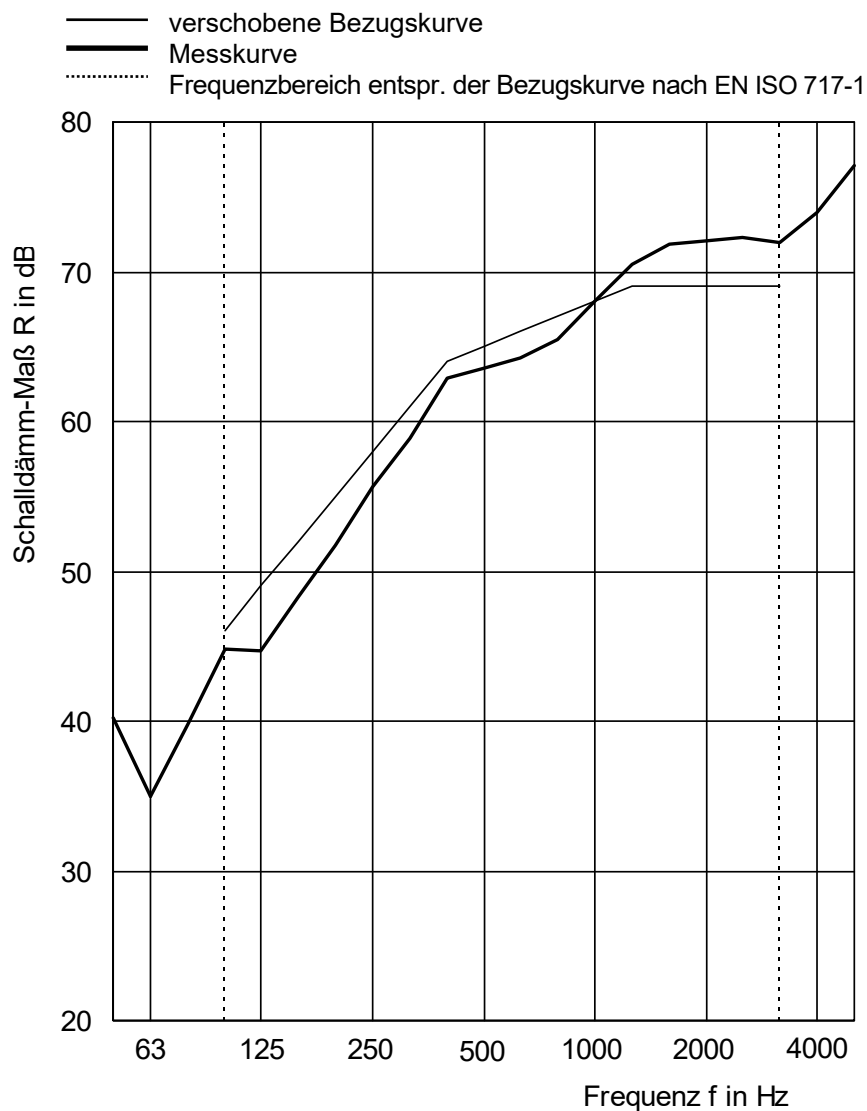
240 mm LIGNATUR Flächenelemente
LFE 240 REI30
mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 26

Prüfdatum 28. Juni 2018



f in Hz	R in dB
50	40,2
63	35,0
80	39,8
100	44,8
125	44,7
160	48,3
200	51,7
250	55,6
315	58,9
400	62,9
500	63,6
630	64,3
800	65,5
1000	68,1
1250	70,5
1600	71,8
2000	72,1
2500	72,3
3150	71,9
4000	74,0
5000	77,1



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 65 (-2; -6) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -3 \text{ dB}; C_{100-5000} = -1 \text{ dB}; C_{50-5000} = -2 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -11 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -6 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -11 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

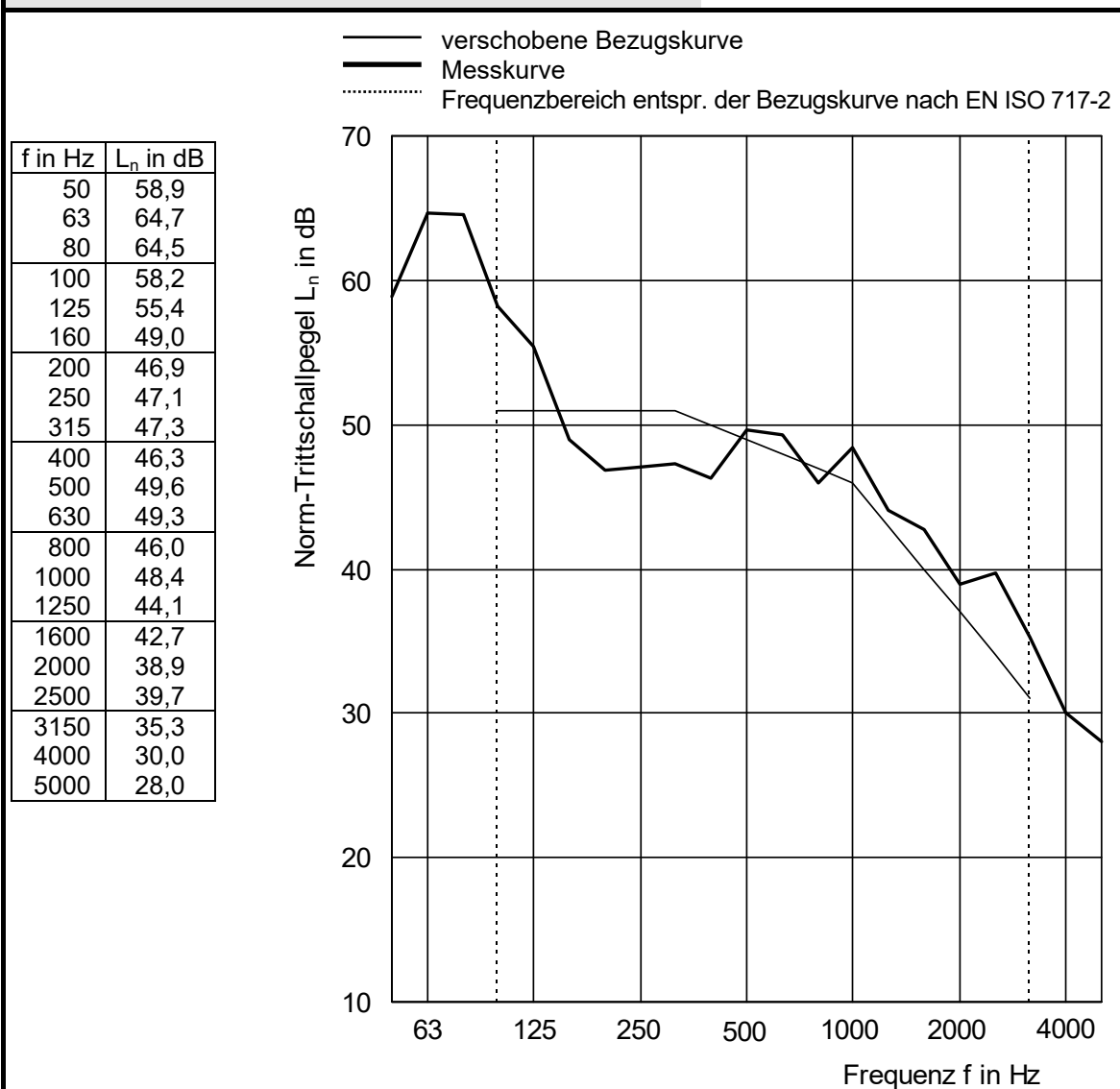
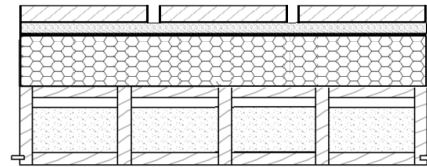
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 200 mm EPS Flachdachdämmplatten

240 mm LIGNATUR Flächenelemente
 LFE 240 REI30
 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 26_TS

Prüfdatum 28. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

$L_{n,w} (C_1) = 49 (-2) \text{ dB}$ $C_{1,50-2500} = 5 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

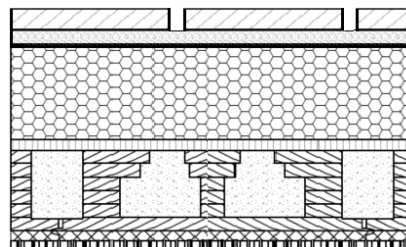
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm Splitt 5/8
2,5 mm EPDM-Dachbahn
140 mm EPS Flachdachdämmplatten

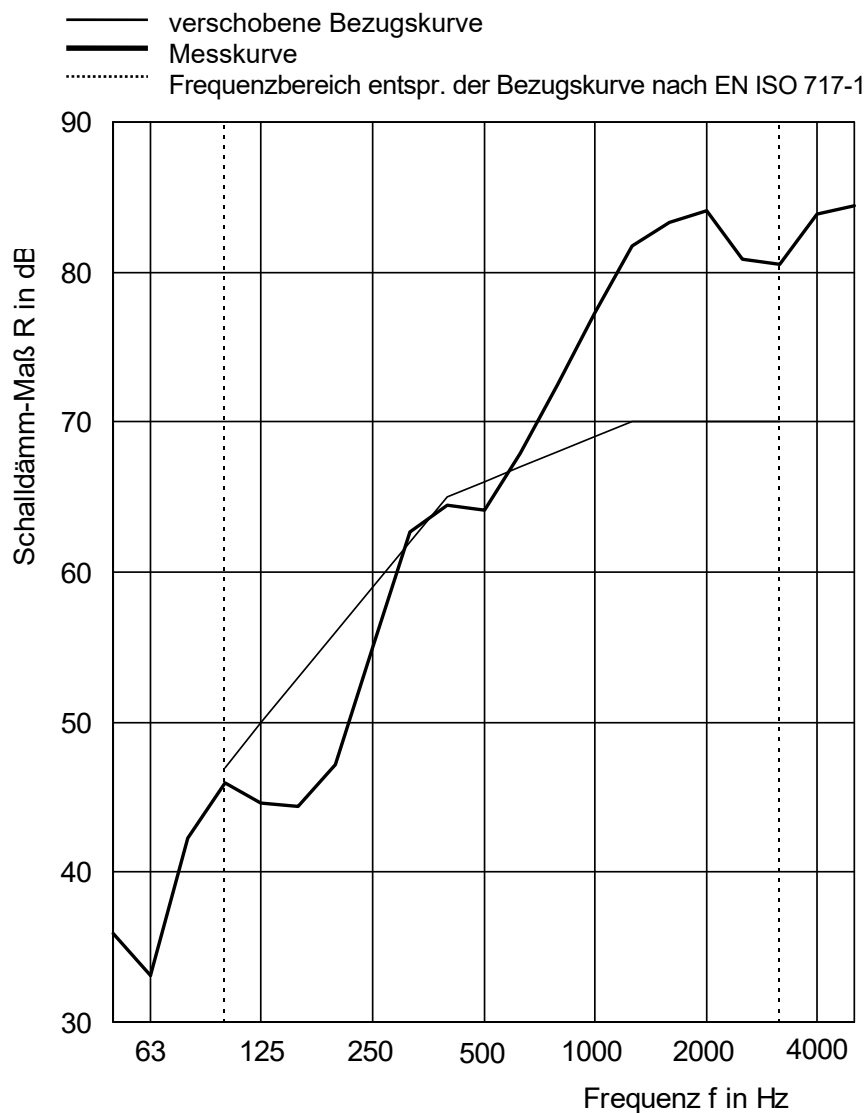
22 mm OSB Platte
196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 27

Prüfdatum 12. Juni 2018



f in Hz	R in dB
50	35,9
63	33,1
80	42,3
100	45,9
125	44,6
160	44,4
200	47,2
250	55,0
315	62,7
400	64,5
500	64,1
630	67,9
800	72,5
1000	77,3
1250	81,7
1600	83,3
2000	84,1
2500	80,9
3150	80,5
4000	83,9
5000	84,4



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 66 (-3; -9) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -5 \text{ dB}; C_{100-5000} = -2 \text{ dB}; C_{50-5000} = -4 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -13 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -13 \text{ dB}$

Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

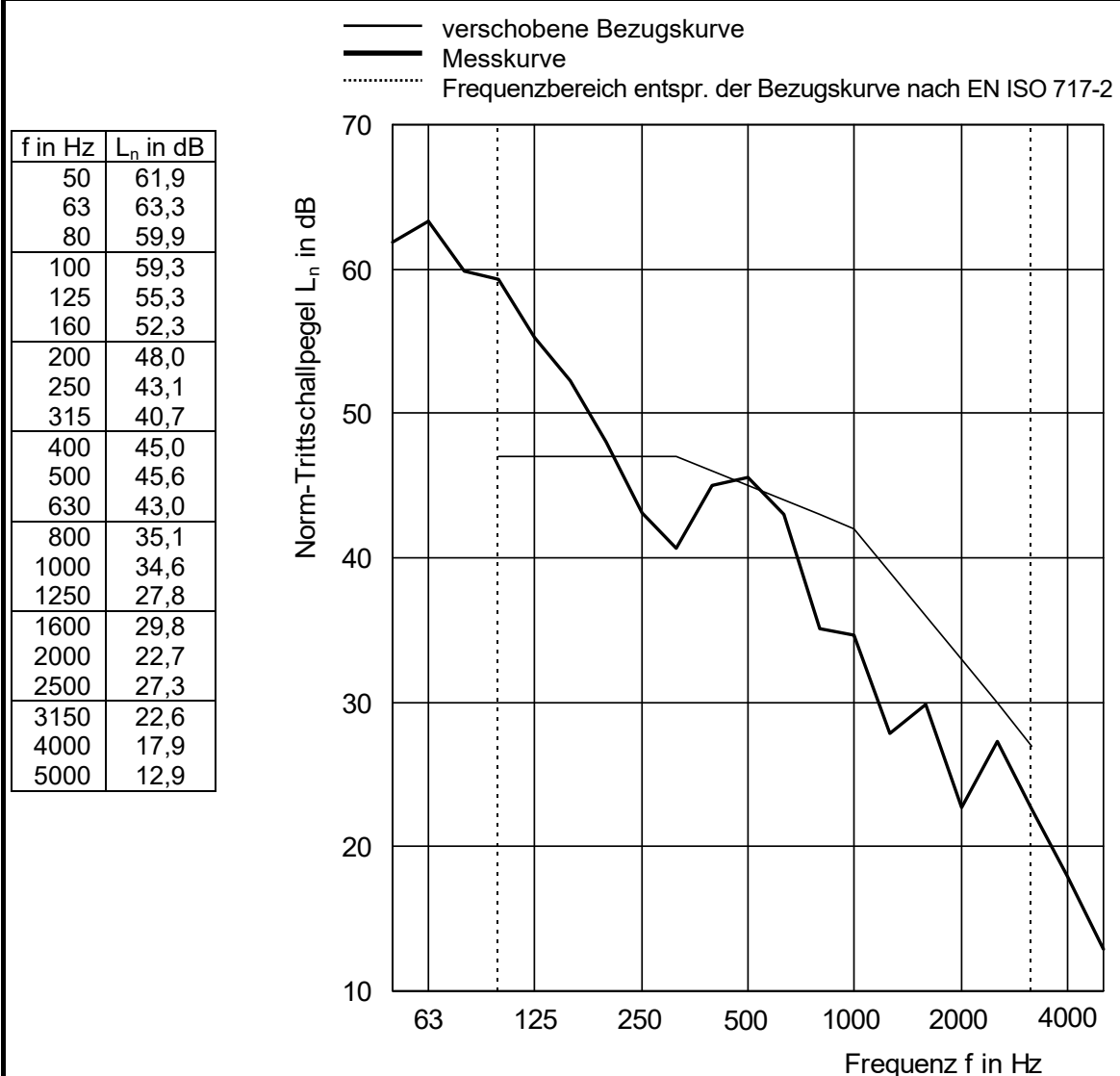
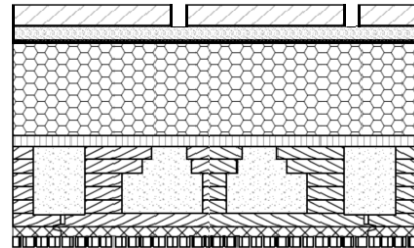
Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
 30 mm Splitt 5/8
 2,5 mm EPDM-Dachbahn
 140 mm EPS Flachdachdämmplatten

22 mm OSB Platte
 196 mm Brettsperrholz-Rippenelemente
 LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1
 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 27_TS

Prüfdatum 12. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

 $L_{n,w} (C_1) = 45 (2) \text{ dB}$
 $C_{1,50-2500} = 8 \text{ dB}$

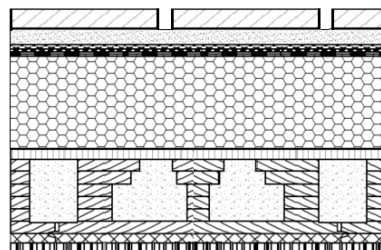
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Betonplatten

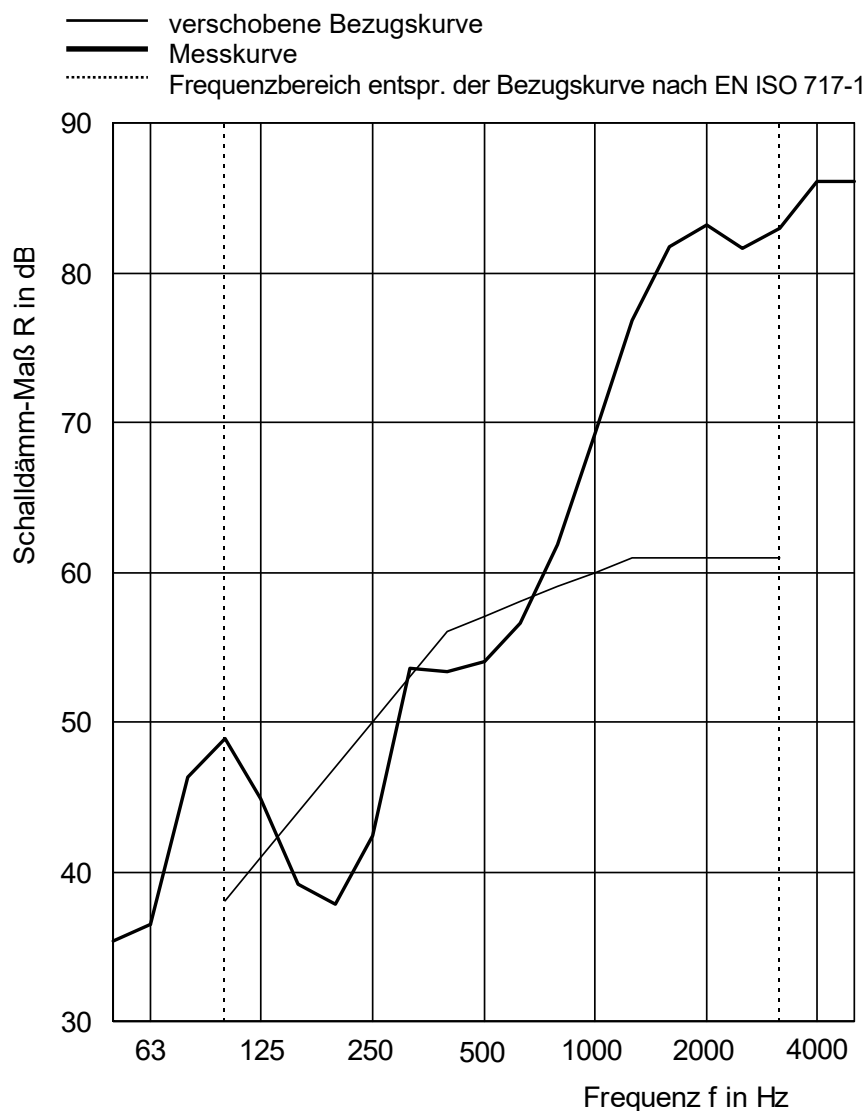
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm	Splitt 5/8
5 mm	Speicherschutzmatte aus PE/PP
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
22 mm	OSB Platte
196 mm	Brettspertholz-Rippenelemente LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 30

Prüfdatum 15. Juni 2018



f in Hz	R in dB
50	35,4
63	36,5
80	46,3
100	48,9
125	44,9
160	39,2
200	37,8
250	42,4
315	53,6
400	53,3
500	54,0
630	56,6
800	61,8
1000	69,2
1250	76,8
1600	81,7
2000	83,2
2500	81,6
3150	83,0
4000	86,1
5000	86,1



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 57 (-2; -7) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -2 \text{ dB}; C_{100-5000} = -1 \text{ dB}; C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -8 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -8 \text{ dB}$

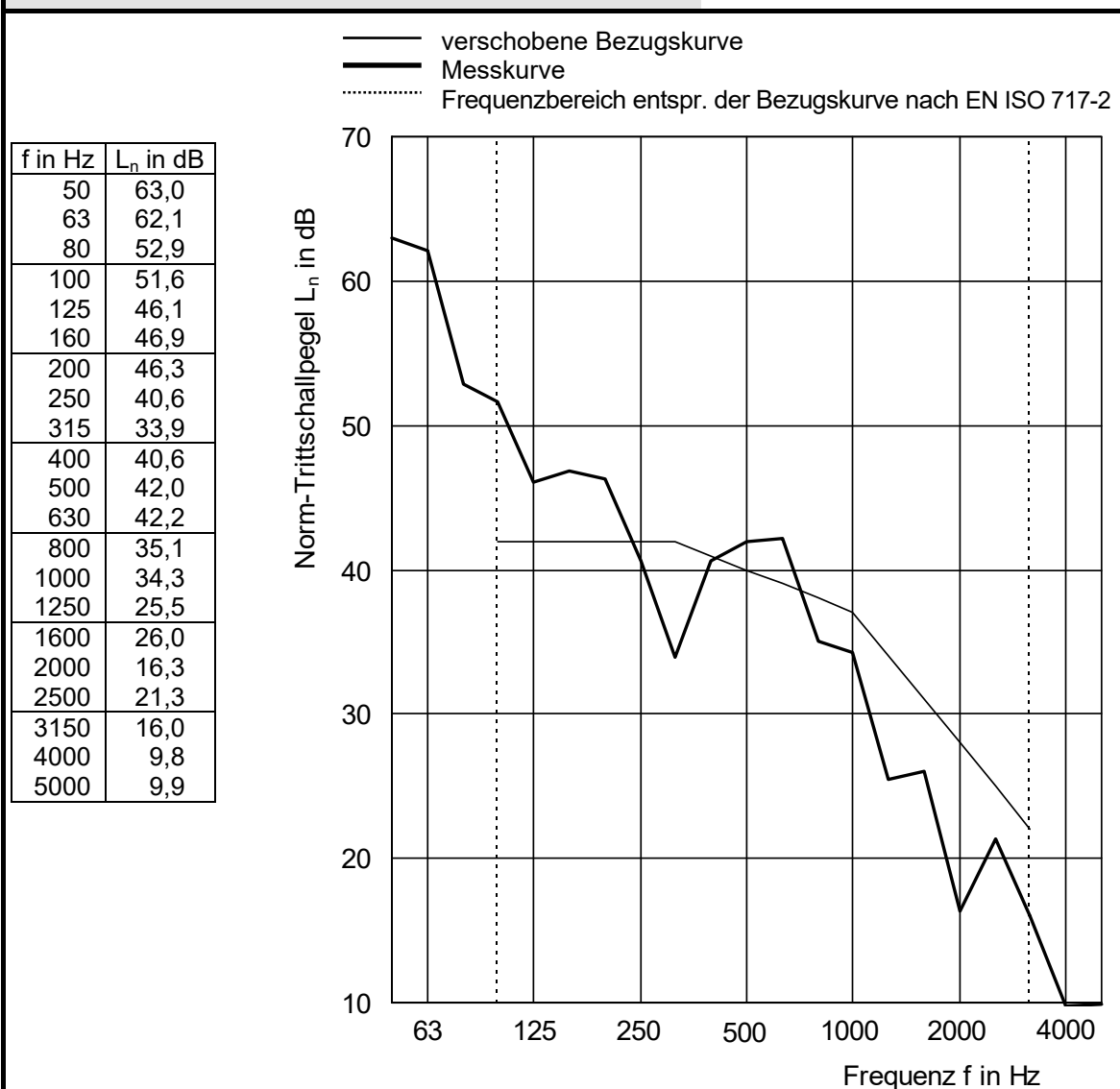
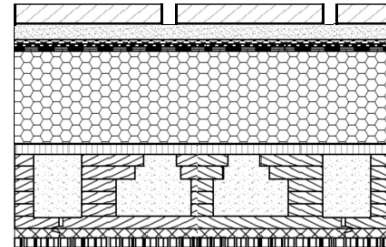
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

40 mm	Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
30 mm	Splitt 5/8
5 mm	Speicherschutzmatte aus PE/PP
2,5 mm	EPDM-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
22 mm	OSB Platte
196 mm	Brettsperrholz-Rippenelemente LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 30_TS

Prüfdatum 15. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

 $L_{n,w} (C_1) = 40 (0) \text{ dB}$
 $C_{1,50-2500} = 11 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

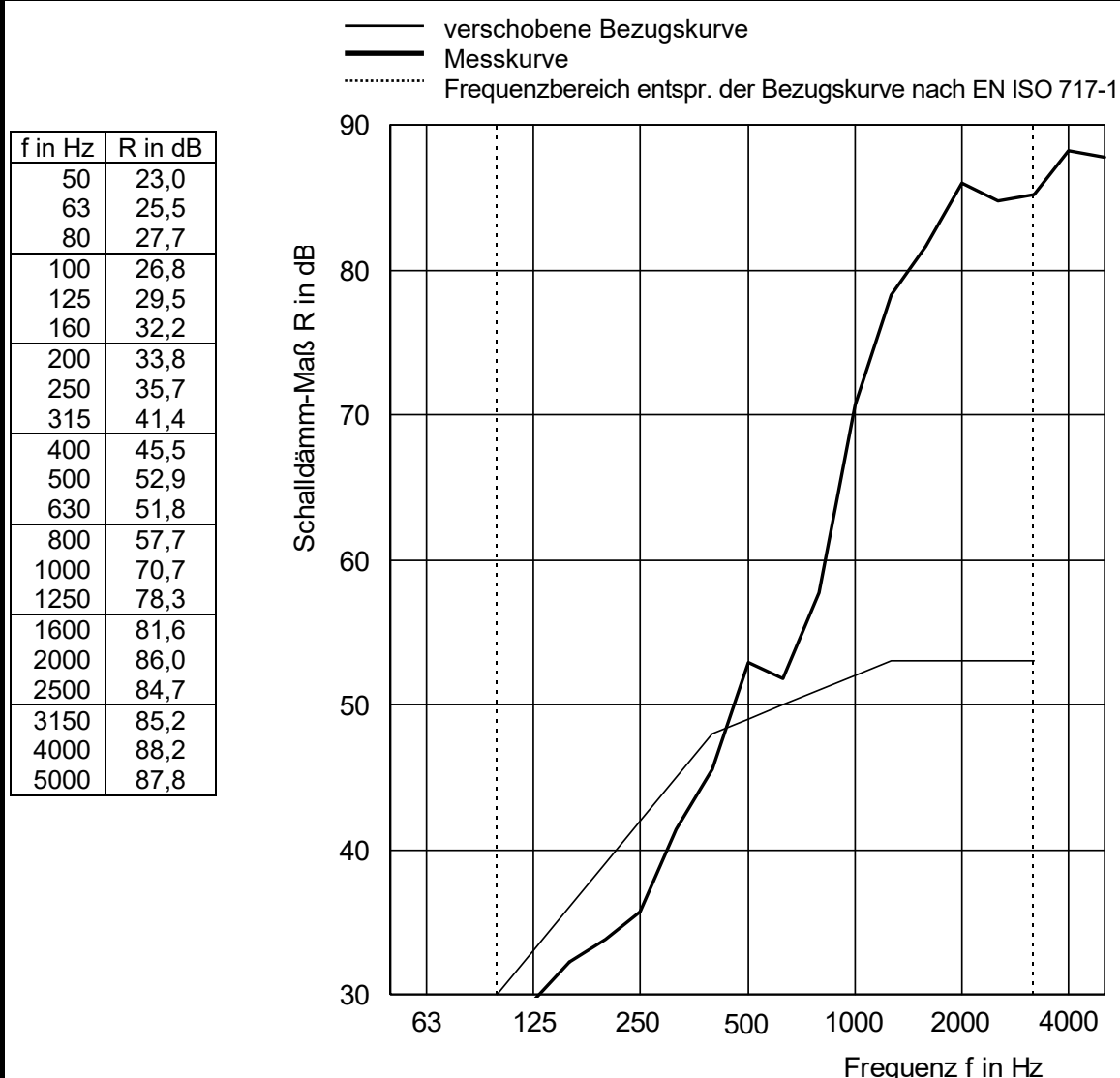
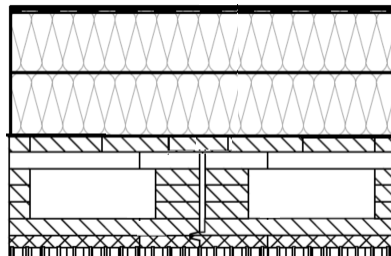
Flachdach mit Kunststoffbahn

2,5 mm EVA-Dachbahn
2 × 100 mm Steinwolle-Dachdämmplatten

Messung-Nr.: 33

Prüfdatum 19. Juni 2018

196 mm Brettsperrholz-Kastenelemente
LIGNO Block Q3 Akustik Z1



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 49 (-2; -7) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -2 \text{ dB}; C_{100-5000} = -1 \text{ dB}; C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -9 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -9 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

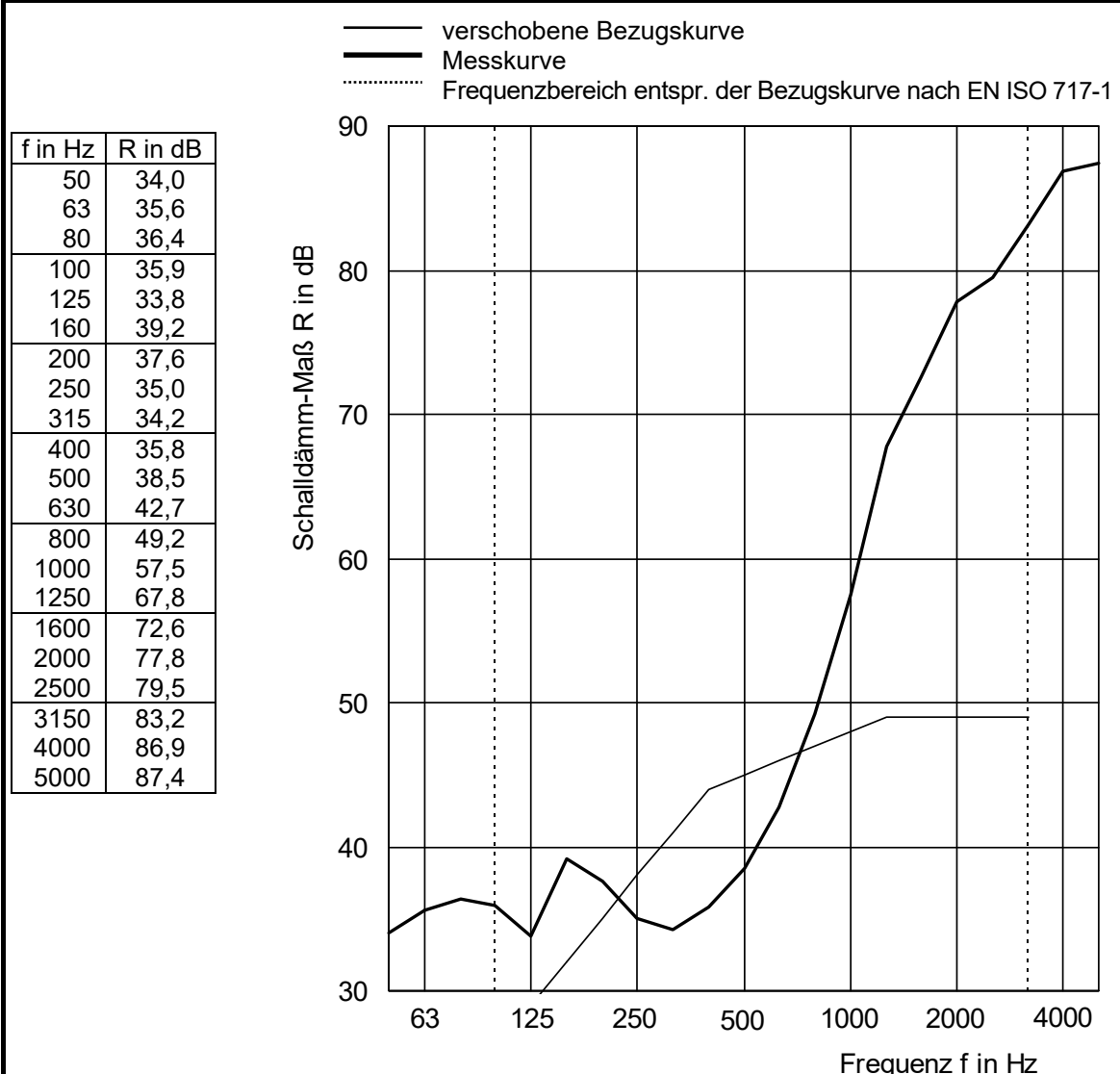
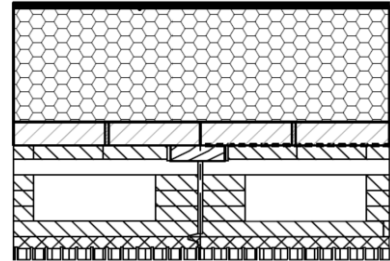
Flachdach mit Kunststoffbahn

2,5 mm EVA-Dachbahn
 200 mm EPS Flachdachdämmplatten
 40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen

Messung-Nr.: 34

Prüfdatum 20. Juni 2018

196 mm Brettsperrholz-Kastenelemente
 LIGNO Block Q3 Akustik Z1



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 45 (0; -3) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = 0 \text{ dB}; C_{100-5000} = 1 \text{ dB}; C_{50-5000} = 1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -3 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -3 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -3 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

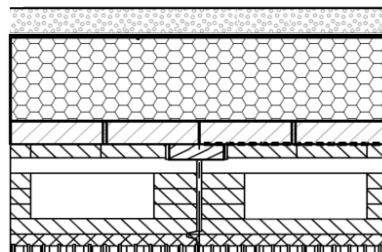
Flachdach mit Kiesbelag

50 mm Kies 4/16
2,5 mm EVA-Dachbahn
200 mm EPS Flachdachdämmplatten
40 mm Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen

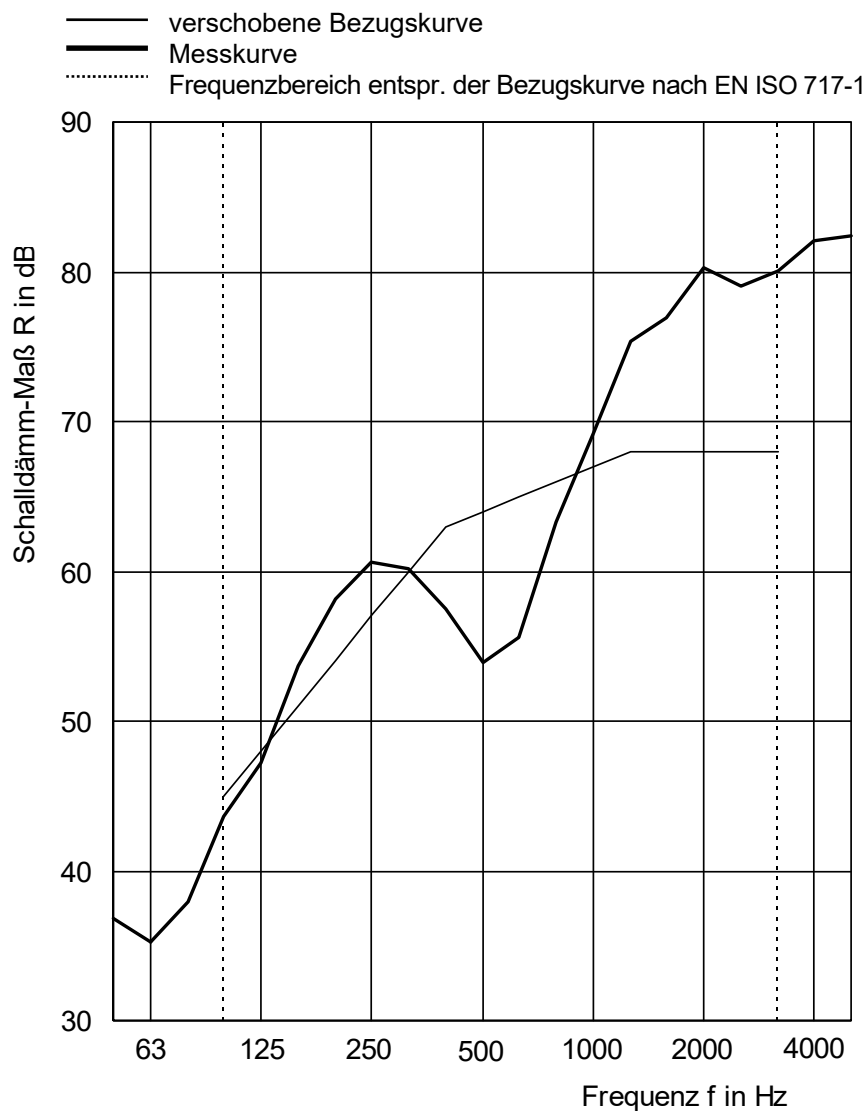
196 mm Brettsperrholz-Kastenelemente
LIGNO Block Q3 Akustik Z1

Messung-Nr.: 35

Prüfdatum 20. Juni 2018



f in Hz	R in dB
50	36,8
63	35,2
80	37,9
100	43,6
125	47,2
160	53,7
200	58,2
250	60,6
315	60,2
400	57,5
500	53,9
630	55,6
800	63,3
1000	69,2
1250	75,4
1600	76,9
2000	80,3
2500	79,0
3150	80,1
4000	82,1
5000	82,4



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 64 (-2; -6) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -3 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -2 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -11 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -6 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -11 \text{ dB}$

Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

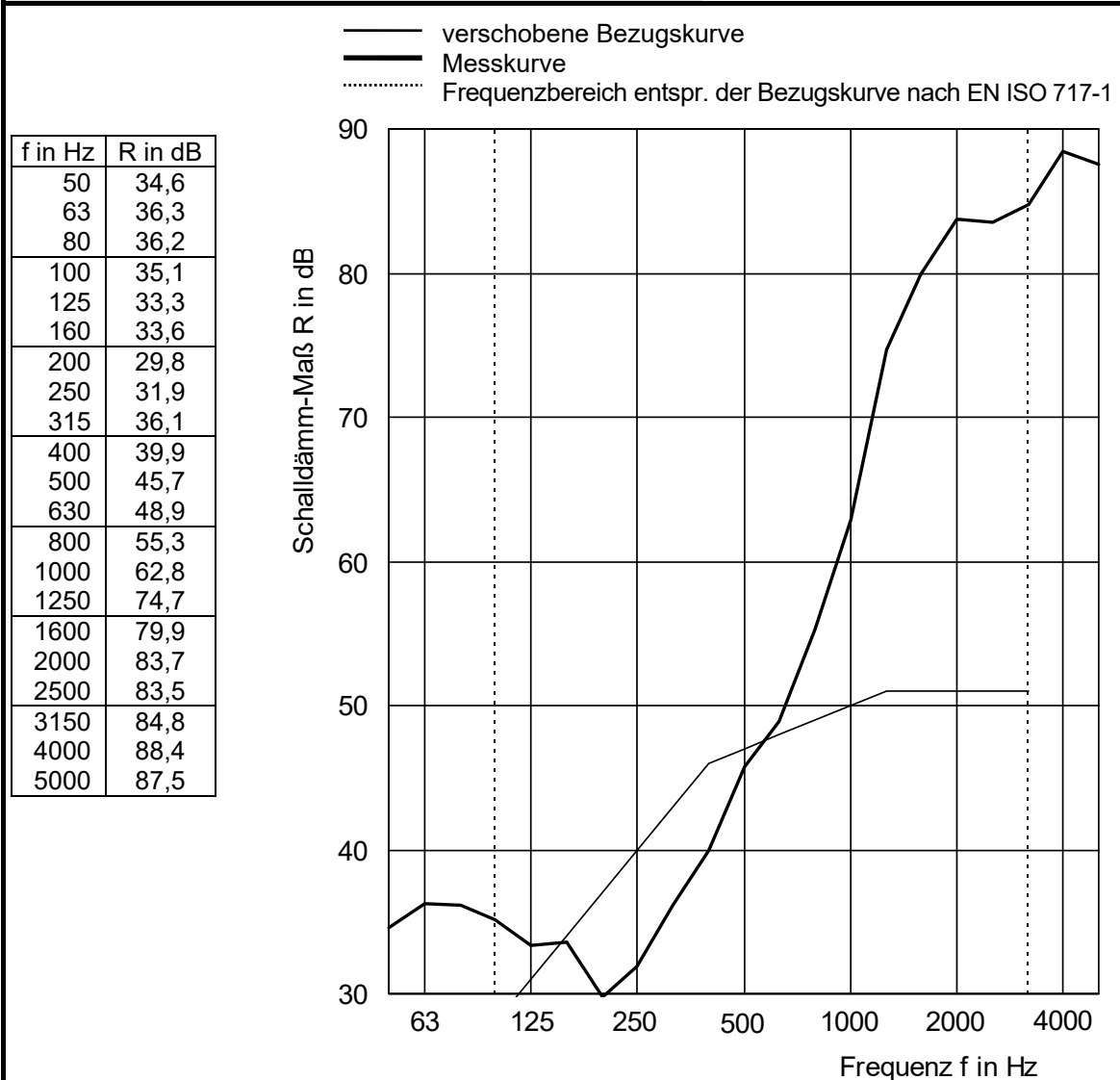
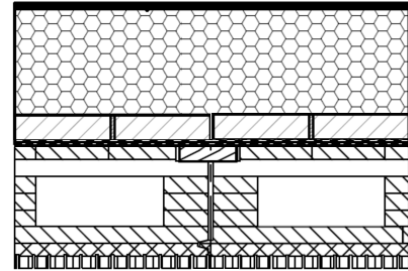
Flachdach mit Kunststoffbahn

2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 7 mm Kreuzfugen
5 mm	Speicherschutzmatte aus PE/PP

196 mm	Brettsperrholz-Kastenelemente LIGNO Block Q3 Akustik Z1
--------	--

Messung-Nr.: 37

Prüfdatum 21. Juni 2018



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 55 (-2; -7) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -2 \text{ dB}$; $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$; $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$
 $C_{tr,50-3150} = -8 \text{ dB}$; $C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$; $C_{tr,50-5000} = -8 \text{ dB}$

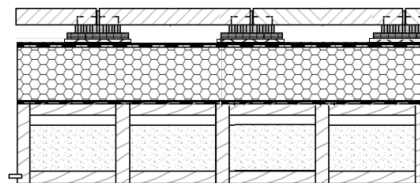
Schalldämm-Maß nach ISO 10140-2

Dachterrasse mit Betonplatten

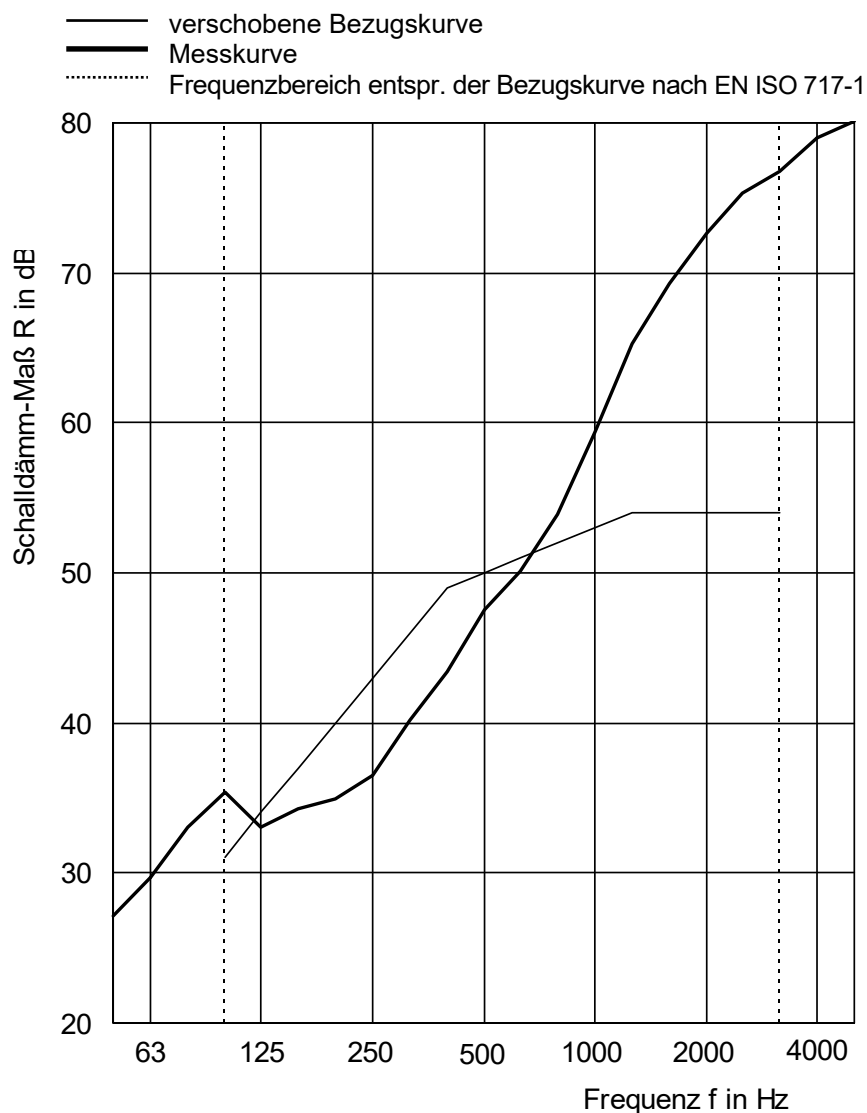
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
6 mm	Bautenschutzmatte, 210 mm × 210 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
240 mm	LIGNATUR Flächenelemente LFE 240 REI30 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 41

Prüfdatum 4. Juli 2018



f in Hz	R in dB
50	27,1
63	29,7
80	33,0
100	35,4
125	33,0
160	34,3
200	35,0
250	36,5
315	40,2
400	43,4
500	47,5
630	50,1
800	53,9
1000	59,4
1250	65,3
1600	69,3
2000	72,6
2500	75,3
3150	76,8
4000	79,0
5000	80,1



Bewertung nach EN ISO 717-1 (in Terzbändern):

$R_w (C; C_{tr}) = 50 (-2; -6) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -2 \text{ dB}; C_{100-5000} = -1 \text{ dB}; C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -7 \text{ dB}; C_{tr,100-5000} = -6 \text{ dB}; C_{tr,50-5000} = -7 \text{ dB}$

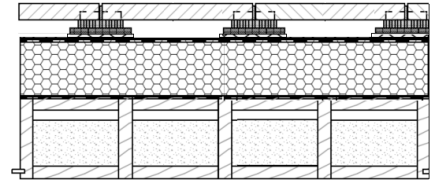
Norm-Trittschallpegel nach ISO 10140-3

Dachterrasse mit Betonplatten

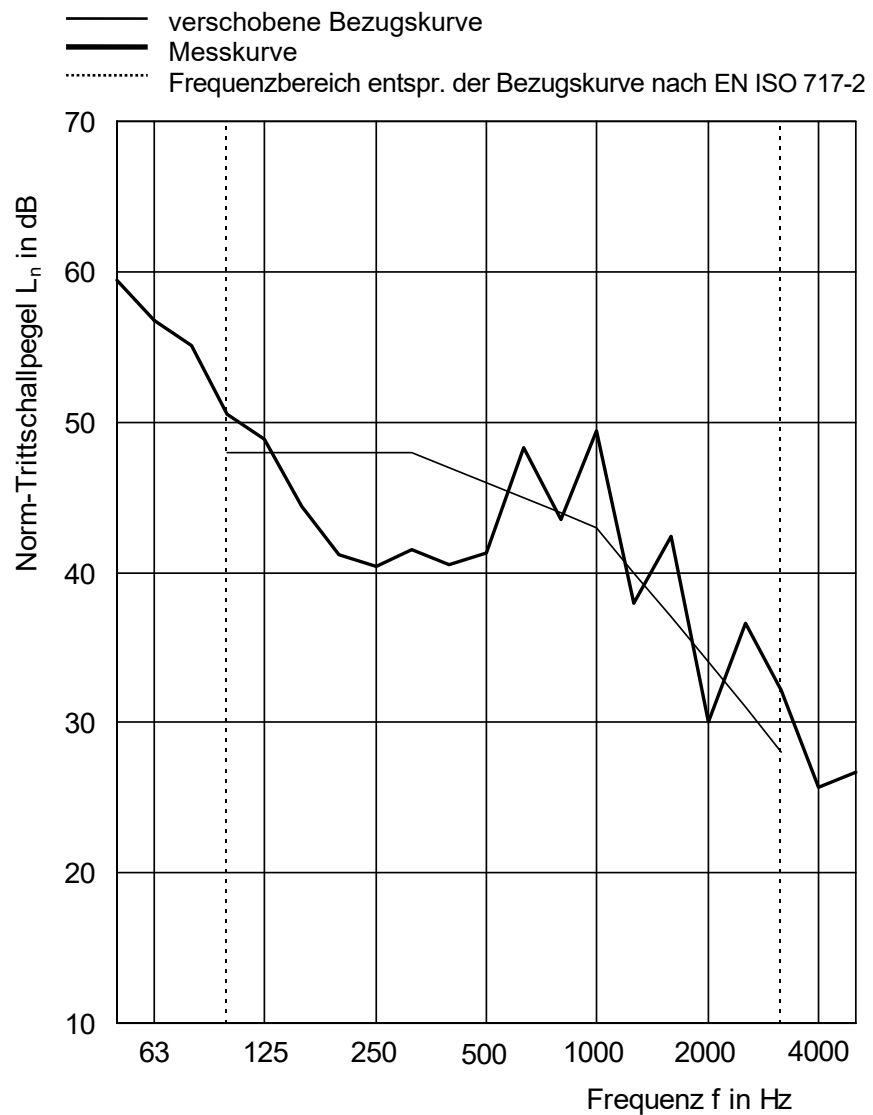
40 mm	Betonplatten 400/400 mit 6 mm Kreuzfugen
40 mm	Alwitra Stelzlager PA 20 Plus
6 mm	Bautenschutzmatte, 210 mm × 210 mm
2,5 mm	EVA-Dachbahn
200 mm	EPS Flachdachdämmplatten
240 mm	LIGNATUR Flächenelemente LFE 240 REI30 mit Splittfüllung

Messung-Nr.: 41_TS

Prüfdatum 4. Juli 2018



f in Hz	L_n in dB
50	59,4
63	56,8
80	55,1
100	50,5
125	48,9
160	44,4
200	41,2
250	40,4
315	41,5
400	40,5
500	41,3
630	48,3
800	43,5
1000	49,4
1250	37,9
1600	42,4
2000	30,0
2500	36,6
3150	32,1
4000	25,7
5000	26,7



Bewertung nach EN ISO 717-2 (in Terzbändern):

 $L_{n,w} (C_1) = 46 (-4) \text{ dB}$
 $C_{1,50-2500} = 2 \text{ dB}$

Anlage C Bauteilkatalog Flachdächer und Dachterrassen

Tabelle C.1 Übersicht Aufbauten Flachdächer und Dachterrassen

	Piktogramm	Zeile	bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w} (C_{tr,50-2500})$	bewertetes Schalldämmmaß $R_w (C_{tr,50-5000})$	Brandschutz
Dachterrasse (s. Tabelle C.3)		1	31 (19)	64 (-16)	Siehe DIN 4102-4: 2016-05, Tabelle 10.19 bis Tabelle 10.23 und www.dataholz.de
		2	38 (20)	52 (-13)	
		3	44 (5)	70 (-19)	
		4	45 (4)	51 (-6)	Siehe www.dataholz.de
		5	58 (2)	53 (-6)	
		6	52 (1)	38 (-5)	
		7	31 (23)	72 (-26)	
		8	43 (5)	51 (-7)	Nach Herstelleranga- ben
		9	38 (6)	51 (-8)	
		10	35 (14)	64 (-14)	
		11	44 (9)	66 (-17)	
		12	40 (11)	57 (-8)	
		13	46 (7)	65 (-12)	
		14	45 (8)	66 (-13)	
		15	48 (5)	65 (-12)	
		16	49 (5)	65 (-11)	
		17	44 (3)	49 (-8)	
		18	47 (4)	61 (-9)	
		19	39 (14)	63 (-11)	
Flachdach (s. Tabelle C. 4)		1	-	70 (-22)	Siehe DIN 4102-4: 2016-05, Tabelle 10.19 bis Tabelle 10.23 und www.dataholz.de
		2	-	41	
		3	-	57	
		4	-	38 (-4)	
		5	-	55 (-8)	
		6	-	64 (-11)	
		7	-	49 (-9)	
		8	-	39 (-3)	
		9	-	45 (-3)	
		10	-	47 (-6)	
		11	-	40 (-6)	
		12	-	50 (-11)	
		13	-	53 (-9)	
Metalleindeckung (s. Tabelle C.5)		1	-	63 (-24)	Siehe DIN 4102-4: 2016-05, Tabelle 10.19 bis Tabelle 10.23 und www.dataholz.de
		2	-	59 (-21)	
		3	-	71 (-31)	
		4	-	63 (-17)	Nach Herstelleranga- ben
		5	-	58 (-14)	
		6	-	53 (-11)	
		7	-	53 (-10)	

Tabelle C.2 Abkürzungen und Materialeigenschaften – Flachdächer und Dachterrassen

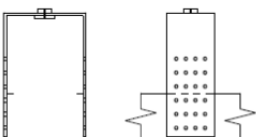
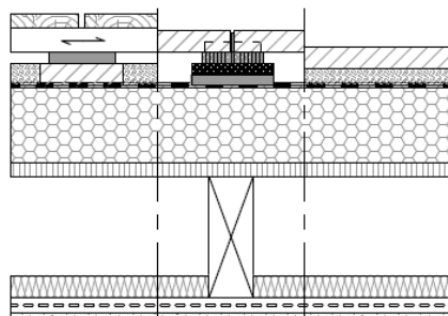
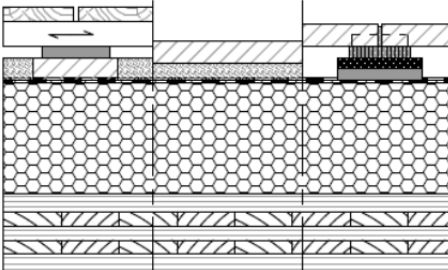
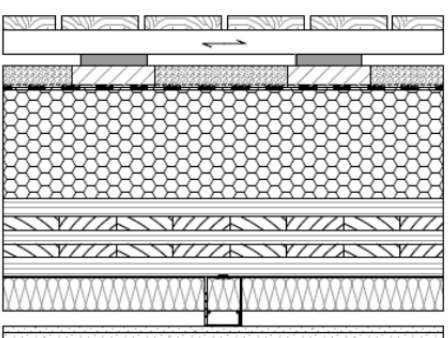
Baulager	Baulager als elastische Lagerung, vom Hersteller ausgelegt auf die angegebene Eigenfrequenz f_0
Betonplatten	Betonplatten 400/400 mm, $m' \geq 90,0 \text{ kg/m}^2$, mit ca. 7 mm Kreuzfugen auf Stelzlageren oder im Splitt als Belag
Belagbretter	Belag aus Nadel- oder Laubholz, mit ca. 10 mm Fugen befestigt
Brettsperrholz/Brettschichtholz	Tragwerk aus Brettsperrholz- bzw. Brettschichtholzelementen
Dachbahn	EPDM-Dachbahn oder KS-Dachbahn als wasserführende Schicht in folgenden Variationen: Dicke in mm / Masse in kg/m^2 : 1,5/1,7; 3/3 oder 8/ 10
Dachschalung	Bretter aus Nadel- oder Laubholz
Dampfsperre	Kaltselfstklebende Elastomerbitumendampfsperrebahn mit angegebener Dicke und Masse, $s_d \geq 1500 \text{ m}$
Dränelement	Druckstabiles, niedriges Drän- und Wasserspeicherelement aus PC-Polyolefin, $m' \geq 1,7 \text{ kg/m}^2$
EPS	EPS 035 DAA dh, Flachdämmplatte (150 kPa), $\rho \geq 72 \text{ kg/m}^3$
Filtervlies	Geotextil aus thermisch verfestigtem Polypropylen, eingesetzt als Filtervlies über Dränelementen
Hohlraumdämpfung	Faserdämmstoffplatten/-matten aus Mineral-, Jute-, Hanf- oder Holz-, Zellulose-, Baumwoll- oder Schafwollfasern mit einem längenbezogenen Strömungswiderstand von $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ Einblasdämmstoffe aus Zellulosefasern nach DIN EN 15101-1 mit einer Dichte $\rho = 40 - 50 \text{ kg/m}^3$ (raumfüllend), einem längenbezogenen Strömungswiderstand von $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$ und einer zusätzlichen Rieselschutzfolie unterhalb der Holzbalkenlage
Holzwerkstoffplatte	Spanplatte nach DIN EN 312, OSB - Verlegeplatten nach DIN EN 300 oder BFU-Platten nach DIN EN 315 und DIN EN 13986 der Dicken 18 mm bis 25 mm, bei offener Holzbalkendecke alternativ 28 mm Sichtschalung + 12 mm BFU - Platte. Zusätzliche Bekleidungen der Holzwerkstoffplatten aus Gipsplatten oder Sichtschalungen im Balkenzwischenraum sind direkt auf die Holzwerkstoffplatte aufzubringen (ohne zusätzlichen Hohlraum).
Holzfaser- bzw. Mineralfaserdämmplatte	Holzfaser- bzw. Mineralfaserdächdämmplatten zur Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Deckungen, $\rho = 140 - 180 \text{ kg/m}^3$
Kanthölzer	Kanthölzer aus Nadel- oder Laubholz, jede zweite Latte durch Dämmung in Tragwerk verschraubt mit $a \geq 600 \text{ mm}$
Lattung	Lattung aus Nadel- oder Laubholz unter Terrassen-Belagbretter, auf Baulager aufliegend
Lignatur	Lignatur LFE 160, 200 und 240,
Lignatur Akustik	Lignatur LFE 120 und 240 Akustik,
Ligno Block Akustik	Brettsperrholz-Kastenelement LIGNO Block Q3 Akustik Z1
Ligno Rippe Akustik	Brettsperrholz-Rippenelement LIGNO Rippe Q3 Akustik Z1 mit Splittfüllung
Mineralischer Schüttstoff	Mineralischer Schüttstoff für Dachbegrünungen als ungebundene Schüttung
PUR/PIR	Polyurethan Dachdämmplatte zur Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Deckungen, $m' \geq 4,77 \text{ kg/m}^2$
Speicherschutzmatte	Wasser- und Nährstoff speichernde Synthesefasermatte zum Einsatz als Schutzlage unter Dachbegrünungen, $m' \geq 0,47 \text{ kg/m}^2$
Splitt/ Kies	Ungebundene Schüttung aus Kies oder Splitt, Körnung 5/8 mit der angegebenen Schütthöhe und flächenbezogenen Masse
Steinwolleplatte	Dauerelastische druckfeste Dämmplatte aus Steinwolle, $m' \geq 3 \text{ kg/m}^2$
Hilfsmittel zur akustischen Entkopplung	
Direktschwingabhänger 	Zur Befestigung von CD-Profilen oder Holzlaten. Ist mit einem Gummiformteil zur Schallentkopplung ausgestattet. Verschraubung nicht anpressend. Mit angegebener Eigenfrequenz f_0 .
Federschiene 	Federschiene 60 mm x 27 mm aus gekantetem Blech zur elastischen Entkopplung von biegeweichen Beplankungen. Die Lochausstanzungen bewirken die Federwirkung. Montage mit ca. 1 mm Luft in der Verschraubung, Achsabstand $e \geq 500 \text{ mm}$.

Tabelle C.3 Flachdach mit Dachterrasse

Sp.	1	2	3	4	5		
Z.	Bauteil	Dicke in mm	Grundbauteil	Dicke in mm	Aufbau	$L_{n,w}$ ($C_{l,50-2500}$)	R_w ($C_{tr,50-5000}$)
1		≥ 140 EPS 035 DAA dh ≥ 25 Holzwerkstoffplatte ≥ 220 Balken 80/220, $e \geq 625$ mm ≥ 40 Hohlraumdämpfung 28 Federschiene, $e \geq 500$ mm 12,5 Gipsplatte, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 60 \text{ Hz}$ $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60 \text{ kg/m}^2$ Betonplatten unter Baulager 1,5 Dachbahn	31 (19)	64 (-16)		
2			40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 70 \text{ Hz}$ 1,5 Dachbahn	38 (20)	52 (-13)		
3			40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$ 1,5 Dachbahn	44 (5)	70 (-19)		
4		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 140 Brettsperrholz/Brett- schichtholz $m' \geq 68 \text{ kg/m}^2$	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 60 \text{ Hz}$ $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60 \text{ kg/m}^2$ Betonplatten unter Baulager 1,5 Dachbahn	45 (4)	51 (-6)		
5			40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$ 1,5 Dachbahn	58 (2)	53 (-6)		
6			40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 70 \text{ Hz}$ 1,5 Dachbahn	52 (1)	38 (-5)		
7		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 140 Brettsperrholz/Brett- schichtholz $m' \geq 68 \text{ kg/m}^2$ ≥ 60 Mineralwolle auf CD Profilen 90 Direktschwingabhänger $e \geq 750 \times 500$ mm, $f_0 \leq 28 \text{ Hz}$ CD Profil $e \geq 500$ mm 12,5 Gipsplatte, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$ 12,5 Gipsplatte, $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520$ mm 12 Baulager, $f_0 \leq 60 \text{ Hz}$ $e \geq 660 \times 520$ mm 40 Splitt, $m' \geq 60 \text{ kg/m}^2$ Betonplatten unter Baulager 1,5 Dachbahn	31 (23)	72 (-26)		

Fortsetzung Tabelle C.3 Flachdach mit Dachterrasse

Sp.	1	2	3	4	5
Z.	Bauteil	Dicke Grundbauteil in mm	Dicke Aufbau in mm	$L_{n,w}$ ($C_{tr,50-2500}$)	R_w ($C_{tr,50-5000}$)
8	Z. 8	≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 22 Holzwerkstoffplatte ≥ 196 Ligno Rippe Akustik, gefüllt mit Splitt $m' \geq 145 \text{ kg/m}^2$	40 Betonplatten 40 Stelzlager 1,5 Dachbahn	43 (5)	51 (-7)
9	Z. 9		40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 70 \text{ Hz}$ 1,5 Dachbahn	38 (6)	51 (-8)
10	Z. 10	≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 22 Holzwerkstoffplatte ≥ 196 Ligno Rippe Akustik, gefüllt mit Splitt $m' \geq 145 \text{ kg/m}^2$	26 Belagbretter 44 Lattung, $e \geq 520 \text{ mm}$ 12 Baulager, $f_0 \leq 60 \text{ Hz}$ $e \geq 660 \times 520 \text{ mm}$ 40 Splitt, $m' \geq 60 \text{ kg/m}^2$ Betonplatten unter Baulager 1,5 Dachbahn	35 (14)	64 (-14)
11	Z. 11		40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$ 1,5 Dachbahn	44 (9)	66 (-17)
12	Z. 12		40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$ 5 Speicherschutzmatte 1,5 Dachbahn	40 (11)	57 (-8)
13	Z. 13	≥ 140 PUR/PIR DAA dh ≥ 22 Holzwerkstoffplatte ≥ 196 Ligno Rippe Akustik, gefüllt mit Splitt $m' \geq 145 \text{ kg/m}^2$	40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$ 1,5 Dachbahn	46 (7)	65 (-12)
14	Z. 14			45 (8)	66 (-13)
15	Z. 15	≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 240 Lignatur Akustik, gefüllt mit Splitt $m' \geq 107,5 \text{ kg/m}^2$	40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$ 1,5 Dachbahn	48 (5)	65 (-12)
16	Z. 16		40 Betonplatten 30 Splitt, $m' \geq 40 \text{ kg/m}^2$ 1,5 Dachbahn	49 (5)	65 (-11)
17	Z. 17		40 Betonplatten 40 Stelzlager 12 Baulager, $f_0 \leq 70 \text{ Hz}$ 1,5 Dachbahn	44 (3)	49 (-8)
18	Z. 18	≥ 140 PIR DAA dh 3 Dampfsperre $m' \geq 3 \text{ kg/m}^2$ ≥ 200 Lignatur, gefüllt mit Splitt $m' \geq 139 \text{ kg/m}^2$	40 Betonplatten 20 Splitt, $m' \geq 31 \text{ kg/m}^2$ 10 Dränelement 8 Dachbahn, zweilagig	47 (4)	6 (-9)
19	Z. 19			39 (14)	63 (-11)

**Tabelle C. 4** Flachdach (nicht begehbar)

Sp. Z.	1 Bauteil	2 Dicke Grundbauteil in mm	3 Dicke Aufbau in mm	4 R_w ($C_{tr,50-5000}$)
1		≥ 140 EPS 035 DAA dh ≥ 25 Holzwerkstoffplatte ≥ 220 Balken 80/220, $e \geq 625$ mm ≥ 40 Hohlraumdämpfung 28 Federschiene, $e \geq 500$ mm $12,5$ Gipsplatte, $m' \geq 10$ kg/m ²	50 Kies, $m' \geq 87,0$ kg/m ² $1,5$ Dachbahn	70 (-22)
2		≥ 120 EPS 035 DAA dh ≥ 100 EPS 035 DAA dh ≥ 100 Brettspertholz/Brett- schichtholz $m' \geq 45$ kg/m ²	$1,5$ Dachbahn	41^a
3			50 Kies, $m' \geq 87,0$ kg/m ² $1,5$ Dachbahn	57^a
4		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 196 Ligno Block Akustik $m' \geq 63$ kg/m ²	$1,5$ Dachbahn	38 (-4)
5			50 Kies, $m' \geq 87,0$ kg/m ² $1,5$ Dachbahn	55 (-8)
6			50 Kies, $m' \geq 87,0$ kg/m ² $1,5$ Dachbahn	64 (-11)
7		≥ 100 Mineralfaserdämmplatte DAA dh ≥ 100 Mineralfaserdämmplatte DAA dh ≥ 196 Ligno Block Akustik $m' \geq 63$ kg/m ²	$1,5$ Dachbahn	49 (-9)
8			80 Mineralischer Schüttstoff $m' \geq 80$ kg/m ² $0,6$ Filtervlies 25 Dränelement, 5 Speicherschutzmatte $1,5$ Dachbahn	39 (-3)
9		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 40 Betonplatten ≥ 196 Ligno Block Akustik $m' \geq 63$ kg/m ²	$1,5$ Dachbahn	45 (-3)
10				47 (-6)

^a Messungen im Auftrag von Binderholz und Saint-Gobain RIGIPS Austria durch akkreditierte Prüfanstalten

Fortsetzung Tabelle C.4 Flachdach (nicht begebar)

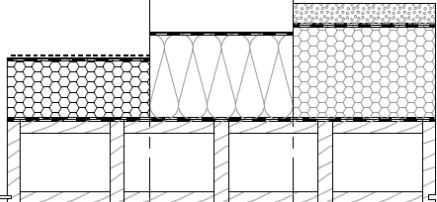
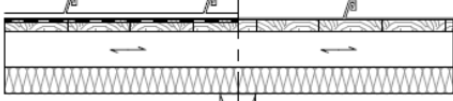
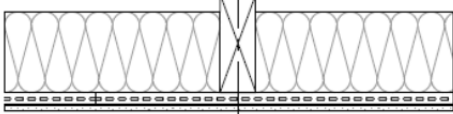
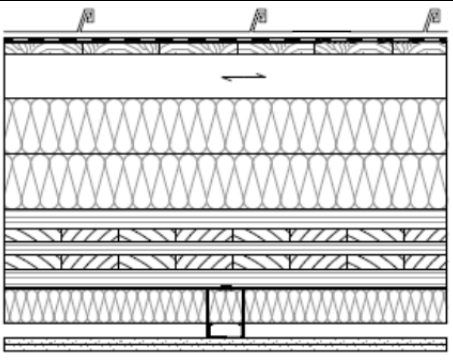
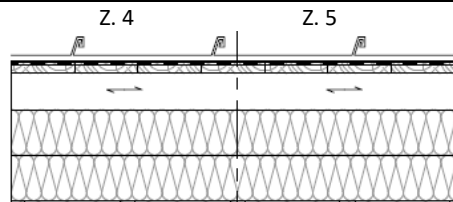
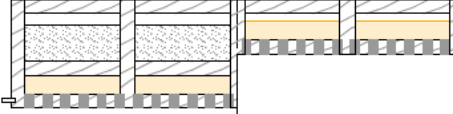
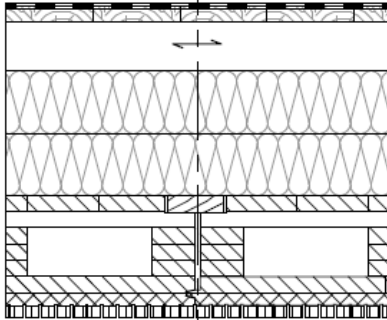
Sp.	1	2	3	4
Z.	Bauteil	Dicke Grundbauteil in mm	Dicke Aufbau in mm	R _w (C _{tr,50-5000})
11	Z. 11 Z. 12 Z. 13	140 PIR DAA dh 4 Dampfsperre m' ≥ 5kg/m ² ≥ 200 Lignatur, m' ≥ 39 kg/m ²	2 Schutzvlies, m' ≥ 5kg/m ² 8 Dachbahn, zweilagig	40 (-6)
12		200 Mineralfaserdämmplatte 4 Dampfsperre m' ≥ 5kg/m ² ≥ 200 Lignatur, m' ≥ 39 kg/m ²	8 Dachbahn, zweilagig	50 (-11)
13		220 EPS 035 DAA dh 3 Dampfsperre m' ≥ 4kg/m ² ≥ 200 Lignatur, m' ≥ 39 kg/m ²	50 Splitt, m' ≥ 75 kg/m ² 1,5 Dachbahn	53 (-9)

Tabelle C.5 Flach geneigtes Dach mit Metalleindeckung

Sp.	1	2	3	4
Z.	Bauteil	Dicke Grundbauteil in mm	Dicke Aufbau in mm	R _w (C _{tr,50-5000})
1	Z. 1 Z. 2 	≥ 60 Holzfaserdämmplatte DAA dm ≥ 220 Balken 80/220, e ≥ 625 mm ≥ 180 Hohlraumdämmung	0,7 Alu-Bänder mit Doppelstehfalz 3 Dachbahn 24 Dachschalung 80 Kantholz, e ≥ 640 mm	63 (-24)
2		28 Federschiene, e ≥ 500 mm 12,5 Gipsplatte, m' ≥ 10 kg/m ²	0,7 Alu-Bänder mit Doppelstehfalz 24 Dachschalung 80 Kantholz, e ≥ 640	59 (-21)
3		≥ 100 Holzfaserdämmplatte DAD dm ≥ 100 Holzfaserdämmplatte DAD dm ≥ 140 Brettsperrholz/Brett-schichtholz m' ≥ 68kg/m ² ≥ 60 Hohlraumdämmung auf CD Profilen 90 Direktschwingabhänger e ≥ 750x500 mm, f ₀ ≤ 28Hz CD Profil e ≥ 500 mm 12,5 Gipsplatte, m' ≥ 10 kg/m ² 12,5 Gipsplatte, m' ≥ 10 kg/m ²	0,7 Alu-Bänder mit Doppelstehfalz 3 Dachbahn 24 Dachschalung 80 Kantholz, e ≥ 640 mm	71 (-31)
4	Z. 4 Z. 5 	≥ 100 Holzfaserdämmplatte DAD dm ≥ 100 Holzfaserdämmplatte DAD dm ≥ 240 Lignatur Akustik, gefüllt mit Splitt, m' ≥ 50 kg/m ² m' ≥ 107,5 kg/m ²	0,7 Alu-Bänder mit Doppelstehfalz 3 Dachbahn 24 Dachschalung 80 Kantholz, e ≥ 640 mm	63 (-17)
5		≥ 100 Holzfaserdämmplatte DAD dm ≥ 100 Holzfaserdämmplatte DAD dm ≥ 120 Lignatur Akustik m' ≥ 57,5 kg/m ²		58 (-14)

**Fortsetzung Tabelle C.5** Flach geneigtes Dach mit Metalleindeckung

Dachdeckung Falzdecke mit nach geneigtem Dach mit Metallanlasserung							
Sp. Z.	1		2		3		4
	Bauteil		Dicke in mm	Grundbauteil	Dicke in mm	Aufbau	R _w (C _{tr,50-5000})
6	Z. 6 Z. 7		≥ 100	Holzfaserdämmplatte DAA dh	0,7	Alu-Bänder mit Doppel- stehfalz 3 Dachbahn 24 Dachschalung 80 Kantholz, e ≥ 640 mm	53 (-11)
			≥ 100	Holzfaserdämmplatte DAA dh			
			≥ 196	Ligno Block m' ≥ 63 kg/m²			
7			≥ 100	Mineralfaserdämmplatte DAA dm			
			≥ 100	Mineralfaserdämmplatte DAA dm			
			≥ 196	Ligno Block m' ≥ 63 kg/m²			



ift Rosenheim
Theodor-Gietl-Straße 7-9
83026 Rosenheim

Tel.: +49 (0) 80 31 / 261-0
Fax: +49 (0) 80 31 / 261-290
E-Mail: info@ift-rosenheim.de
www.ift-rosenheim.de

© ift Rosenheim 2019