



BM Thomas Lechner, B.Sc.

Schallschutz von Holzbalken-und Massivholzdecken

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium

Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Christina Johanna Hopfe

BM Dipl.-Ing. Hans Hafellner, B.Sc.

Institut für Bauphysik, Gebäudetechnik und Hochbau

Graz, März 2021

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Text-Dokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum, Unterschrift

DANKSAGUNG

Bedanken möchte ich mich bei meinem Chef BM DI Gerhard Stefan, welcher mir, ohne zu zögern jede notwendige Zeit für die Erstellung meiner Masterarbeit gab und auch in gewissen Situationen beratend mit einem kühlen Getränk zur Seite stand. Auch möchte ich meinem Betreuer BM DI Johann Hafellner für die Hilfe bei der Literaturlindung und seiner wie immer ausführlichen Beratungen hinsichtlich meiner Masterarbeit und Themen darüber hinaus danken. Weiters gilt Dank der gesamten Mannschaft des Geotechnikzeichensaals für viele lustige und manchmal sehr lernintensive Jahre, besonders möchte ich denjenigen danken, welche im Zuge meiner Selbständigkeit oft jahrelange Mitarbeiter wurden. Abschließend möchte ich mich bei meiner Frau Alexandra bedanken, welche mich während des gesamten Studiums tatkräftig bei meiner Firma unterstützte, sodass mein Studium nicht zu kurz kam. Zu guter Letzt bei meiner Tochter welche im Zuge der Masterarbeit oftmals etwas länger auf mich warten musste.

Kurzfassung

Der Schallschutz in Gebäuden wird zu einem immer wichtigeren Thema, da die Menschen aufgrund des immer größer werdenden Anspruchsniveaus durch Arbeit, Umfeld und Umwelt sensibler werden.

Luft-oder Trittschall in den eigenen Räumlichkeiten kann zu enormen Belastungen führen, wenn der Schallschutz zu gering ist. Dies kann sich negativ auf den Körper auswirken, da die notwendigen Erholungsphasen gestört werden [1]. Daher ist es erforderlich, die Anforderungen an den Schallschutz einzuhalten. Leider wird dies bei Neubauten immer wieder vernachlässigt. Bei notwendigen Sanierungen von Altbauten müssen ebenfalls die Anforderungen eingehalten werden, um den heutigen Anforderungen zu entsprechen.

Als besonders schwierig erweisen sich dabei Holzdecken und vor allem Holzbalkendecken, da sich diese besonders beim Trittschall im niederfrequenten Bereich nachteilig auswirken.

Aufgrund des geringen Eigengewichts von Holzdecken, im Gegensatz zu massiven Decken, sind die Rechenverfahren des Massivbaus hinsichtlich der Ermittlung des Schallschutzes für Holzdecken nicht anwendbar. Die Wege der Flankenübertragung sind zwar, bis auf kleine Ausnahmen, gleich, jedoch ist die Berechnung noch weitgehend unerforscht. Vieles kann nur durch Messergebnisse aus Laboren ermittelt werden, welche dann oft nicht der tatsächlichen Einbausituation entsprechen.

Forschungsinstitute haben in den letzten Jahren einerseits umfangreiche Bauteilkataloge für Holzbalken-und Massivholzdecken entwickelt, welche zum Teil sogar in Normenwerke aufgenommen wurden. Andererseits wurden auch Prognosemodelle entwickelt, welche sowohl für den Altbau als auch für den Neubau Gültigkeit besitzen. Diese Modelle sind bis auf kleine Abweichungen bereits weitgehende realitätsnah und somit gut anwendbar.

Diese Arbeit zeigt einen Überblick über das Thema Schallschutz bei Holzdecken und die gängigen Rechenverfahren und Prognosemodelle.

Abstract

Sound insulation in buildings is becoming an increasingly important issue as people become more sensitive to the ever-increasing demands of work, environment and surroundings.

Airborne or impact sound in one's own premises can lead to enormous stress if the sound insulation is too weak. This can have a negative impact on the body, as required recovery phases are disturbed [1]. It is therefore necessary to comply with sound insulation requirements. Unfortunately, this is usually neglected in new buildings. In the case of necessary renovations of old buildings, those requirements must be met in order to comply with today's standards.

Wooden ceilings and, above all, wooden beam ceilings prove to be particularly difficult in this respect, as they have an adverse effect on impact sound in the low-frequency range.

Due to the low dead weight of wooden ceilings, in contrast to solid ceilings, the calculation methods of solid construction are not applicable to wooden ceilings regarding the determination of sound insulation. Although the paths of flank transmission are largely the same, with minor exceptions, the calculation is still largely unexplored. Various values can only be determined using measured results in laboratories, which often do not reflect the real installation situation.

In recent years, research institutes have, on one hand, developed extensive component catalogs for wood beam and solid wood ceilings, some of which have even been included in standards. On the other hand, prediction models have been developed which are valid for both, old and new buildings. With the exception of small deviations, these models are already very close to reality and are therefore easy to apply.

The purpose of this dissertation is to provide an overview of the subject of sound insulation for wooden ceilings and to show the current calculation methods and prediction models.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	4
Abstract	5
Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	11
Formelverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	13
1 Einleitung	14
2 Holzdecken	15
2.1 Holzbalkendecken/ Holztramdecken im Altbau	16
2.2 Massivholzdecken im Altbau	17
2.3 Holzbalkendecken im Neubau	18
2.4 Massivholzdecken im Neubau	18
3 Schallschutz bei Holzdecken.....	20
3.1 Gehgeräusch	20
3.2 Physikalische Grundlagen.....	22
3.2.1 Koinzidenzfrequenz.....	22
3.2.2 Massengesetz	27
3.2.3 Einschalige Bauteile	29
3.2.4 Mehrschalige Bauteile	29
3.3 Konstruktive Maßnahmen.....	33
3.3.1 Rohdecke	33
3.3.2 Rohdeckenbeschwerung	34
3.3.3 Fußbodenaufbau	35
3.3.4 Abgehängte Unterdecken	37
3.3.5 Hohlraumbedämpfung.....	38
4 Zielwerte für den Trittschall	39
5 Berechnung des Schallschutzes bei Holzbalkendecken	45
5.1 Luftschallschutz	45
5.1.1 Übertragungswege	45
5.1.2 Rechenverfahren	46
5.1.3 Nachweisverfahren	49
5.1.4 Spektrumanpassungswerte Straßenverkehr C_{tr} und C	50
5.1.5 Anforderungen	51
5.1.6 Berechnungsbeispiel	52
5.2 Trittschallschutz.....	55
5.2.1 Übertragungswege	55
5.2.2 Rechenverfahren	56
5.2.3 Korrektursummanden K_1 und K_2	58
5.2.4 Korrektursummand K_L	60
5.2.5 Nachweisverfahren	61
5.2.6 Spektrumanpassungswert C_I Trittschall	61
5.2.7 Anforderungen	62
5.2.8 Berechnungsbeispiel	63
6 Berechnung des Schallschutzes bei Massivholzdecken	66

6.1	Luftschallschutz	66
6.1.1	Übertragungswege	67
6.1.2	Rechenverfahren	71
6.1.3	Nachweisverfahren	72
6.1.4	Anforderungen	72
6.2	Trittschallschutz.....	72
6.2.1	Übertragungswege	72
6.2.2	Rechenverfahren	72
6.2.3	Nachweisverfahren	74
6.2.4	Anforderungen	74
7	Sanierung von Holzdecken im Altbau	75
7.1	Gruppeneinteilung von Altbau-Holzdecken	75
7.2	Maßnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes bei Holzdecken im Altbau	78
7.2.1	Einfluss der Masse im (Einschubboden) und des Putzes an der Deckenunterseite	79
7.2.2	Maßnahmen am Einschub	82
7.2.3	Maßnahmen an der Unterdecke.....	83
7.2.4	Einbau von Sekundärträgern.....	86
7.2.5	Sanierung durch Holz-Beton-Verbunddecken	87
7.2.6	Sanierung durch Aufdopplung der Holzbalken	89
7.2.7	Austausch der Bestandsdecke	90
7.2.8	Sanierung des Fußbodenaufbaus	90
7.2.9	Sanierung mit Zementestrich	90
7.2.10	Sanierung mit Trockenestrich	92
7.2.11	Sanierung mit Estrichen direkt auf den Balken.....	93
7.2.12	Aufbringung einer zusätzlichen Rohdeckenbeschwerung.....	95
7.2.13	Veränderung des Abstandes der Abhängung.....	96
7.2.14	Unterschied bei Änderung der Lagenanzahl der Beplankung	96
7.3	Prognoseverfahren für die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ im Altbau	97
7.3.1	Prognosewerte für die Trittschallminderung durch Estrichaufbauten an Holzbalkendecken und Massivholzdecken im Altbau.....	97
7.3.2	Prognoseverfahren für Holzbalkendecken	99
7.3.3	Prognoseverfahren für Massivholzdecken bzw. einschalige Holzdecken	101
7.3.4	Berücksichtigung der Flankenübertragung im Altbau	102
7.4	Unsicherheiten zwischen Prognoseberechnung und Messung	107
7.5	Übersicht der Trittschallverbesserungsmaßnahmen im Altbau.....	108
7.6	Beispielprognoseberechnung Holzbalkendecke im Altbau.....	111
7.7	Beispielprognoseberechnung Holzmassivdecke im Altbau	113
8	Untersuchungen an einer Holzbalkendecke im Neubau	114
9	Zusammenfassung und Fazit.....	116
	Literatur.....	118
	Anhang 1.....	120
	Anhang 2.....	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Unterteilung der Holzdecken [6]	15
Abbildung 2 Typischer Aufbau einer Holzbalkendecke [6].....	15
Abbildung 3 Tramdecke oder Sturzdecke [9]	16
Abbildung 4 Tramdecke mit versenkter Sturzschalung (Einschubdecke) [9]	16
Abbildung 5 Fehltramdecke [9]	17
Abbildung 6 Dippelbaumdecke [9]	18
Abbildung 7 einfache beispielhafte Neubauholzbalkendecke mit Estrichaufbau ohne Bodenbelag [11]	18
Abbildung 8 einfache Brettsperrholzmassivdecke [12]	19
Abbildung 9 typischer Aufbau einer Brettstapeldecke [13]	19
Abbildung 10 Gehgeräuschpegel mit unterschiedlichen Versuchspersonen und individuellen Gangarten [20].....	21
Abbildung 11 Gehgeräusche unterschiedlicher Fußbekleidungen und Gehgeschwindigkeiten [20]	21
Abbildung 12 Gehgeräusche auf verschiedenen Deckenkonstruktionen [20]	22
Abbildung 13 Darstellung des Prinzips der Koinzidenzfrequenz [22]	23
Abbildung 14 Biegewellenlängen verschiedener Bauteile und die der Luft [23].....	23
Abbildung 15 Massendiagramm mit unterschiedlichen Bauteilen unterschiedlicher Masse zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w ; [21, 22]	28
Abbildung 16 Verlauf des Luftschalldämm-Maßes eines einschaligen Bauteils, bezogen auf die Frequenz im Bereich des bauakustisch Relevanten Bereichs [22].....	29
Abbildung 17 Masse-Feder-Masse Systeme [25]	30
Abbildung 18 Frequenzabhängiger Verlauf des Luftschalldämmmaßes [22, 5]	30
Abbildung 19 Vergleich von Resonanzfrequenzen einer Massivdecke (MD) und einer Holzbalkendecke (HBD) mit unterschiedlichem Estrichaufbau [27]	32
Abbildung 20 Masseverhältnis zu Resonanzfrequenz gemessen an einer Bezugsholzdecke C1 gemäß ÖNORM EN ISO 10140-5 [27]	33
Abbildung 21 Typische Kurvenverläufe von Holzrohdecken und einer massiven Betondecke [5]	34
Abbildung 22 optimieren des Norm-Trittschallpegels durch Beschwerung von Holzdecken [5]	35
Abbildung 23 Trittschalleigenschaften einer BSP Decke, einer BSP Decke mit Fußbodenaufbau und einer BSP Decke mit abgehängter Deckenkonstruktion und Fußbodenaufbau [1]	38
Abbildung 24 Anregung der Decke einerseits mit dem Normhammerwerk, andererseits mit einer gehenden Person [21]	39
Abbildung 25 Ergebnisse für den Zusammenhang zwischen dem bewerteten Norm- Trittschallpegel und dem A-bewerteten Trittschallpegel, die verschiedenen Farben stammen aus Messungen von verschiedenen Instituten und Messeinrichtungen [21]	40
Abbildung 26 Vergleich von Norm-Trittschallpegel mit Spektrumsanpassung und dem A- bewerteten Trittschallpegel durch eine gehende Person [21].....	41
Abbildung 27 Subjektive Wahrnehmung des Trittschalls gemäß ÖNORM B 8115-5	42
Abbildung 28 verschiedene Schallschutzniveaus für bestimmte Anforderungen [21].....	42
Abbildung 29 verschiedene Schallschutzniveaus Teil1, gemäß ÖNORM B8115-5	43
Abbildung 30 verschiedene Schallschutzniveaus Teil 2, gemäß ÖNORM B8115-5	43

Abbildung 31 Vergleich der A-Bewertung mit der bauakustischen Bewertung [21]	44
Abbildung 32 Übertragungswege des Luftschalls [3].....	46
Abbildung 33 Bezeichnung und Beschreibung der Spektrumanpassungswert für den Luftschall [21]	51
Abbildung 34 Beispiel zur Festlegung der Deckenkonstruktion für den Neubau mit deren Aufbau und Parametern	53
Abbildung 35 Beispiel zur Raumgeometrie des zu Berechnenden Gebäudes [33].....	53
Abbildung 36 Beispiel zur Eingabe von den schalltechnischen Parametern zur Berechnung von Formel 14.....	54
Abbildung 37 Berechnung und Auswertung des Bau-Schalldämm-Maß und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz.....	54
Abbildung 38 Trittschallübertragungswege, links für den Massivbau, rechts für den Holzbau [3]	55
Abbildung 39 Leichte Bezugsdecke C1 nach ÖNORM EN ISO 10140-5 [28].....	56
Abbildung 40 Beispiel zur Festlegung der Deckenkonstruktion für den Neubau mit deren Aufbau und Parametern	64
Abbildung 41 Eintragen des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Deckenkonstruktion	64
Abbildung 42 Auswahl der Korrekturwerte	65
Abbildung 43 Auswertung der schalltechnischen Ergebnisse für die Bausituation.....	65
Abbildung 44 Schalldämm-Maße von Brettsperrholzplatten mit unterschiedlicher Dicke [2]	66
Abbildung 45 Flankenweg im Vertikalschnitt bei einem Trennschnitt in einer Holzmassivdecke mit flankierender Massivholzwand [21].....	67
Abbildung 46 Flankendämm-Maß bei Stoßstellen Massivholzdecken auf Holztafelwänden [21].....	68
Abbildung 47 Flankendämm-Maße bei Stoßstellen Massivholzdecke auf Massivholzwänden [21].....	68
Abbildung 48 Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes für einen T-Stoß mit Bauteilen aus Brettsperrholz [16].....	69
Abbildung 49 Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes für einen Kreuzstoß mit Bauteilen aus Brettsperrholz	69
Abbildung 50 Stoßstellendämm-Maße für Bauteilstöße aus Massivholz mit Dicken von 80 - 200 mm, verschraubt oder mit Winkeln montiert [32].....	70
Abbildung 51 Stoßstellendämm-Maßverbesserung durch Entkoppeln mit Elastomeren bei kompletter Massivholzbauweise [32].....	70
Abbildung 52 Gruppierung der Altbaudecken [41].....	76
Abbildung 53 geprüfte Deckenart A -Dollendecke [41]	77
Abbildung 54 geprüfte Deckenart B -Einschubdecke [41]	77
Abbildung 55 Trittschalldämmung bei unterschiedlicher Einschubmasse [41]	79
Abbildung 56 Trittschalldämmung bei unterschiedlicher Einschubmasse [41].....	80
Abbildung 57 Veränderung der Masse des Putzes an einer Altbaudecke [41]	80
Abbildung 58 Sanierung der Unterdecke mit einer Gipskartonplatte [41]	81
Abbildung 59 Dollendecke mit und ohne Dielung und Putz [41]	81
Abbildung 60 Zusammengefasste Abbildung der Trittschallmessungen mit verschiedenen Einschubmassen [4]	82
Abbildung 61 Ersatz der Schüttung durch eine Hohlraumdämmung [41].....	83
Abbildung 62 Trittschallverbesserung durch Anbringung von Federschienen [41].....	84
Abbildung 63 Trittschallverbesserung durch eine abgehängte Montagelösung [41].....	84

Abbildung 64 Vergleich einer Bestandseinschubdecke mit einer sanierten Decke mit abgehängter Unterdecke, maximale Trittschallverbesserung 13 dB [4].....	85
Abbildung 65 Verbesserung des Trittschallpegels bei Verwendung einer freitragenden Unterdecke der Fa. Rigips anstatt von Direktabhängern [4]	86
Abbildung 66 Verbesserung des Trittschallschutzes durch Sanierung mittels Sekundärträgern [41]	87
Abbildung 67 Messung an einer Holz-Beton-Verbundbalkendecke [41]	88
Abbildung 68 Messung an einer Holz-Betonmassivdecke [41].....	88
Abbildung 69 Vergleich Holzbalkendecke mit 50 mm Zementestrich und Trittschalldämmung $s' \leq 6 \text{ MN/m}^3$ mit und ohne Betonverbund [41].....	89
Abbildung 70 Vergleich Holzmassivdecke mit 50 mm Zementestrich und Trittschalldämmung $s' = 6 \text{ MN/m}^3$ mit und ohne Betonverbund.....	89
Abbildung 71 Unterschied Trittschallpegel einer Holzbalkendecke mit Einschub und Estrichaufbau und einer Holzbalkendecke mit Sekundärträgern und Estrichaufbau, Estrich 50 mm und Trittschalldämmung $s' = 6 \text{ MN/m}^3$ [41] .	91
Abbildung 72 Unterschied Trittschallpegel Holzbalkendecke mit Sekundärträgern ohne Estrichaufbau und einer Holzbalkendecke mit Sekundärträgern und Estrichaufbau [41].....	91
Abbildung 73 Beispiel unterschied Trittschalpegel einer Holzbalkendecke mit Zementestrich und einer Holzbalkendecke mit Trockenestrich [41]	92
Abbildung 74 Beispiel einer kombinierten Sanierung mit Estrichaufbau und Abhängung, Verbesserung des Trittschallpegels um 31 dB [4]	93
Abbildung 75 Vergleich einer Holzbalkendecke mit einer Aufdopplung durch Laschen bei tragendem und nicht tragendem Einschub	94
Abbildung 76 Estrich in Blechprofil auf Elastomerlagern direkt auf den Balken, einmal mit Putz und einmal mit abgehängter Decke [41].....	94
Abbildung 77 Vergleich von Messwerten des Standard-Trittschallpegels bei A: ungebundener und B. gebundener Schüttung auf der Rohdecke [44]	95
Abbildung 78 Verbesserung des Trittschallpegels bei Veränderung der Abhängabstände [4]	96
Abbildung 79 Trittschallverbesserung bei der Verwendung von unterschiedlich vielen Beplankungslagen [4]	97
Abbildung 80 Differenzen des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Masse im Einschub und der Masse des Unterputzes [41]	100
Abbildung 81 Berechnung des äquivalenten Norm-Trittschallpegels von Massivholzdecken im Altbau [41]	101
Abbildung 82 Flankenschalldämm-Maße bei einer massiven Mauerwerkswand (130 kg/m^2) gemessen bei einem T-Stoß [42].....	103
Abbildung 83 Unterschiede bzw. Abweichungen von Messung zu Berechnung bei Luft-und Trittschall [42]	106
Abbildung 84 Standartabweichungen bzw. Differenzen zwischen der Messung und der Prognoseberechnung von Holzbalkendecken [41]	107
Abbildung 85 Sanierungsmaßnahmen einer Altbaudecke im Überblick 1 [42]	109
Abbildung 86 Sanierungsmaßnahmen einer Altbaudecke im Überblick 2 [4]	110
Abbildung 87 Eintragen der Parameter und Materialien der Holzbalkendecke im Altbau sowie die des Grundrisses	111
Abbildung 88 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der äquivalenten Deckenkonstruktion	112

Abbildung 89 Beispiel Berechnung Trittschallverbesserung durch einen Estrichaufbau mit Trittschalldämmung 112

Abbildung 90 Eintragen weiterer Trittschallverbesserungsmaßnahmen falls notwendig bzw. gewünscht 113

Abbildung 91 Ermittlung des Korrektursummanden K_A 113

Abbildung 92 Auswertung und Nachweisverfahren der Trittschalleigenschaften in der eingebauten Altsituation..... 113

Abbildung 93 Aufbau der Neubaureferenzdecke [4]..... 114

Abbildung 94 Verbesserung des Trittschallschutzes bei einer Neubauholzbalkendecke, bei Verwendung einer schalltechnisch verbessernden Unterdecke [4] 114

Abbildung 95 Verbesserung des Trittschallschutzes einer Neubauholzbalkendecke bei Verwendung eines schalltechnisch verbessernden Deckenauf-und Unterbaus [4] 115

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Materialien im Holzbau mit deren Koinzidenzfrequenz und dem Koinzidenzfaktor [21]..... 26

Tabelle 2 Vergleich der Mindestanforderungen an den Luftschallschutz ohne Verbindungen durch Türen, Fenster oder sonstige Öffnungen [15, 14, 36]. 51

Tabelle 3 Ermittlung des Korrektursummanden K_1 [38] 59

Tabelle 4 Ermittlung des Korrektursummanden K_2 [38] 59

Tabelle 5 Ermittlung von K_1 und K_2 benötigten Aufbauten [38] 60

Tabelle 6 Ermittlung des Korrektursummanden für massive flankierende Wände [38] .. 60

Tabelle 7 allgemeiner Vergleich der Mindestanforderungen an den Trittschallschutz [14, 15, 31, 33, 36] 63

Tabelle 8 Mindestanforderungen an den Trittschallschutz bezogen auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel [15, 14, 31, 36] 63

Tabelle 9 Trittschalminderungen durch Estrichaufbauten für Holzbalkendecken [41] 98

Tabelle 10 Trittschallminderung von Estrichaufbauten für Massivholzdecken [41] 99

Tabelle 11 Ermittlung der Norm-Flankenpegeldifferenz in Abhängigkeit der Masse der flankierenden Wände [42] 103

Tabelle 12 Ermittlung des Korrekturwertes K_A [42]..... 104

Tabelle 13 Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels für die Übertragung über die Flanke D_{Ff} bei Wänden mit geringer flächenbezogener Masse [42] 105

Formelverzeichnis

Formel 1 Berechnung Koinzidenzfrequenz [22]	24
Formel 2 Koinzidenzgrenzfrequenz [22].....	24
Formel 3 Koinzidenzgrenzfrequenz vereinfacht [22]	25
Formel 4 Koinzidenzfrequenz berechnet mit Koinzidenzfaktor [21].....	26
Formel 5 BERGERSches Massengesetz [22]	27
Formel 6 Reduziertes BERGERSche Massengesetz [21]	27
Formel 7 Resonanzfrequenz bezogen auf die beiden Massen in kg/m ² und die dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht in MN/m ³ [5]	31
Formel 8 Dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht [5]	31
Formel 9 dynamische Steifigkeit mit einer Hohlraumbedämpfung $r \geq 5 \text{ kN*s/m}^4$ [22] ..	31
Formel 10 Berechnung der Resonanzfrequenz für eine Holzbalkendecke mit 3 Massen [27].....	31
Formel 11 Resonanzfrequenz für einen Estrichaufbau [1].....	36
Formel 12 Trittschallminderung eines Estrichs [1].....	36
Formel 13 Resonanzfrequenz einer abgehängten Decke [1]	37
Formel 14 bewertetes Bau-Schalldämm-Maß [33].....	46
Formel 15 bewertetes Flankendämm-Maß für den Weg Ff [33]	47
Formel 16 Umrechnung bewertetes Bauschalldämm-Maß auf die bewertete Standard- Schallpegeldifferenz [33].....	48
Formel 17 bewertete Standard-Schallpegeldifferenz [7].....	48
Formel 18 bewertete Standard-Schallpegeldifferenz vereinfacht für Holzbalkendecken [7]	49
Formel 19 bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Übertragungsweg Ff bei Leichtbauten [7].....	49
Formel 20 Nachweisführung für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß	50
Formel 21 Nachweisführung für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß [33]	50
Formel 22 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels in der Bausituation [33]	57
Formel 23 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels mit massiven flankierenden Wänden [38]	57
Formel 24 Umrechnung bewerteter Norm-Trittschallpegel auf den bewertete Standard- Trittschallpegel [33]	57
Formel 25 Ermittlung des zulässigen Norm-Trittschallpegels anhand des bewerteten Standard-Trittschallpegels [33].....	58
Formel 26 Nachweisführung für das bewertete Norm- und das Standard-Trittschalldämm- Maß in der Bausituation [33].....	61
Formel 27 Addition der Messergebnisse zu $L_{n,sum}$ für die Berechnung von C_I [18]	62
Formel 28 Ermittlung Spektrumanpassungswert C_I [18].....	62
Formel 29 Berechnung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes mit differenzierter Betrachtung [32].....	71
Formel 30 Berechnung des bewerteten Flankenschalldämm-Maßes unter Berücksichtigung der flankierenden Wände und der Stoßstellen [32].....	71
Formel 31 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels in der Bausituation unter differenzierter Betrachtung [32]	72
Formel 32 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels flankierender Bauteile [17, 32]	73

Formel 33 Berechnung des bewerteten Norm-Flankenschallpegel unter Berücksichtigung von Verbesserungen durch Vorsatzschalen und von Elastomeren [32]..... 73

Formel 34 Berechnung des Laborwertes für den Übertragungsweg Df..... 74

Formel 35 Berechnung der bewerteten Trittschallminderung durch Zement-oder Calciumsulfatestriche [17] 98

Formel 36 Berechnung der bewerteten Trittschallminderung durch Gussasphaltestriche oder Trockenestriche [17] 98

Formel 37 Berechnung der dynamischen Gesamtsteifigkeit 99

Formel 38 vereinfachte Prognoseberechnung des äquivalenten Norm-Trittschallpegels für eine Rohdecke der Gruppe B [41]..... 100

Formel 39 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels in der Bausituation im Altbau [42]..... 102

Formel 40 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels in der Bausituation bei flankierenden Wänden mit geringer flächenbezogener Masse [42] 105

Formel 41 Verbesserung des Flankenschallpegels durch eine Vorsatzschale [42] 105

Abkürzungsverzeichnis

BSD	Brettschichtholzdecke
GK	Gipskarton
HBD	Holzbalkendecke
KS	Kalksandstein
MD	Massivdecke
Stb	Stahlbeton
ZE	Zementestrich

1 Einleitung

Nicht nur die Nachhaltigkeit, sondern auch die vielfache Verwendbarkeit von Holz macht diesen Rohstoff bautechnisch relevant [2]. Schon seit hunderten von Jahren wird Holz für Bauwerke verwendet. Dabei ist es wichtig, neben konstruktiven Aspekten den Holzbau auch bauphysikalischen Betrachtungen, wie dem Wärme-oder Schallschutz zu unterziehen. Die Möglichkeit der Errichtung von mehrgeschossigen Holzbauten machen die Betrachtung dabei umso relevanter, jedoch steigen die Anforderungen an diesen ebenso an [3, 2].

Der Schallschutz wird dabei zu einem anforderungstechnisch immer wichtigeren Thema im Bauwesen. Die Anforderungen von Menschen an die Räumlichkeiten werden immer größer, vor allem bezogen auf die Behaglichkeit. Ein wichtiger Faktor diesbezüglich ist der Schallschutz innerhalb von Gebäuden und zwischen einzelnen Wohneinheiten. Dies spielt sowohl im Neubau, aber auch bei Altbauten eine große Rolle. Ständige Lärmbelastungen können den menschlichen Körper nachhaltig schädigen und Krankheiten hervorrufen [1].

Speziell im Falle von Holzbalkendecken stellt der Schallschutz aufgrund der leichten Bauweise und der vielen Konstruktionsvarianten eine besondere Herausforderung dar. Hinzu kommt die leichtere Übertragung von tieferen Frequenzen [4]. Der Fokus liegt dabei auf der Übertragung von störenden Gehgeräuschen, welche in diesem niedrigen Frequenzbereich liegen und oft weder bei der Planung noch gesetzlich berücksichtigt werden. Massivholzdecken stellen ebenso einen Sonderfall dar, da diese weder dem Leichtbau noch dem Massivbau zugeordnet werden können und daher immer wieder verschiedene Prognosen getroffen und unterschiedliche Rechenverfahren angewandt werden. Der Vorteil von Holzdecken liegt darin, dass diese mit oft nur kleineren konstruktiven Eingriffen sehr leicht einen höheren Schallschutz erreichen können. Hier werden meist Änderungen auf, in oder unter der tragenden Holzdecke durchgeführt. So können durchaus schalltechnische Werte erreicht werden, die denen des Massivbaus gleichen [1, 5].

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Schallschutz von Holzbalken-und Massivholzdecken. Es wird ein Überblick über dem Stand der Technik entsprechenden Rechenregeln, Prognoseverfahren und Sanierungstechniken gegeben.

In diesem Bereich gab es speziell in den letzten Jahren Änderungen in diversen Normenwerken, welche teilweise bis vor kurzem überhaupt keine Rechenregeln für Holzbalkendecken beinhalteten und sich nur an den Massivbau richteten. Auch wurden in Normen und Regelwerken diverse Bauteilkataloge aufgenommen, welche Schallschutzmesswerte beinhalten und so die Planungseingangsdaten liefern. Die Flankenübertragung im Holzbau, welche den bewerteten Norm-Trittschallpegel im Bau und das bewertete Bau-Schalldämm-Maß beschreibt, stellt einen weiteren wichtigen Aspekt dar und dieser sollte keinesfalls vernachlässigt werden. Besonders bei den Übertragungen über die Flanken ist im Bereich des Holzbaus noch sehr viel Forschungsarbeit notwendig, da hier derzeit nur ungenügend Werte und Rechenverfahren vorliegen. So kann zum derzeitigen Stand nur eine Prognostizierung der tatsächlichen Werte der eingebauten Bauteile stattfinden. Verglichen mit den tatsächlichen Messungen in der Bausituation sind diese Prognosewerte zwar gut anwendbar jedoch noch unzureichend erforscht [6].

2 Holzdecken

Bauteilkataloge in Normenwerken, Richtlinien oder aus Messdokumentationen für Decken in Holzbauart zeigen unzählig verschiedene Aufbauvarianten, welche dem Stand der Technik entsprechen. Meist erfolgt eine Unterteilung von Holzbalken-und Stegträgerdecken sowie Brettstapel-, Dübelholz,-und Brettschichtholzdecken (siehe Abbildung 1) [6]. Aus einigen Forschungsberichten [6] gehen dabei auch Kataloge für Decken in Altbauweise hervor. Die ÖNORM B 8115-4 [7] gibt Holzdeckenauführungen für den Neubau in nur acht verschiedenen Varianten an. Zusätzlich stellt diese im Gegensatz zum Bauteilkatalog der DIN 4109-33 [8] für Decken in Holzbauart sechs Holzrohdeckenaufbauten dar.

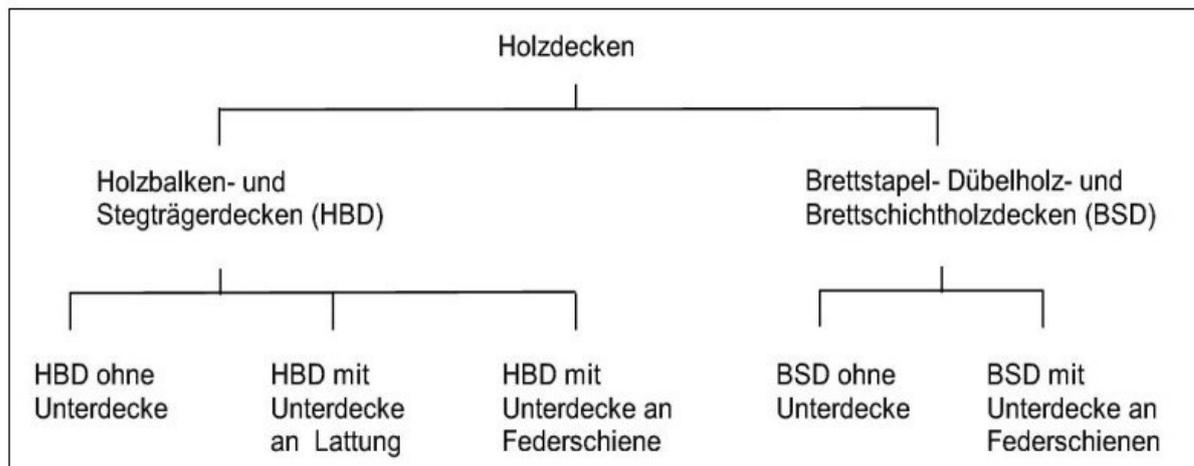


Abbildung 1 Unterteilung der Holzdecken [6]

Aus allen Varianten lässt sich ein charakteristischer Aufbau erstellen, wie in Abbildung 2 dargestellt [6]. Massivholzdecken sind dabei nicht so leicht in einem einheitlichen Aufbau zu beschreiben, da die Art der Rohdecke stark variieren kann. Diese Rohdecke von Massivholzdecken kann aus Brettern, gestapelt oder verklebt in verschiedenen Achsen oder aus ganzen drei-oder mehrseitig geschnittenen Bäumen bestehen.

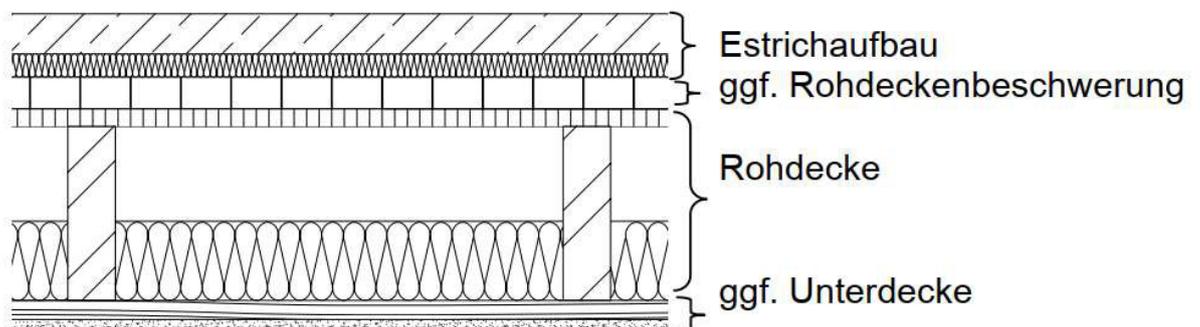


Abbildung 2 Typischer Aufbau einer Holzbalkendecke [6]

Holzbalkendecken sind vor allem in der Vergangenheit in Österreich in einigen verschiedenen Varianten zur Ausführung gekommen, so werden diese umgangssprachlich auch Holztramdecken genannt. Die in Österreich am häufigsten verwendeten Holzdecken,

sowohl in Holzbalkenausführung als auch in Massivholzausführung und deren Aufbauten werden im Folgenden genauer erläutert.

2.1 Holzbalkendecken/ Holztramdecken im Altbau

a) Klassische österreichische Tramdecke oder Sturzdecke

Die in Österreich am meisten verwendete Holzbalkendecke ist die sogenannte Tramdecke (siehe Abbildung 3). Hier werden Holzbalken hochkant aufgestellt und mit einem Abstand von 75 bis 100 cm verlegt. Diese Holzbalken liegen in einem Tramkasten als Auflager auf. Die Balken wurden meist in einem Schutz aus Lärchenholz gegen Feuchte gebettet. Die durchschnittlichen Spannweiten betragen 4 bis 6 m mit einer Balkenhöhe bzw. Tramhöhe von etwa 20 bis 28 cm.[9]. Oftmals wurden diese Decken auch ohne Unterdecke ausgeführt.

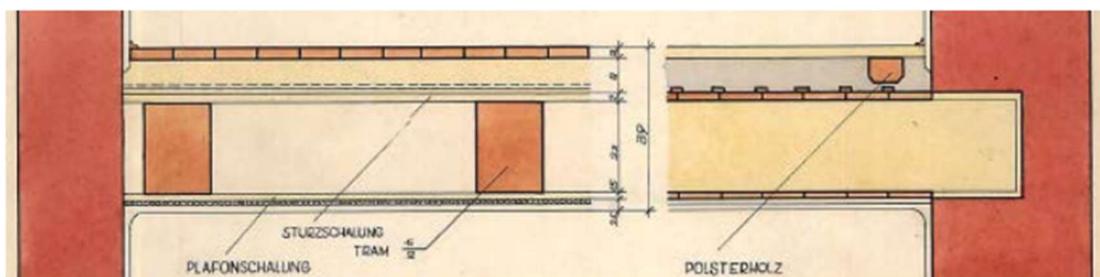


Abbildung 3 gewöhnliche Tramdecke oder Sturzdecke [9]

b) Tramdecke mit versenkter Sturzschalung (Einschubdecke)

Grundsätzlich ist die Einschubdecke (siehe Abbildung 4) der herkömmlichen Tramdecke sehr ähnlich, jedoch wurde gegen Ende des 18. Jahrhunderts, um die Bauhöhe zu reduzieren, die Sturzschalung zwischen den Balken abgesenkt. Die Schüttung wurde dabei teilweise nur zwischen den Balken ausgeführt. Hinsichtlich der Spannweiten ist die Einschubdecke der gewöhnlichen Tramdecke gleichzustellen, da sich auch hier durchschnittliche Balkenhöhen von 20 bis 28 cm bewährt haben. Gegenüber der gewöhnlichen Tramdecke ist der Herstellungsaufwand der Einschubdecke höher [9].

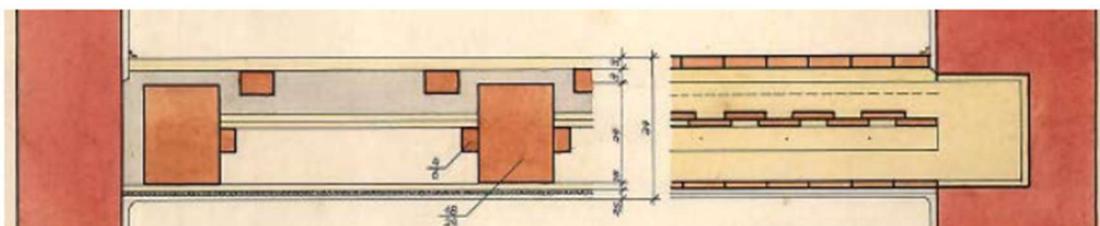


Abbildung 4 Tramdecke mit versenkter Sturzschalung (Einschubdecke) [9]

c) Fehltramdecke

Die Fehltramdecke (siehe Abbildung 5) besteht aus zwei eigenständigen Konstruktionen, wobei einerseits die Haupttrame die fußboden- und nutzlasttragende Konstruktion und andererseits die Fehltrame die Untersichtkonstruktion zu tragen haben. [10]

Die Fehltramdecke, war eine der ersten Decken, welche vor allem hinsichtlich des Schallschutzes gebaut wurde, da hier die Schwingungen der Hauptkonstruktion nicht direkt auf die Fehltramkonstruktion übertragen wurden. So wurden diese zum Beispiel eingebaut, wenn sich im darüberliegenden Raum ein Tanzsaal befunden hat. Die Herstellungskosten und der Arbeitsaufwand einer Fehltramdecke sind weitaus höher als die einer gewöhnlichen Tramdecke. [11]

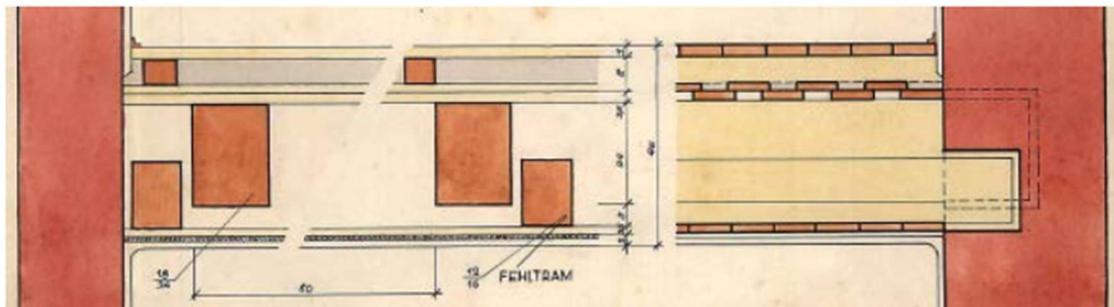


Abbildung 5 Fehltramdecke [9]

2.2 Massivholzdecken im Altbau

a) Dippelbaumdecke

Die Dippelbaum- oder Dübelbaumdecke (siehe Abbildung 6) wurde meist als Decke zum Dachgeschoss eingebaut, da sie aufgrund ihrer massiven Ausführung sehr gute Brandschutzeigenschaften aufwies. Oftmals wurde als oberste Aufbauschicht Ziegelpflaster ausgelegt, so konnte der Brandschutz weiter verbessert werden. Ein weiterer Vorteil dieser Massivholzdeckenvariante war, dass im Falle eines Brandes im obersten Geschoss trotz Einsturzes des Dachstuhls kaum Einsturzgefahr der Decke gegeben war. Ausgeführt wurden diese Decken mit an drei Seiten gehackten Fichten- oder Tannenbaumstämmen, welche aneinandergeriet eingebaut wurden. Zusätzlich wurden die Stämme ca. alle 1 bis 2m mit Holzdübeln an der Längsseite versehen, um so die Schwingungen zu vermindern. [10] Die Mauerdicke musste im Bereich des Auflagers um die Auflagerfläche verringert werden. [9]

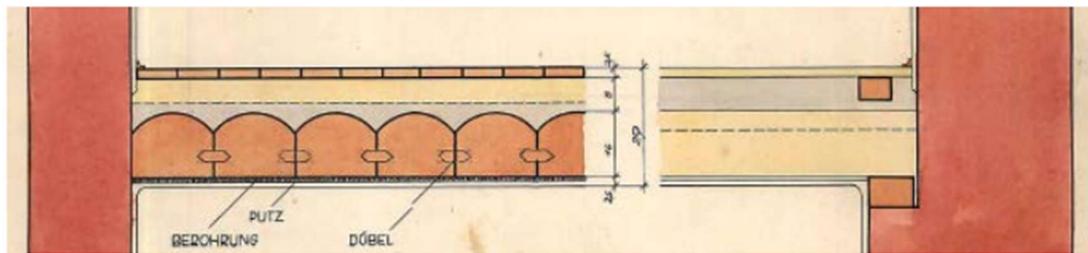


Abbildung 6 Dippelbaumdecke [9]

2.3 Holzbalkendecken im Neubau

Grundsätzlich sind Holzbalkendecken im Neubau denen des Altbaus sehr ähnlich. Der Grundaufbau ist gleich, jedoch unterscheiden sich die Neubaudecken in ihrem oberen Deckenaufbau (Fußbodenaufbau) und dem unteren Deckenaufbau. Sowohl der Rohdeckenaufbau als auch der Unterbau dienen einerseits der Behaglichkeit und andererseits tragen diese einen wesentlichen Faktor zum Schallschutz bei. Bei Altbaudecken hatten derartige Faktoren noch einen geringeren Stellenwert, so waren diese hinsichtlich des Aufbaus eher einfach gestaltet.

Es kommt maßgeblich auf die Art des Gebäudes und deren Nutzung an, welche Eigenschaften hinsichtlich des Schallschutzes, Wärmeschutzes und der Optik eine Holzdecke erfüllen muss. Dies betrifft Auf- und Unterbau und ist für eine Standardholzbalkendecke nur schwer zu verallgemeinern. Beispielhaft kann jedoch eine einfache Decke mit einer Tragkonstruktion aus Balken, ohne Beplankung, einer steifen Unterkonstruktion und einer Hohlraumdämmung genannt werden. Abbildung 7 stellt eine beispielhafte Neubaupolzbalkendecke dar, dem Aufbau müsste bauphysikalisch grundsätzlich noch eine Folie hinzugefügt werden, um die Decke aber einfach und mit den wichtigsten Bauteilen darzustellen wurde darauf verzichtet.

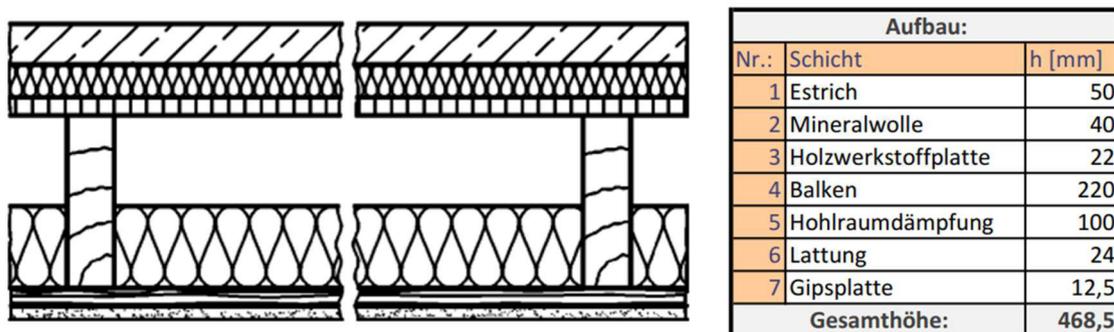


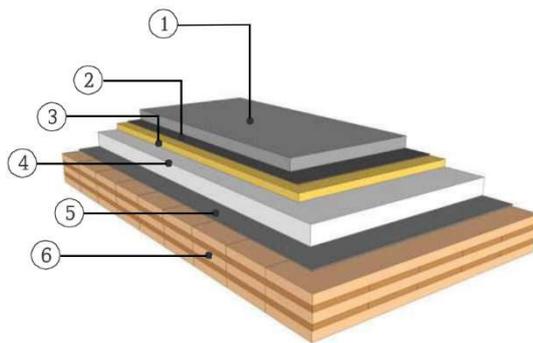
Abbildung 7 einfache beispielhafte Neubaupolzbalkendecke mit Estrichaufbau ohne Bodenbelag [8]

2.4 Massivholzdecken im Neubau

a) Brettsper Holzdecke (BSP) / Kreuzlagenholzdecke (KLH)

Immer öfter werden heute zu Tage schon mehrgeschossige Wohnbauten komplett aus Holz gebaut. Hier kommen verschiedene Bauweisen, wie beispielsweise Brettsperholz oder Kreuzlagenholz, zum Einsatz. Dabei werden auch die Decken als Massivholzdecken in Brettsperholz ausgeführt [2]. Brettsperholzdecken

bringen mehrere Vorteile mit sich. Unter anderem können diese Decken so eingebaut werden, dass eine zusätzliche Untersicht nicht mehr notwendig ist, da Holzuntersichten zur Behaglichkeit für die Nutzer beitragen können. Die Montage erfolgt in vorgefertigten Platten und ist daher einfach und vor allem zeitsparend [2]. Ein Beispiel einer solchen Decke ist eine Trenndecke mit Zementestrich ohne Unterdecke (siehe Abbildung 8).



Schicht	Dicke [mm]
Zementestrich	60
Trennlage	-
Trittschalldämmplatte	30
Kies	80
Akustikbahn	5
Massivholzplatte	160

Abbildung 8 einfache Brettsperrholzmassivdecke [12]

b) Brettstapelholz

Eine weitere Art der Holzdeckenmassivbauweise ist die Herstellung der Decke mit Brettstapeln (siehe Abbildung 9). Auf Grund der früher verwendeten Vernagelung der Bretter, wurden sehr viel Nägel benötigt und so konnte nachträglich nur schwer geschnitten, gefräst oder gebohrt werden, daher war die Variante der Brettstapeldecke eher unpraktikabel. Heute werden die Bretter allerdings nicht mehr vernagelt, sondern mit Hartholzdübeln zusammengehalten. Diese Platten bestehen nur mehr aus Holz und Leim, sonstige Verbindungsmittel sind nicht mehr notwendig. Gedübelte Brettstapel weisen eine hohe Oberflächenebenheit auf, sind weniger schwindbehaftet als vernagelte und quellen wenig. Rohelemente können in einer Länge von 9 m und einer Breite von 3,5 m mit einer Höhe von 80 bis 220 mm hergestellt werden. Brettstapeldecken können mit allen gängigen Bauweisen im Holz- und Massivbau kombiniert werden, haben sehr gute statische Eigenschaften, können schnell montiert werden und haben geringe Konstruktionshöhen. Auch sind diese Decken hinsichtlich des Schallschutzes aufgrund der großen Masse gut anzuwenden [13].

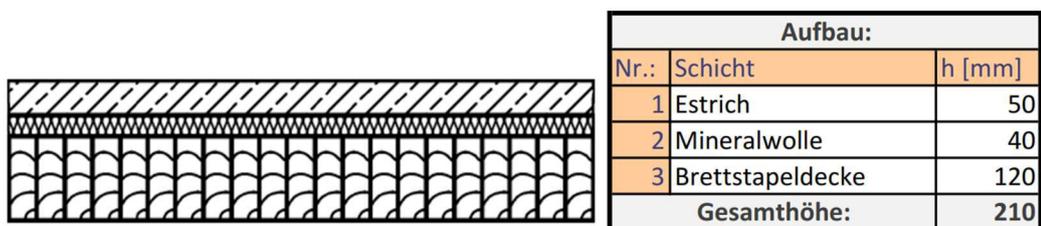


Abbildung 9 typischer Aufbau einer Brettstapeldecke [8]

3 Schallschutz bei Holzdecken

Ein grundlegendes Ziel in der Gestaltung von akustischen Eigenschaften von Bauwerken ist es, Nutzer hinsichtlich der Behaglichkeit zufriedenzustellen. Dabei spielt die Lärmbelastung eine wesentliche Rolle, denn durch eine andauernde Belastung von Lärm, sind gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen. So ist es im Hochbau besonders wichtig die Anforderungen an die Luftschalldämmung, sowie die Körperschalldämmung zu erfüllen [1].

Der Trittschall ist dabei eine besondere Form des Körperschalls, welcher vor allem im niederfrequenten Bereich im Hochbau essenziell ist, da von Nutzern angrenzender Einheiten meist das klassische dumpfe Gehgeräusch als unangenehm und störend empfunden wird [1].

Die Anforderungen an den Schallschutz sind in der Schweiz in der Norm SIA 181 (Schallschutz im Hochbau) [14], in Deutschland in der DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau) [15] und in Österreich in der ÖNORM B 8115 (Schallschutz und Raumakustik im Hochbau) [16] festgelegt. Alle diese länderspezifischen Normen beziehen sich betreffend Rechenregeln auf die EN 12354 [17, 18], bezüglich der Ermittlung von Einzulangaben auf die EN ISO 717 [19] und bezüglich der Messverfahren auf die EN ISO 10140 [20]. Hierbei gibt es jeweils einen nationalen Anhang. Der Teil 1 dieser Normen befasst sich mit dem Luftschallschutz und der Teil 2 mit dem Trittschallschutz.

Grundsätzlich werden der Norm-Trittschallpegel und das Schalldämm-Maß von Bauteilen frequenzabhängig bestimmt. Um die Handhabung für weitere Rechenwege im Bauwesen zu vereinfachen, werden die frequenzabhängigen Werte einer Bewertung unterzogen, um so Einzulangaben zu erhalten. Dies geschieht gemäß ÖNORM EN ISO 717 [19] durch verschieben der Bezugskurve in 1 dB-Schritten gegen die Messkurve bis die Summe der ungünstigen Abweichungen so nah wie möglich an 32 dB liegt. Der Einzahlwert ist dann bei einer Frequenz von 500 Hz abzulesen. Da Frequenzen unter 500 Hz für die Beurteilung von Holzdecken maßgeblich sind, ist es wichtig die Spektrumanpassungswerte (siehe Kapitel 5.1.4 und 5.2.6) zu berücksichtigen.

3.1 Gehgeräusch

Untersuchungen von Gehgeräuschen auf Holzbalken und Massivdecken wurden mit Personen verschiedenster körperlicher Eigenschaften, unterschiedlichstem Gehverhalten und verschiedenem Schuhwerk durchgeführt. Dabei wurde in zwei verschiedenen Frequenzbereichen, von 50 bis 5000 Hz und 100 bis 3150 Hz, gemessen und korreliert. Ausgewertet wurden diese Untersuchungen hinsichtlich dreier Eigenschaften. Als erstes wurden dabei, wie in Abbildung 10 ersichtlich, Personen unterschiedlichsten Gewichts mit individuellen Gangarten betrachtet. Hier konnten, gemessen auf einer Holzbalkenrohdecke, gemittelte Gehgeräusche von 31,2 bis 43,8 dB ermittelt werden. Im zweiten Schritt wurde, wie in Abbildung 11 dargestellt, der Einfluss der Gehgeschwindigkeit mit unterschiedlichen Fußbekleidungen gemessen. Ergebnisse zwischen 24,9 und 42,7 dB wurden auf der Holzbalkenrohdecke gemessen [21].

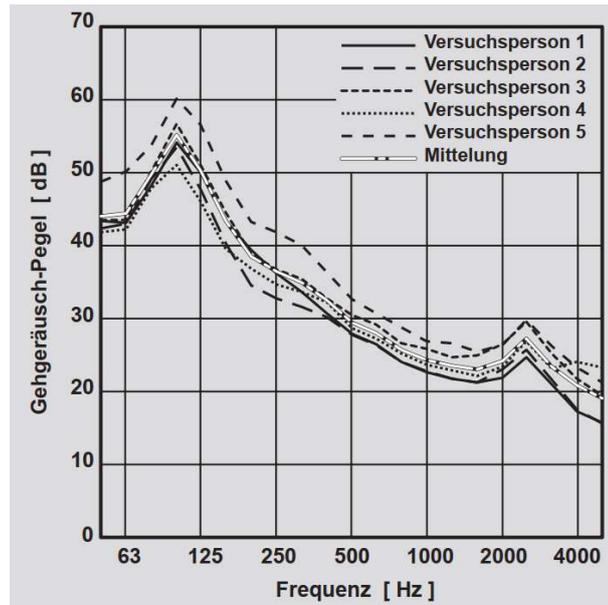


Abbildung 10 Gehgeräuschpegel mit unterschiedlichen Versuchspersonen und individuellen Gangarten [21]

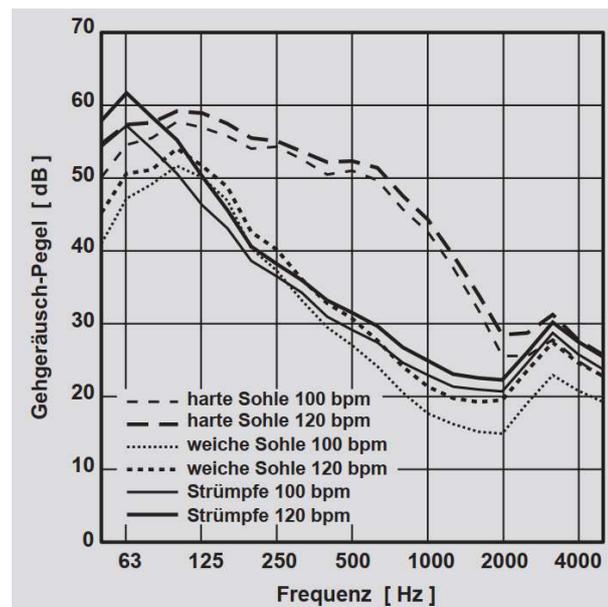


Abbildung 11 Gehgeräusche unterschiedlicher Fußbekleidungen und Gehgeschwindigkeiten [21]

Im letzten Schritt (siehe Abbildung 12) wurden unterschiedliche Deckenkonstruktionen mit gleichem Schuhwerk untersucht. Die Spektren fallen dabei bei besserer Schalldämmung zu den höheren Frequenzen ab [21].

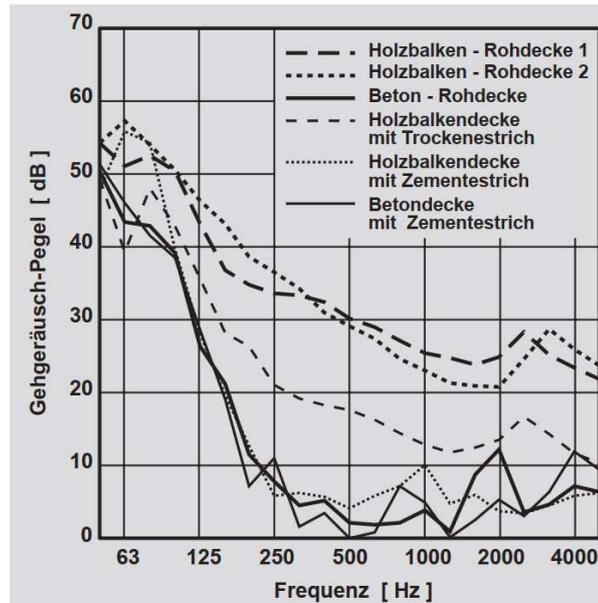


Abbildung 12 Gehgeräusche auf verschiedenen Deckenkonstruktionen [21]

Zusammenfassend betrachtet sind also Gehgeräusche nur wenig von der Gehgeschwindigkeit, aber stark von der Beschaffenheit des Schuhwerks abhängig [21]. Feststellbar ist, dass klassische störende Gehgeräusche ihre wesentlichen Schallanteile im Frequenzbereich unter 100 Hz haben.

So sind zwar die normativen Anforderungen gemäß Kapitel 5 oft eingehalten, jedoch empfinden Nutzer diese Schrittgeräusche durch Erwachsene oder herumlaufende Kinder oder das Geräusch des Herumrückens eines Stuhls trotzdem als störenden Lärm [1].

3.2 Physikalische Grundlagen

Um weiterführende konstruktive Maßnahmen schalltechnisch beurteilen und verstehen zu können ist es wichtig einige Grundbegriffe der Bauakustik zu kennen. So ist bei einschaligen, flächigen Bauteilen die flächenbezogene Masse und die Koinzidenzfrequenz, welche in Kapitel 3.2.1 erläutert wird. Bauteilen sind besonders die Resonanzen zwischen den verschiedenen Schalen, also dem Masse-Feder-System und die Resonanzfrequenz maßgeblich. Auch die Absorptionseigenschaften der Dämmstoffe, welche meist über den längsbezogenen Strömungswiderstand beschrieben werden, wirken sich auf die Schalldämmung aus [22].

3.2.1 Koinzidenzfrequenz

Die Koinzidenzfrequenz oder auch Spuranpassungsfrequenz genannt, ist jene Frequenz, bei der die Wellenlänge der Spur einer schräg auf die Platte eintreffenden Schallwelle, mit der Wellenlänge der Plattenfrequenz einer frei schwingenden Platte übereinstimmt (siehe Abbildung 13). Die Spur einer Wellenlänge ist die Projektion der Welle auf eine Projektionsebene. Im Bereich der Spuranpassung bzw. der Koinzidenzfrequenz überlagern sich die beiden Wellen und es entsteht eine Erhöhung der Schalldurchlässigkeit, was als

sogenanntes Dämmloch bezeichnet wird. Dies ergibt demnach sehr schlechte Schalldämmeigenschaften. Wird die Koinzidenzfrequenz überschritten, werden weitaus bessere Schalldämmwerte als nach dem Massegesetz von BERGER erreicht. Daher sollte die Koinzidenzfrequenz unter oder über dem bauakustisch relevanten Bereich von 100–3150 Hz liegen [23].

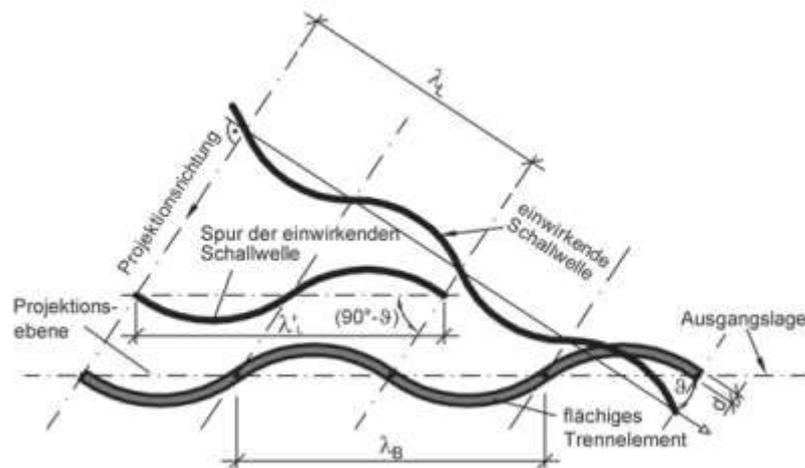


Abbildung 13 Darstellung des Prinzips der Koinzidenzfrequenz [23]

In der folgenden Abbildung sind Biegewellenlängen verschiedener Bauteile der Luftschallwellenlänge gegenübergestellt. Kommt es hier zur Überlagerung der durch den Luftschall verursachten Spurwelle, mit der sich frei einstellenden Wellenlänge der Platte, kommt es zur resonanzartigen Überhöhung der Amplituden und zu einer Verringerung des Schalldämmmaßes. Die Bauteileigenschaften wie die Dicke d , die Rohdichte ρ , der dynamische E-Modul E und die Querkontraktionszahl μ spielen hier eine wichtige Rolle [23, 24].

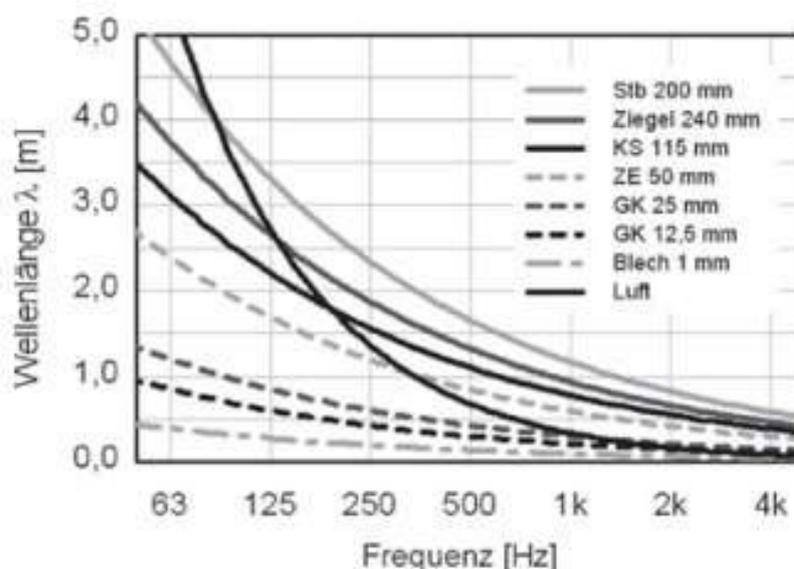


Abbildung 14 Biegewellenlängen verschiedener Bauteile und die der Luft [24]

Die Koinzidenzfrequenz lässt sich wie folgt berechnen:

$$f_k = \frac{c_L^2}{2 * \pi * \sin^2 \vartheta} * \sqrt{\frac{m'}{B'}}$$

$$B' = \frac{E_{dyn} * d^3}{12 * (1 - \mu^2)}$$

$$m' = \rho * d$$

Formel 1 Berechnung Koinzidenzfrequenz [23]

mit:

c_L	Schallgeschwindigkeit der Luft [m/s]
E_{dyn}	dynamische E-Modul des Materials [MN/m ²]
m'	flächenbezogene Masse des Materials [kg/m ²]
ρ	Rohdichte des Materials [kg/m ³]
d	Dicke des Materials [m]
μ	Querkontraktionszahl des Materials
ϑ	Winkel des Schalleinfalls in [°]

Die erste Frequenz, bei der die Spuranpassung eintritt, wird auch Koinzidenzgrenzfrequenz genannt. Sie tritt auf bei $\vartheta = 90^\circ$ also dem streifenden Schalleinfall und errechnet sich nach untenstehender Formel [23].

$$f_g = \frac{c_L^2}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{m'}{B'}} [\text{Hz}]$$

Formel 2 Koinzidenzgrenzfrequenz [23]

mit:

f_g	Koinzidenzgrenzfrequenz [Hz]
d	Dicke des Materials [m]
c_L	Schallgeschwindigkeit in der Luft 340 m/s
m'	flächenbezogene Masse des Material [kg/m ²]

Weiters hat sich baupraktisch ein Wert der Querkontraktionszahl μ von 0,35 erwiesen. So kann die Formel folgendermaßen vereinfacht werden [23]:

$$f_g = \frac{60}{d} * \sqrt{\frac{\rho}{E_{dyn}}} [Hz]$$

Formel 3 Koinzidenzgrenzfrequenz vereinfacht [23]

mit:

- f_g Koinzidenzgrenzfrequenz [Hz]
- ρ Rohdichte des Materials [kg/m^3]
- E_{dyn} dynamische E-Modul des Materials [MN/m^2]

Nachfolgend sind einige im Holzbau wichtige Materialien und deren Koinzidenzgrenzfrequenz sowie dem Koinzidenzfaktor dargestellt.

Baustoff	K in Hz m	Dicke t	Koinzidenzfrequenz f_c
Gipskartonplatten	30 (25 – 35)	12,5 mm	2500 Hz ¹⁾
		15 mm	2000 Hz ¹⁾
		18 mm	1600 Hz ¹⁾
		25 mm	1250 Hz ¹⁾
Gipsfaserplatten	35 (32 – 38)	10 mm	3150 Hz ¹⁾
		15 mm	2500 Hz ¹⁾
		18 mm	2000 Hz
Spanplatten	30 (23 – 36)	10 mm	3150 Hz ¹⁾
		19 mm	1600 Hz ¹⁾
OSB-Platten	25 (20 – 30)	12 mm	2000 Hz ¹⁾
		15 mm	1600 Hz ¹⁾
Zementestrich	16 – 17	50 mm	315 – 400 Hz
Stahlbeton	16 – 17	160 mm	100 – 125 Hz
Ziegel	16 – 17	115 mm	200 – 315 Hz

Tabelle 1 Materialien im Holzbau mit deren Koinzidenzfrequenz und dem Koinzidenzfaktor [22]

Werden die Materialparameter zusammengefasst, so kann zusätzlich für eine weitere Vereinfachung der Formel, der Koinzidenzfaktor K eingeführt werden, siehe dazu Tabelle 1. Die Formel kann sodann wie untenstehend vereinfacht werden [22].

$$f_g = \frac{K}{t} [\text{Hz}]$$

Formel 4 Koinzidenzfrequenz berechnet mit Koinzidenzfaktor [22]

mit:

K Materialkonstante [Hzm]

T Plattendicke [m]

3.2.2 Massengesetz

Das nach dem Erfinder benannte BERGERSches Massengesetz besagt, dass einschalige Bauteile ihre Schalldämm-Maße und den Schalldämmwiderstand, durch die Erhöhung der flächenbezogenen Masse und die Erhöhung der Frequenz erreichen [23]. Die Berechnung erfolgt gemäß folgender Formel:

$$R = 10 + \log \left[1 + \left(\frac{\pi * f * m'}{p_L * c_L} * \cos\vartheta \right)^2 \right]$$

Formel 5 BERGERSches Massengesetz [23]

mit:

R	Schalldämm-Maß [Hz]
f	Frequenz [Hz]
m'	flächenbezogene Masse [kg/m ²]
p _L	Rohdichte der Luft 1,25 [kg/m ³]
c _L	Schallgeschwindigkeit in der Luft [340 m/s]
ϑ	Einfallswinkel des Schalls bezogen auf die flächennormale und dem Schallsignal

Eine Auswertung der obenstehenden Gleichung des BERGERSchen Massengesetz würde ergeben, dass eine Verdopplung der Masse, das Schalldämmmaß um 6 dB erhöht. Außerdem, dass eine Verdopplung der Frequenz eine doppelte Verbesserung des Schalldämm-Maßes verursacht. Weiters ist bei einem streifenden Schalleinfall (ϑ = 90°) das Schalldämm-Maß viel niedriger und bei einem senkrechten Schalleinfall (ϑ = 0°) am höchsten [23].

Bei baupraktisch üblichen Bedingungen und einem allseitigen Schalleinfall, wird sich üblicherweise ein diffuses Schallfeld einstellen. Es ist also der streifende Schalleinfall aufgrund der Geometrie der Räume nicht bedeutsam. So lässt sich das BERGERSche Massengesetz folgendermaßen vereinfachen [23].

$$R = 20 * \log(f * m') - 47 [dB]$$

Formel 6 Reduziertes BERGERSche Massengesetz [22]

mit:

R	Schalldämm-Maß [Hz]
f	Frequenz [Hz]
m'	flächenbezogene Masse [kg/m ²]

Das Massengesetz lässt sich grafisch in Abhängigkeit der Frequenz, aber auch für das bewertete Schalldämm-Maß R_w darstellen. Hierfür kommt ein Massendiagramm zur Anwendung, welches aus Daten unterschiedlicher Bauteile mit unterschiedlichen Dicken ermittelt wurde (siehe Abbildung 15). Bei der Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse, wird im Diagramm ersichtlich, dass bei Bauteilen, welche sehr dünn und biegeweich sind, eine Verdopplung der Masse eine Erhöhung der Schalldämmung von 6 dB erreicht werden kann. Bei Materialien, welche sehr steif sind, bildet sich trotz Steigerung der Masse ein Plateau aus, in welchem keine Verbesserung des Schalldämm-Maßes erreicht wird [22]. Somit hat nicht nur die Masse, sondern auch die Biegesteifigkeit der Materialien Einfluss auf die Schalldämmung.

Grundsätzlich spricht man von biegeweichen Materialien, wenn die Grenzfrequenz f_g über 2500 Hz liegt. Materialien unter diesem Wert, werden als biegesteif bezeichnet [25, 23].

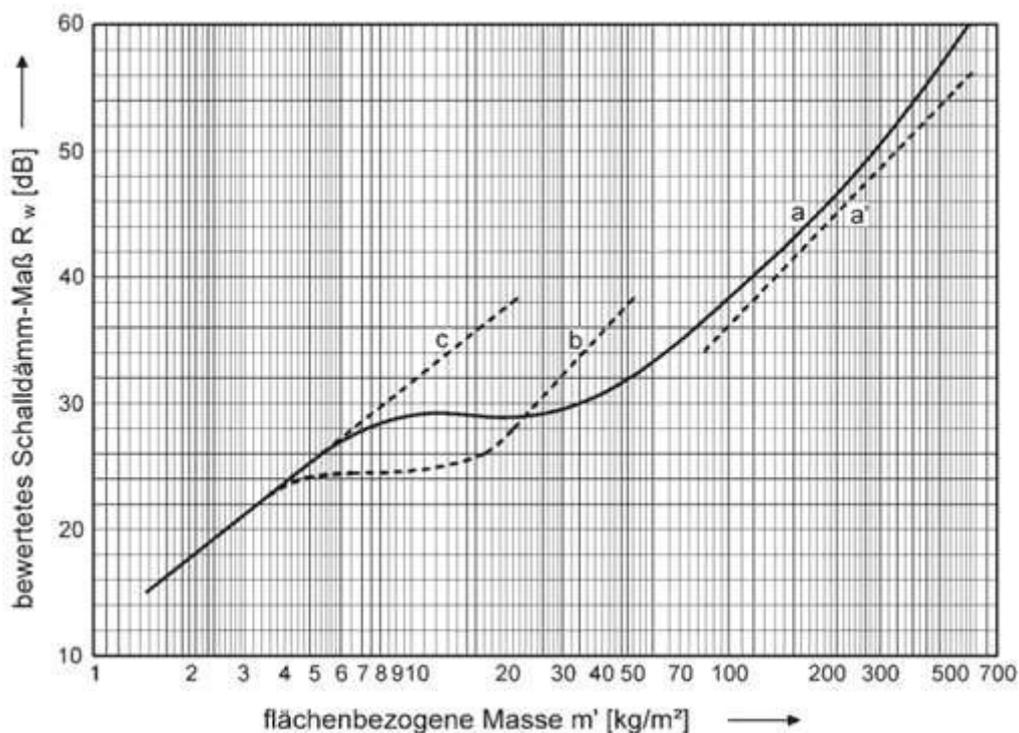


Abbildung 15 Massendiagramm mit unterschiedlichen Bauteilen unterschiedlicher Masse zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w ; [22, 23]

mit:

- 1.) Kurve c für ideal biegeweich Bauteile z.B. Gummi, Stahl bis 2mm Dicke, Bleiblech;
- 2.) Kurve b für Holzwerkstoffe;
- 3.) Kurve a für massive steife Bauteile z.B. Beton, Ziegel, Gips;
- 4.) Kurve a' für Rechenwerte nach der DIN 4109 Bbl.1 mit flankierenden Bauteilen für flächenbezogene Massen oberhalb des Plateaubereiches eingeführt

3.2.3 Einschalige Bauteile

Einschalige Bauteile werden als ein Element bzw. eine Masse dargestellt, auch wenn sie aus mehreren Schichten bestehen. Alle Schichten dieser Elemente müssen ähnliche Materialien sein, zum Beispiel eine Betondecke mit Putz oder eine Ziegelmauer mit beidseitigem Putz. Für das Schwingverhalten bedeutet dies, dass die einschaligen Bauteile konphas schwingen und daher keine Phasenverschiebung haben. Charakteristisch für einschalige Bauteile lässt sich das Luftschalldämmmaß R_w in Bezug auf die Frequenz darstellen, wobei zu erkennen ist, dass im Bereich der Koinzidenzfrequenz eine Verschlechterung des Luftschalldämmmaßes R_w stattfindet. Auch die anfängliche Verbesserung des Luftschalldämmmaßes bezogen auf das BERGERSche Massengesetz ist zu erkennen. Erst nachdem die Koinzidenzfrequenz oder auch Spuranpassungsfrequenz überschritten wurde findet wieder eine Verbesserung der Luftschalldämmung statt (siehe Abbildung 16) [23].

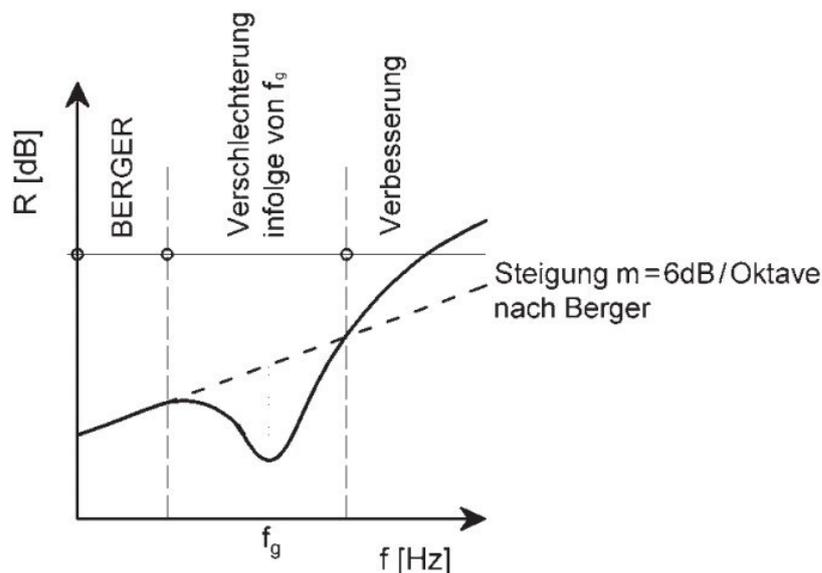


Abbildung 16 Verlauf des Luftschalldämm-Maßes eines einschaligen Bauteils, bezogen auf die Frequenz im Bereich des bauakustisch relevanten Bereichs [23]

3.2.4 Mehrschalige Bauteile

Mehrschalige Bauteile, sind Bauteile, die aus mehreren, nicht starr miteinander verbundenen Schichten bestehen. Hierbei können verschiedenste Dämmstoffe als Feder zum Einsatz kommen. Auch eine Zwischenschicht aus Luft würde ein mehrschaliges Bauteil darstellen. Beschrieben werden diese Systeme mit einem Masse-Feder-Masse System. Es ist hierbei von großer Bedeutung welche dynamische Steifigkeit s' die Zwischenschicht hat. Ein Masse-Feder-Masse System kann beispielhaft mit Abbildung 17 dargestellt werden, wobei es auch Aufbauten mit mehreren Federn und Massen geben kann, so zum Beispiel eine Holzbalkendecke [23].

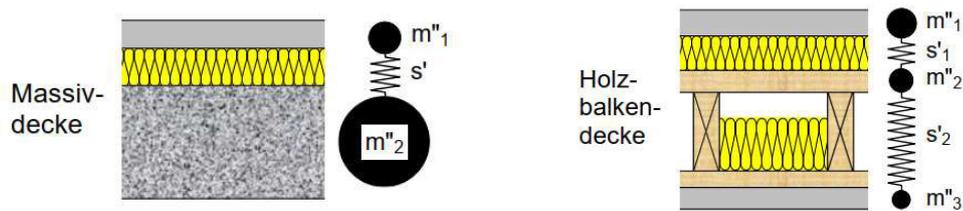


Abbildung 17 Masse-Feder-Masse Systeme [26]

Typisch für einen Verlauf des Luftschalldämmmaßes ist, dass im Gegensatz zum BERGERschen Massengesetz die Resonanzfrequenz, die Koinzidenzfrequenzen der Schalen sowie die stehenden Wellen im Schalenzwischenraum eine Verschlechterung des Schalldämmmaßes hervorrufen. Im Bereich zwischen Resonanzfrequenz und der ersten Koinzidenzfrequenz der Schale ergibt sich eine Verbesserung um 12 dB, was eine Steigerung der frequenzabhängigen Schalldämmkurve $m = 18\text{dB/Oktave}$ darstellt, siehe dazu Abbildung 18 [23].

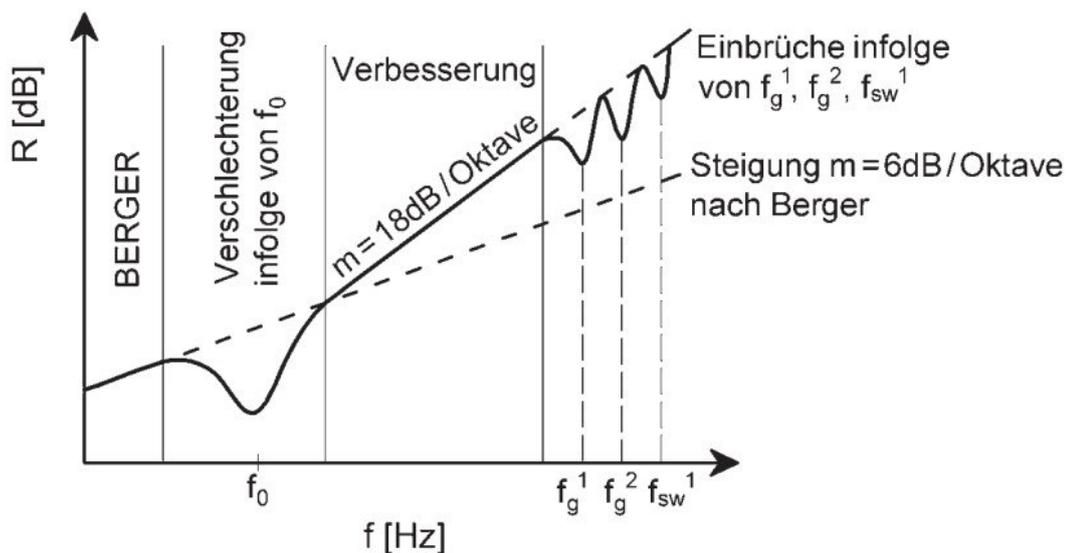


Abbildung 18 Frequenzabhängiger Verlauf des Luftschalldämmmaßes [23, 5]

mit:

- f_0 Resonanzfrequenz [Hz]
- f_g Koinzidenzfrequenzen der Schalen [Hz]
- f_{sw} Eigenfrequenz des Luftzwischenraumes [Hz]

Die Berechnung der Resonanzfrequenz für einen zweischaligen Aufbau erfolgt gemäß untenstehender Formel.

$$f_0 = 160 * \sqrt{s' \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \text{ [Hz]}$$

Formel 7 Resonanzfrequenz bezogen auf die beiden Massen in kg/m² und die dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht in MN/m³ [5]

$$s' = \frac{E_{dyn}}{d} \left[\frac{MN}{m^3} \right]$$

Formel 8 Dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht [5]

Wie schon erwähnt, ist es wichtig, dass die Zwischenschicht einen niedrigen dynamischen E-Modul aufweist. Hohe dynamische E-Modi sowie eine reine Luftschicht im Zwischenraum wirken sich nachteilig auf das Schalldämmmaß aus, da dann die stehenden Wellen im Zwischenraum wirken (siehe Abbildung 18). Es sollte daher zumindest eine Hohlraumbedämpfung mit $r \geq 5 \text{ kN*s/m}^4$ eingebracht werden. Der Wert r der Hohlraumbedämpfung ist der längsbezogene Strömungswiderstand welcher Aufschluss über die strukturellen Eigenschaften poröser Absorber gibt [27]. In diesem Fall errechnet sich die dynamische Steifigkeit wie folgt [5, 23].

$$s' = \frac{10}{d} \left[\frac{MN}{m^3} \right]$$

Formel 9 dynamische Steifigkeit mit einer Hohlraumbedämpfung $r \geq 5 \text{ kN*s/m}^4$ [23]

Näherungsweise ist Formel 5 auch für Holzbalkendecken verwendbar. Hier ist als m_1 die Masse der Estrichplatte und als m_2 die Masse der oberen Beplankung der Rohdecke einzusetzen. Tatsächlich ist das Schwingungsverhalten von Holzbalkendecken, aufgrund der verschiedenen Schichten und Bauteile, wesentlich komplizierter. Zusätzlich beeinflussen die Balken das Schwingungsverhalten. Für eine Holzbalkendecke mit drei Massen wie in Abbildung 17 dargestellt, lässt sich die Resonanzfrequenz noch relativ einfach rechnerisch ermitteln. Sobald Systeme mit mehr Massen zur Anwendung kommen, ist dies nicht mehr derartig möglich. Für die Berechnung mit einer linearen Kette aus drei Massen kann folgende Gleichung verwendet werden [28]:

$$f_0 = \frac{1}{2^{3/2}\pi} \left\{ \frac{s'_1 + s'_2}{m_2} + \frac{s'_1}{m_1} + \frac{s'_2}{m_3} \pm \left[\left(\frac{s'_1 + s'_2}{m_2} + \frac{s'_1}{m_1} + \frac{s'_2}{m_3} \right)^2 - 4s'_1s'_2 \left(\frac{1}{m_1 + m_2} + \frac{1}{m_2m_3} + \frac{1}{m_1m_3} \right) \right]^{1/2} \right\}^{1/2}$$

Formel 10 Berechnung der Resonanzfrequenz für eine Holzbalkendecke mit 3 Massen [28]

Formel 10 liefert zwei verschiedene Resonanzfrequenzen, wobei die niedrigere meist außerhalb des üblichen bauakustischen Bereiches mit den Frequenzen zwischen 100 und 3150 Hz liegt, jedoch hinsichtlich des störenden Gehgeräusches durchaus eine Rolle spielt. Abbildung 19 zeigt den Vergleich unterschiedlicher Resonanzfrequenzen bei Messungen an einer Betonmassivdecke mit einer flächenbezogenen Masse von 300 kg/m² und einer Dicke

von 14 cm und einer Holzbalkenbezugsdecke C1 gemäß ÖNORM EN ISO 10140-5 (siehe Kapitel 5.2.2) [29].

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

Abbildung 19 Vergleich von Resonanzfrequenzen einer Massivdecke (MD) und einer Holzbalkendecke (HBD) mit unterschiedlichem Estrichaufbau [28]

In Abbildung 19 ist gut ersichtlich, dass ein mineralischer Estrich auf einer Holzbalkendecke eine höhere Resonanzfrequenz als auf einer Betondecke erzeugt. Dies belegt, dass die akustische Wirkung eines mineralischen Estrichs auf einer Holzbalkendecke viel geringer als jene auf einer Betondecke ist [28].

Zu beachten ist wieder der Aspekt des häufig störenden Gehgeräusches. So wäre demnach ein Trockenestrich zu empfehlen, da dann zwar im Bereich der Resonanzfrequenz bei 410 ein Schalldämmloch entsteht, aber die niedrigen Frequenzen des Gehgeräusches bei unter 100 Hz blockiert werden können.

Eine weiche Dämmschicht und eine schwere Estrichplatte, sind noch nicht alleine dafür ausschlaggebend, ob die Resonanzfrequenz niedrig ist. Um das Optimum aus Masseverhältnis zu Resonanzfrequenz zu erreichen, ist vor allem die Gegenmasse bei Holzbalkendecken von Bedeutung. Messergebnisse ergaben hier beste Ergebnisse, wenn die Masse des Estrichs gleich der Masse der obersten Beplankung der Holzdecke ist (siehe Abbildung 20) [28].

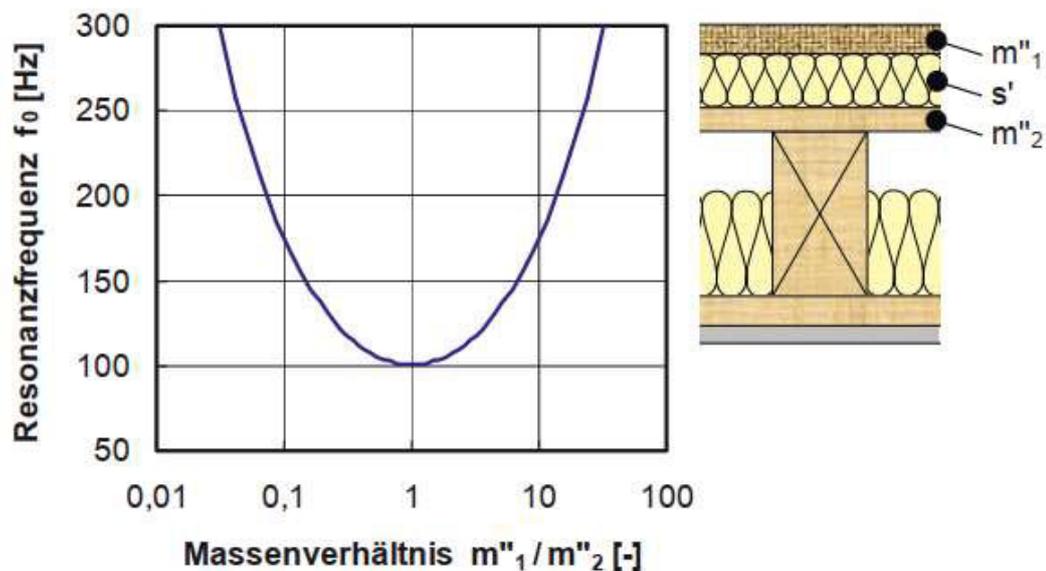


Abbildung 20 Masseverhältnis zu Resonanzfrequenz gemessen an einer Bezugsholzdecke C1 gemäß ÖNORM EN ISO 10140-5 [28]

3.3 Konstruktive Maßnahmen

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass bei massiven homogenen Bauteilen nur eine Erhöhung der Masse zu einer Verbesserung des Schallschutzes führt. Im Holzbau werden allerdings überwiegend leichte Materialien verwendet. Zusätzlich setzen sich diese Deckenaufbauten aus mehreren Schichten zusammen, welche ein Masse-Feder-Masse System widerspiegeln. Die Wirkungsweise der einzelnen Schichten untereinander hängt von vielen Parametern ab. So können konstruktionsbedingt Systeme mit mehreren Resonanzfrequenzen entstehen, dabei gilt je größer die Anzahl der Schichten, desto komplexer das System [5].

Aus diversen Messungen und Untersuchungen geht hervor, dass man im Holzbau mit relativ einfachen Maßnahmen und Mitteln den Luftschallschutz verbessern kann und dass bei Erreichen eines ausreichenden Trittschallschutzes der Luftschallschutz eingehalten ist [5].

Im Holzbau ist weiters mit verhältnismäßig kleinen konstruktiven Aufwendungen ein gleich hoher Schallschutz wie bei Massivdecken zu erreichen [5].

3.3.1 Rohdecke

In der folgenden Abbildung wird klar ersichtlich, dass Holzdeckensysteme aufgrund der leichten Bauweise bzw. der geringen flächenbezogenen Masse hohe Schallpegel, aufgrund von Körperschallbrücken, im niederfrequenten Bereich aufweisen. Gut ersichtlich ist auch, dass die Kurve in Richtung der höheren Frequenzen stark abflacht. Im Vergleich zu den Holzdecken steht mit der Kurve „e“ die massive Betondecke, welche in den tieferen Frequenzen wesentlich bessere Norm-Trittschallpegel L_n aufweist. Somit ist das Ziel die Verbesserung des Schallpegels bei Holzdecken vor allem im tieffrequenten Bereich zu erreichen [5].

Hinzukommt, dass eben genau dieser tiefe Bereich für den Trittschall enorm bedeutend ist, da wie in Kapitel 3.1, vor allem das Gehgeräusch in diesen unteren Frequenzen liegt und von den Nutzern als störend empfunden wird.

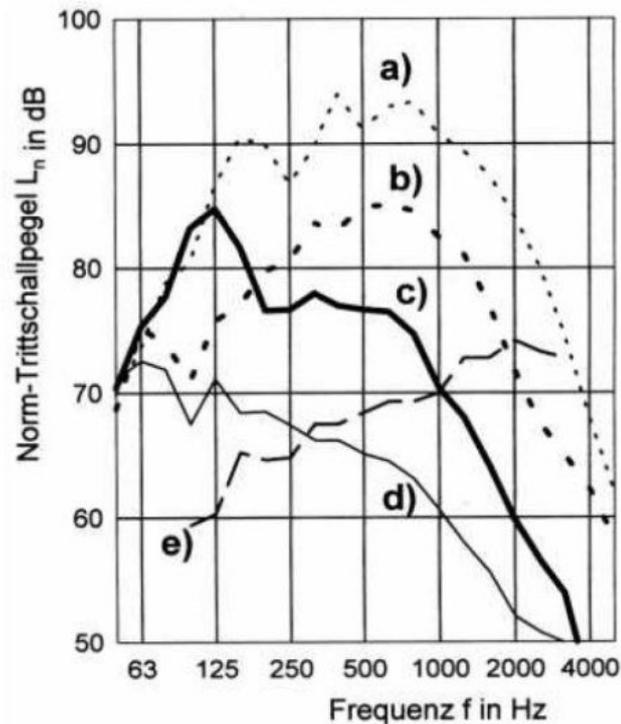


Abbildung 21 Typische Kurvenverläufe von Holzrohdecken und einer massiven Betondecke [5]

mit:

- a.) offene Holzbalkendecke
- b.) Brettstapeldecke
- c.) Holzbalkendecke mit Lattung
- d.) Holzbalkendecke mit Federscheinen
- e.) Betondecke

3.3.2 Rohdeckenbeschwerung

Eine erste Form zur Verbesserung des Norm-Trittschalpegels L_n ist die Beschwerung der Rohdecke mit einer Masse, um bessere Eigenschaften im tieferfrequenten Bereich zu erzielen. So kann zum Beispiel die Erhöhung der Masse mit Splitt oder Kiesschüttung erfolgen. Im folgenden Bild wird ersichtlich, dass eine derartige Beschwerung von Holzdecken die Kurve des Norm-Trittschallpegels schon der einer Stahlbetondecke annähert. Die Holzdecke ist trotzdem noch erheblich leichter als die Stahlbetondecke. Schüttungen zeigen hinsichtlich der Rohdeckenbeschwerung bessere Eigenschaften als Plattenbeschwerungen, zurückzuführen ist dies auf die zusätzliche Bedämpfung der Decke und des damit einhergehenden höheren Verlustfaktors der Schüttung. Außerdem sind

Plattenbeschwerungen, um die Bedämpfungswirkung zu erhalten, mit Klebstoff oder in einem Sandbett zu verlegen [5].

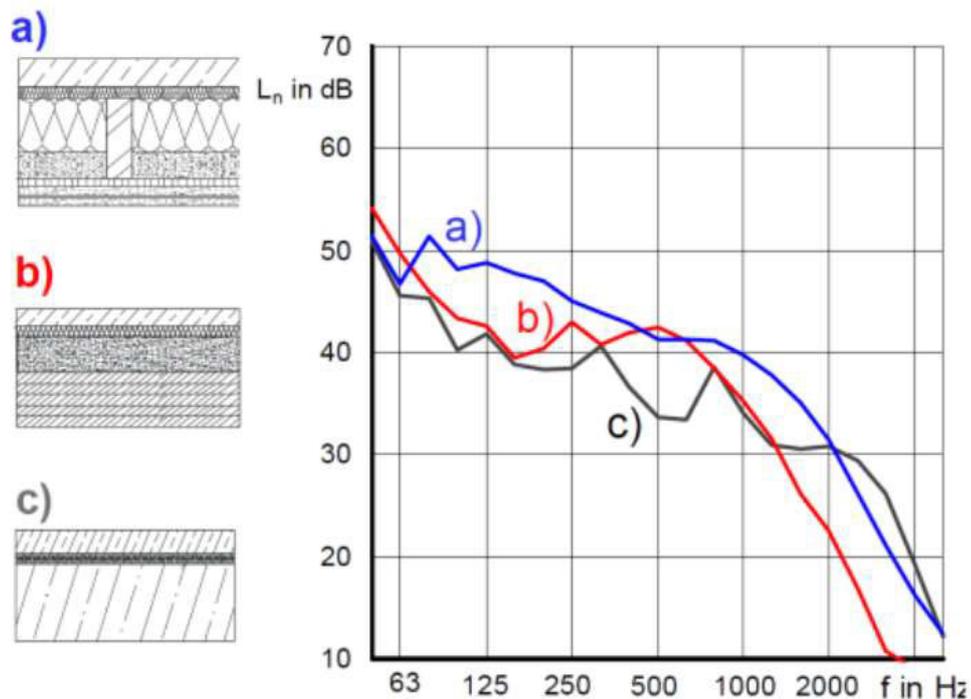


Abbildung 22 optimieren des Norm-Trittschallpegels durch Beschwerung von Holzdecken [5]

mit:

- Holzbalkendecke mit schwimmenden Estrich auf Mineral- und Holzfaserplatten, beschwert mit 80mm Split $\rightarrow L_{n,w} + C_{l, 50-2500} = 40$ dB
- Brettstapeldecke mit schwimmenden Estrich auf Mineralwolle, beschwert mit 100mm Split $\rightarrow L_{n,w} + C_{l, 50-2500} = 42$ dB
- Betondecke mit schwimmenden Estrich auf Mineralwolle $\rightarrow L_{n,w} + C_{l, 50-2500} = 40$ dB

3.3.3 Fußbodenaufbau

Wesentlich zur Verbesserung des Schallschutzes trägt der Bodenaufbau einer Decke bei. Es entsteht dabei durch den Aufbau mittels Estrichs und einer Trittschalldämmung ein Masse-Feder-System. Bei einer Holzbalkendecke entstehen aufgrund des Aufbaus und der dazwischenliegenden Luftschicht mehrere Masse-Feder-Systeme. Hierbei stellt der Estrich die Masse und die Trittschalldämmung die Feder dar. Der Estrich muss als schwimmender Estrich oder als Trockenestrich ausgeführt werden, um rechnerisch als eine eigene Masse zu gelten [1, 5].

Als wichtige Größe ist hier die Resonanzfrequenz anzuführen. Der Fußbodenaufbau stellt einen Tiefpassfilter dar und lässt die tiefen Frequenzen im Bereich der Resonanzfrequenz und darunter ungehindert durch und wirkt daher erst gut schalldämmend nach der

Resonanzfrequenz. Um also möglichst gute Trittschallschutzresultate zu erzielen, muss die Resonanzfrequenz möglichst unter der Schwelle für das menschliche Ohr von 50 Hz liegen [1, 5].

Im Bereich der Resonanzfrequenz ist es sogar möglich, wenn die Körperschallverluste im Dämmmaterial klein sind, eine verschlechternde Erhöhung der Signale von bis zu 15 dB zu erreichen [1, 5].

Entscheidend für die Wirkung des Fußbodenaufbaus ist demzufolge einerseits die wirksame flächenbezogene Masse des Estrichs und andererseits die dynamische Steifigkeit des Dämmmaterials, welche wie in Formel 11 ersichtlich, möglichst gering sein sollte, um eine geeignete Resonanzfrequenz zu erhalten [1, 5].

$$f_0 = 160 * \sqrt{\frac{s'}{m'}} [Hz]$$

Formel 11 Resonanzfrequenz für einen Estrichaufbau [1]

mit:

f_0 Resonanzfrequenz [Hz]

m' flächenbezogene Masse des Estrichs [kg/m^2]

s' flächenbezogene Dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung [MN/m^3]

Ablesbar wird, dass bei einer Halbierung der dynamischen Steifigkeit, ein theoretisch um 6 dB verbessertes Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w erreicht werden kann. Zu beachten ist allerdings, dass die Verringerung der dynamischen Steifigkeit bzw. das weicher machen der Trittschalldämmung nicht automatisch zur Verringerung des Gehgeräusches führt, da sich dadurch die Eigenfrequenz des Estrichs zu tieferen Frequenzen verlagert. Deshalb ist, um eine Verbesserung der Geräuschsituation zu erreichen, ein weiteres Kriterium, nämlich der Verlustfaktor des Dämmmaterials einzuführen. Hierbei kann für die Berechnung der Trittschallminderung die nachfolgende Formel für einen Estrich in Terzbandbreite verwendet werden [1, 5].

$$\Delta L_n = 10 \lg \frac{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + d}{1 + d} [dB]$$

Formel 12 Trittschallminderung eines Estrichs [1]

mit:

f_0 Resonanzfrequenz des Estrichs [Hz]

f betrachtete Frequenz [Hz]

d Verlustfaktor des Dämmmaterials unter dem Estrich [-] (z.B. EPS-T= 0,06, Mineralfaser = 0,18)

Der enorm große Einfluss des Verlustfaktors d des Dämmmaterials wird anhand Formel 12 ersichtlich, so kommt es bei der Verwendung von EPS-T im Gegensatz zur Mineralfaser im Estrich zu einer Resonanzerhöhung und die Gehgeräusche, welche als störend empfunden werden, können so um bis zu 10 dB lauter erscheinen [1].

Untersuchungen haben ergeben, dass auch die Dicke der Dämmschicht eine große Rolle hinsichtlich der optimalen Trittschallminderung spielt. So wäre eine Dicke des Dämmmaterials mit $\geq 40\text{mm}$ als optimal zu bewerten [1].

3.3.4 Abgehängte Unterdecken

Zur weiteren Verbesserung der schallschutztechnischen Eigenschaften von Holzdecken dienen abgehängte biegeeweiche Decken. Hierbei wird wieder ein neues Masse-Feder-System geschaffen, wobei die Unterdecke die Masse und das abgehängte System bzw. der Luftraum zwischen diesem System die Feder darstellt. Wichtig sind hier die Eigenschaften der flächenbezogenen Masse der oberflächenbildenden Abhängung und die Distanz zwischen Rohdecke und Abhängung. So soll die Abhängung eine große Masse und eine kleine Biegesteifigkeit haben und die Abhängung zwischen Rohdecke und Unterdecke mit mindestens 30 cm möglichst groß sein. Dabei ist es sehr wichtig, dass die Unterdecke von der Rohdecke entkoppelt wird [1, 5].

Die abgehängte Decke hat eine signifikante Resonanzfrequenz, welche von der Federsteifigkeit des Hohl-bzw. Bedämpfungsraumes und der Masse der Unterdecke abhängt. Die Resonanzfrequenz der Unterdecke kann mit untenstehender Formel berechnet werden [1, 5].

$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{h} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ [Hz]}$$

Formel 13 Resonanzfrequenz einer abgehängten Decke [1]

mit:

f_0	Resonanzfrequenz [Hz]
E	Elastizitätsmodul der Feder [Pa]
h	Abhängehöhe [m]
m'_1	flächenbezogene Masse der Decke [kg/m^2]
m'_2	flächenbezogene Masse der Unterdecke [kg/m^2]

Festzuhalten ist, dass Konstruktionen mit biegeweichen Unterdecken und geringem Schalenabstand im Vergleich zu Konstruktionen ohne derartige Unterdecke, erst in den Terzbändern über 100 Hz eine Verbesserung des Schallschutzes zeigen. Abhängungen mit zu geringem Abstand können dabei sogar zu Verschlechterungen führen. Es ist daher einerseits wichtig eine große Distanz von bestenfalls mehr als 30 cm zwischen Rohdecke und Unterdecke zu realisieren und andererseits auch eine entsprechende Entkopplung

herzustellen. Werden Entkopplungen nicht fachmännisch ausgeführt, sind abgehängte Decken nicht mehr schallverbessernd [5].

Positiv für den Trittschallschutz wirkten sich abgehängte Deckenkonstruktionen bei Holzbalkendecken aus, da hier die Resonanzfrequenz in den unteren also in den tieferen Frequenzbereich verlagert wird. Dies sorgt bei großen Schalenabständen von zum Beispiel 32 cm mit nur einer geringen Deckenbeschwerung von ca. 3cm für eine Verbesserung des Normtrittschallpegels, wobei in Untersuchungen sehr gute Werte ab 50 Hz erreicht werden konnten [5].

Bei einer tiefen Resonanzfrequenz der Unterdecke, kann es ebenso sein, dass die Schalldämmung nicht verbessert wird bzw. sich sogar verschlechtert. In der folgenden Abbildung wird ersichtlich, dass auch bei einer sehr niedrigen Resonanzfrequenz von 40 Hz, die Unterdecke welche abgehängt ausgeführt ist, keinen Einfluss auf den Schallschutz in den Frequenzbändern 50 bis 63 Hz [1].

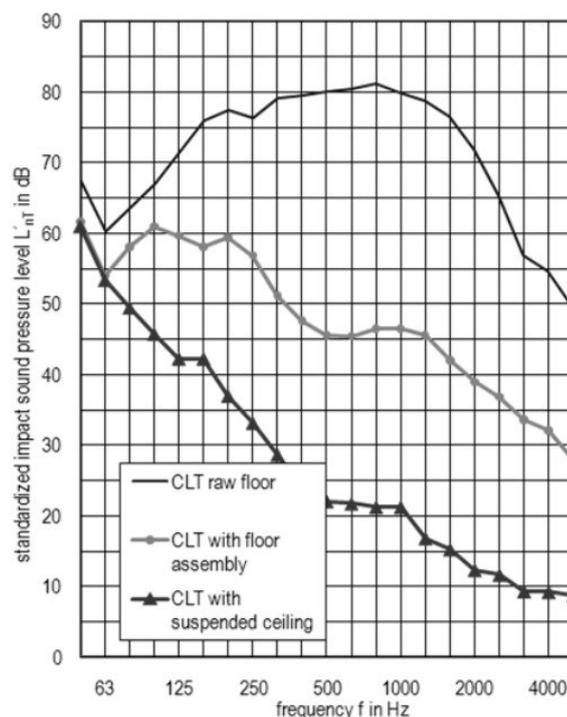


Abbildung 23 Trittschalleigenschaften einer BSP Decke, einer BSP Decke mit Fußbodenaufbau und einer BSP Decke mit abgehängter Deckenkonstruktion und Fußbodenaufbau [1]

3.3.5 Hohlraumbedämpfung

Zusätzlich kann im Luftraum der abgehängten biegeweichen Unterdecke eine Hohlraumbedämpfung eingebaut werden. Diese kann den Trittschallschutz und den Luftschallschutz weiter verbessern. Hierbei ist nicht die Rohdichte der Dämmschicht die wichtigste Eigenschaft, sondern der Strömungswiderstand. Dieser sollte einen Wert von $r > 5 \text{ kPa s/m}^2$ aufweisen. Es muss hierbei nicht der gesamte Hohlraum gefüllt werden, 70% in der Höhe und 80% in der Fläche haben sich als praktikabel erwiesen [1, 5].

4 Zielwerte für den Trittschall

Nachdem die Anforderungen der Gesetze oder Normen den Ansprüchen der Nutzer oft nicht entsprechen, wurden spezielle Zielwerte für den Trittschall festgelegt. Diese Werte beruhen auf der Vergleichsmessung der Trittschalldämmung einer Decke mit dem bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ und der Wahrnehmung eines durch der auf einer Decke begehenden Person erzeugten Trittschallpegels. Hierfür wurden in Untersuchungen die Messungen mit dem Normhammerwerk und weiters mit einer gehenden Person auf einer Decke vorgenommen (siehe Abbildung 24). Die Bewertung für die Trittschallübertragung durch eine gehende Person auf Decke wurde mit einem A-Bewerteten und nachhallkorrigierten Wert $L_{AFmax,n}$ gebildet. Diese Messungen ergaben, dass zwischen dem Norm-Trittschallpegel und dem A-bewerteten Trittschallpegel kein eindeutiger Zusammenhang besteht. Eine Decke mit einem Norm-Trittschallpegel von 52 dB und einem A-bewerteten Pegel von 42 dB hat ähnliche Gehgeräusche wie eine Decke mit einem Norm Trittschallpegel von 37 dB hervorgerufen. Dies zeigt, dass der Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ allein, nicht für die Beurteilung von Gehgeräuschen beim Trittschall geeignet ist [22].

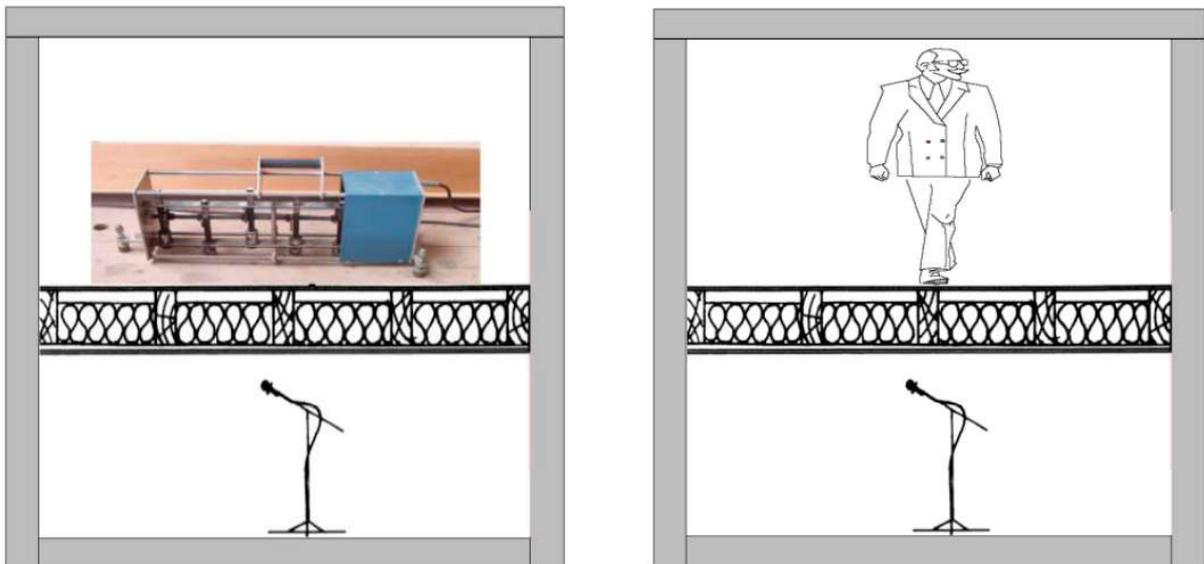


Abbildung 24 Anregung der Decke einerseits mit dem Normhammerwerk, andererseits mit einer gehenden Person [22]

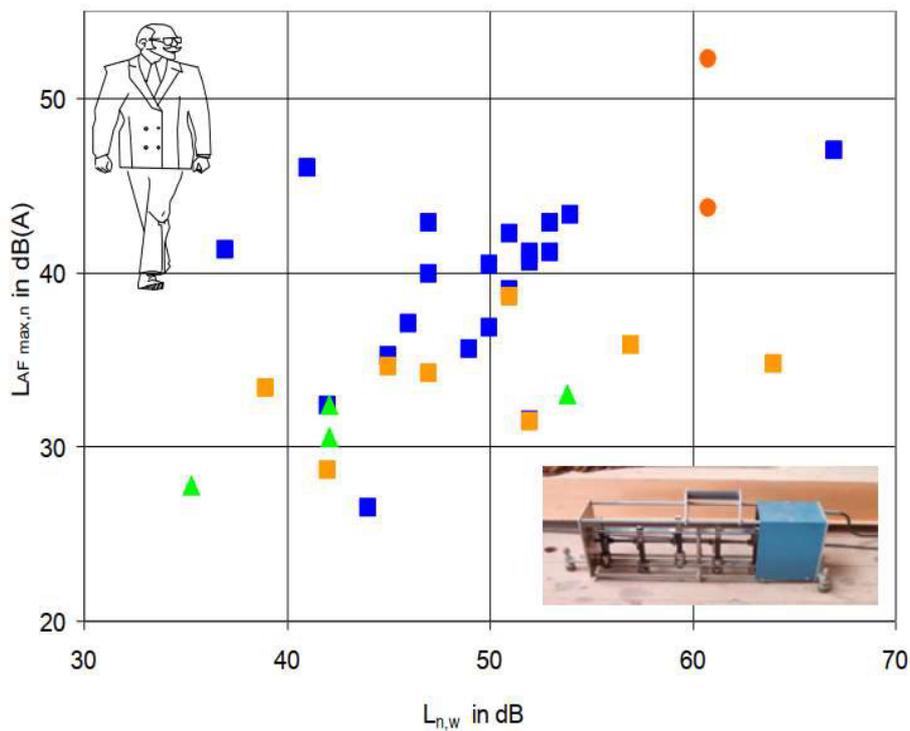


Abbildung 25 Ergebnisse für den Zusammenhang zwischen dem bewerteten Norm-Trittschallpegel und dem A-bewerteten Trittschallpegel, die verschiedenen Farben stammen aus Messungen von verschiedenen Instituten und Messeinrichtungen [22]

Schon im Kapitel 3.1 wurde bereits erwähnt, dass eine Beurteilung für den Schallschutz vor allem hinsichtlich des Trittschalles in Frequenzen unter 100 Hz erfolgen muss. Zuvor Beschriebenes macht deutlich, dass für die Bestimmung der Güte einer Decke bzw. eines Trennbauteiles, es essenziell ist, eine bauakustische Bewertung auch in den niedrigen Frequenzen zu tätigen. In Abbildung 25 ist zu sehen, dass zwischen dem bewerteten Norm-Trittschallpegel und der A-Bewertung kein eindeutiger Zusammenhang besteht, dies zeigen die verschiedenfarbigen stark zerstreuten Punkte im Diagramm. Die blauen Punkte stammen aus Messungen des ift Rosenheim, die orangenen aus Messungen an der TH Rosenheim und die grünen aus Messungen im Deckenprüfstand der Fa. Knauf. Um eine entsprechende Aussage bezüglich des Trittschallpegels zu tätigen wird wie in Kapitel 5.2.6 genannt der Spektrumanpassungswert $C_{I,50-2500}$ zusätzlich betrachtet und gemessen. Dadurch zeigen sich wesentlich bessere Korrelationen der Ergebnisse beim Vergleich von Norm-Trittschallpegel und dem A-bewerteten Trittschallpegel [22].

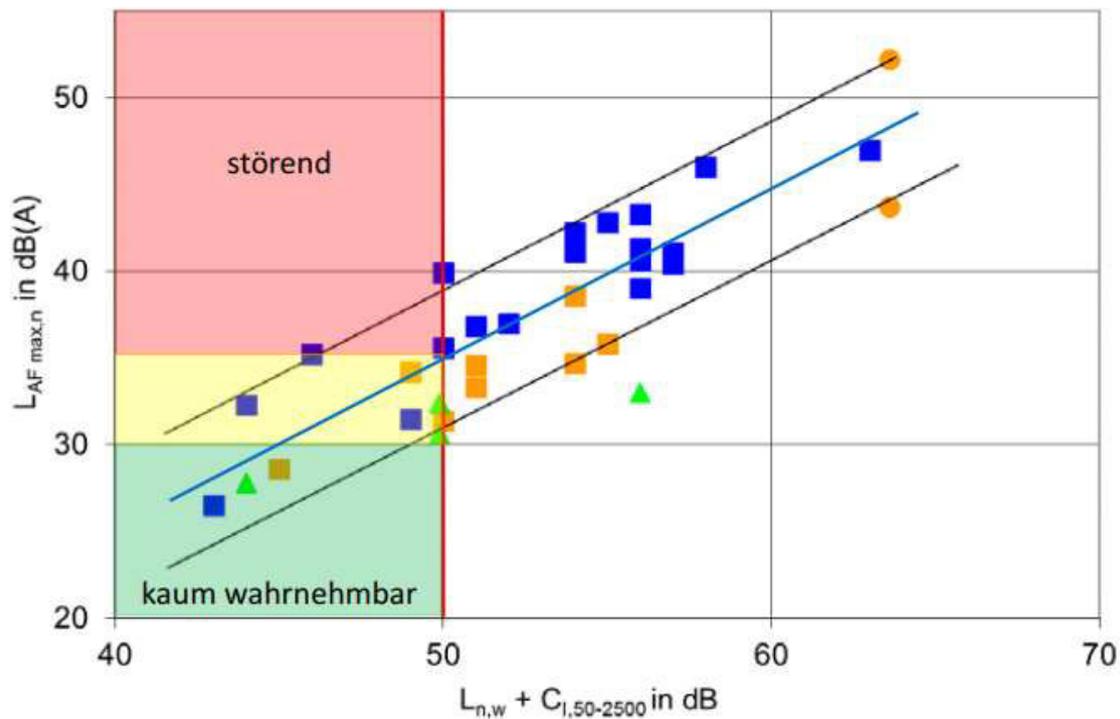


Abbildung 26 Vergleich von Norm-Trittschallpegel mit Spektrumsanpassung und dem A-bewerteten Trittschallpegel durch eine gehende Person [22]

Um Zielwerte für schalltechnisch wirksame trittschallgedämmte Decken festzulegen, kann aufgrund von Erfahrungswerten die Wahrnehmbarkeit von Störeinflüssen und das subjektive Empfinden des Nutzers optimiert bzw. minimiert und berücksichtigt werden (siehe Abbildung 26). Menschen empfinden bei einem Trittschallpegel von $L_{AFmax,n} > 35$ dB ein Geräusch als störend. Liegt also der A-bewertete Trittschallpegel unter diesem Wert ist von keiner Störung gegenüber dem Nutzer auszugehen. Dies wird mit Decken mit einem $L_{n,w} + C_{1,50-2500} < 50$ dB erreicht und wird in Forschungsberichten als „BASIS+“ Schallschutzniveau beschrieben. Soll eine weitere Verbesserung des Trittschallschutzes erreicht werden, so ist die mit Decken bei einem $L_{n,w} + C_{1,50-2500} < 47$ dB zu erreichen und wird als „KOMFORT“ Schallschutzniveau beschrieben [22].

Gemäß der ÖNORM B 8115-5:2012 [30] wäre ein Wert von $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500} \leq 48$ als hoher Komfort zu beschreiben und mit dem KOMFORT Trittschallschutzniveau aus Forschungsberichten gleichzusetzen. Auch beinhaltet diese Norm eine Tabelle für die subjektive Wahrnehmbarkeit von Gehgeräuschen (siehe Abbildungen 27 bis 30).

Seit Jänner 2021 existiert ein neuer Entwurf der ÖNORM B 8115-2 [31] welcher verschiedene Arten von Gehbewegungen und anderen Bewegungen wie Turnen bei der Berechnung des Trittschallschutzes berücksichtigt. So können zukünftig die Anforderungen des Trittschallschutzniveaus genauer bestimmt werden. Auch bezüglich des Luftschallschutzes für Außenbauteile gibt es Neuerungen, welche in dieser Arbeit aber aufgrund des Fokus auf Trenndecken nicht weiter erwähnt werden.

Subjektive Empfindung des Trittschallschutzes					
Schallschutzklasse	Klasse A hoher Komfort	Klasse B Komfort	Klasse C _R ^a „Standard Reihenhaus“	Klasse C ^a Standard	Klasse D ^a gering
Anforderung	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ 48 dB $L'_{nT,w}$ 38 dB	$L'_{nT,w} + C_1$ 43 dB	$L'_{nT,w}$ 43 dB ^a	$L'_{nT,w}$ 48 dB ^a	$L'_{nT,w}$ 53 dB ^a
Schallquelle					
Gehen	fast unhörbar	kaum hörbar	schwach hörbar	hörbar	deutlich hörbar
Kinderlaufen, Barfußgehen	schwach hörbar	hörbar	deutlich hörbar	deutlich hörbar	sehr deutlich hörbar
^a massive Decken zugrunde gelegt					

Abbildung 27 Subjektive Wahrnehmung des Trittschalls gemäß ÖNORM B 8115-5

		Schallschutzniveau		
		2	3	4
Bauteil / Übertragungsweg:		BASIS ± DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT
1	Wohnungstrennwand	$R'_{w} \geq 53$ dB	$R'_{w} \geq 56$ dB	$R'_{w} \geq 59$ dB
2	Reihenhaustrennwand	$R'_{w} \geq 62$ dB	$R'_{w} \geq 62$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 62$ dB ¹⁾⁵⁾	$R'_{w} \geq 67$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 65$ dB ¹⁾⁵⁾
3	Wohnungstrenndecke	$R'_{w} \geq 54$ dB	$R'_{w} \geq 57$ dB	$R'_{w} \geq 60$ dB
4	Wohnungstrenndecke Trittschallpegel	$L'_{n,w} \leq 53$ dB ²⁾	$L'_{n,w} \leq 50$ dB $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 50$ dB ²⁾	$L'_{n,w} \leq 46$ dB $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 47$ dB ²⁾
5	Dachterrassen und Loggien mit darunterliegenden Wohnräumen	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
6	Decken unter Laubengängen (in alle Schallausbreitungsrichtungen)	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
7	Treppenlauf und Treppenpodest	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
8	Außenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109			Anforderungen nach DIN 4109 inkl. Berücksichtigung $c_{1,50-5000}$ für das opake Bauteil ⁴⁾
9	Weitere Bauteile	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-5:2019 ⁶⁾

¹⁾ ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken
²⁾ ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken
³⁾ Sonderregelung für Deckenkonstruktionen, die der DIN 4109-33:2016 zuzuordnen sind, ansonsten $L'_{n,w} \leq 50$ dB
⁴⁾ Für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung, reine Bauteilanforderung
⁵⁾ Anforderung an die Doppelschalenwand, beide Wände
⁶⁾ nach jeweils gültiger Fassung oder E-DIN 4109-5:2018

Abbildung 28 verschiedene Schallschutzniveaus für bestimmte Anforderungen [22]

Klassifizierung des Trittschallschutzes								
Trittschalldämmung ^a		Klasse A	Klasse B	Klasse C _R	Klasse C	Klasse D	Klasse E	Zeile
		„hoher Komfort“	„Komfort“	„Standard Reihenhaus“ ^b	„Standard“ ^b	„gering“	„sehr gering“ oder „keine Leistung festgestellt“	
dB								
zu Aufenthaltsräumen aus Räumen angrenzender Nutzungseinheiten	$L'_{nT,W}$	≤ 38	≤ 43	≤ 43	≤ 48	≤ 53	> 53	1a
	$L'_{nT,W} + C_1$	≤ 43	≤ 43	–	–	–	–	1b
	$L'_{nT,W} + C_{1,50-2500}$	≤ 48	–	–	–	–	–	1c
zu Räumen innerhalb einer Nutzungseinheit, auch im Einfamilienhaus ^c	$L'_{nT,W}$	≤ 48	≤ 53	–	–	–	–	2a
	$L'_{nT,W} + C_1$	≤ 53	≤ 53	–	–	–	–	2b
	$L'_{nT,W} + C_{1,50-2500}$	≤ 58	–	–	–	–	–	2c

Abbildung 29 verschiedene Schallschutzniveaus Teil1, gemäß ÖNORM B8115-5

Klassifizierung des Trittschallschutzes								
Trittschalldämmung ^a		Klasse A	Klasse B	Klasse C _R	Klasse C	Klasse D	Klasse E	Zeile
		„hoher Komfort“	„Komfort“	„Standard Reihenhaus“ ^b	„Standard“ ^b	„gering“	„sehr gering“ oder „keine Leistung festgestellt“	
dB								
zu Aufenthaltsräumen aus Treppenhäusern und Laubengängen	$L'_{nT,W}$	≤ 40	≤ 45	≤ 43	≤ 50	≤ 55	> 55	3a
	$L'_{nT,W} + C_1$	≤ 45	≤ 45	–	–	–	–	3b
	$L'_{nT,W} + C_{1,50-2500}$	≤ 50	–	–	–	–	–	3c
zu Aufenthaltsräumen aus nutzbaren Dachböden, Terrassen, Dachgärten, Balkonen und Loggien bei Reihenhäusern zu angrenzenden Nutzungseinheiten	$L'_{nT,W}$	≤ 43	≤ 48	≤ 43	≤ 53	≤ 58	> 58	4a
	$L'_{nT,W} + C_1$	≤ 48	≤ 48	–	–	–	–	4b
	$L'_{nT,W} + C_{1,50-2500}$	≤ 53	–	–	–	–	–	4c
zu Aufenthaltsräumen aus allgemein zugänglichen nutzbaren Dachböden, Terrassen, Dachgärten, Balkonen und Loggien	$L'_{nT,W}$	≤ 38	≤ 43	≤ 43	≤ 48	≤ 53	> 53	5a
	$L'_{nT,W} + C_1$	≤ 43	≤ 43	–	–	–	–	5b
	$L'_{nT,W} + C_{1,50-2500}$	≤ 48	–	–	–	–	–	5c

^a zwischen Nebenräumen gelten um 5 dB verminderte Anforderungen
^b entspricht den Mindestanforderungen gemäß ÖNORM B 8115-2
^c Diese Räume sind gesondert festzulegen.

Abbildung 30 verschiedene Schallschutzniveaus Teil 2, gemäß ÖNORM B8115-5

Die Schallschutzklasse C gemäß der ÖNORM B 8115-5 [30] entspricht dabei der Mindestanforderung an den Trittschallschutz der ÖNORM B 8115-2 [16]. Weitere Schallschutzstufen können der VDI 4100:2012-10 Richtlinie entnommen werden, diese sind jedoch ohne die dazugehörigen Spektrumsanpassungswerte angegeben und werden daher nicht weiter betrachtet.

Festzuhalten ist, dass eine A-Bewertung zwar näherungsweise die Störeinwirkungen auf den Menschen und dessen Gehör wiedergibt, jedoch mit der bauakustischen Bewertung nicht vergleichbar ist (siehe Abbildung 31) [22].

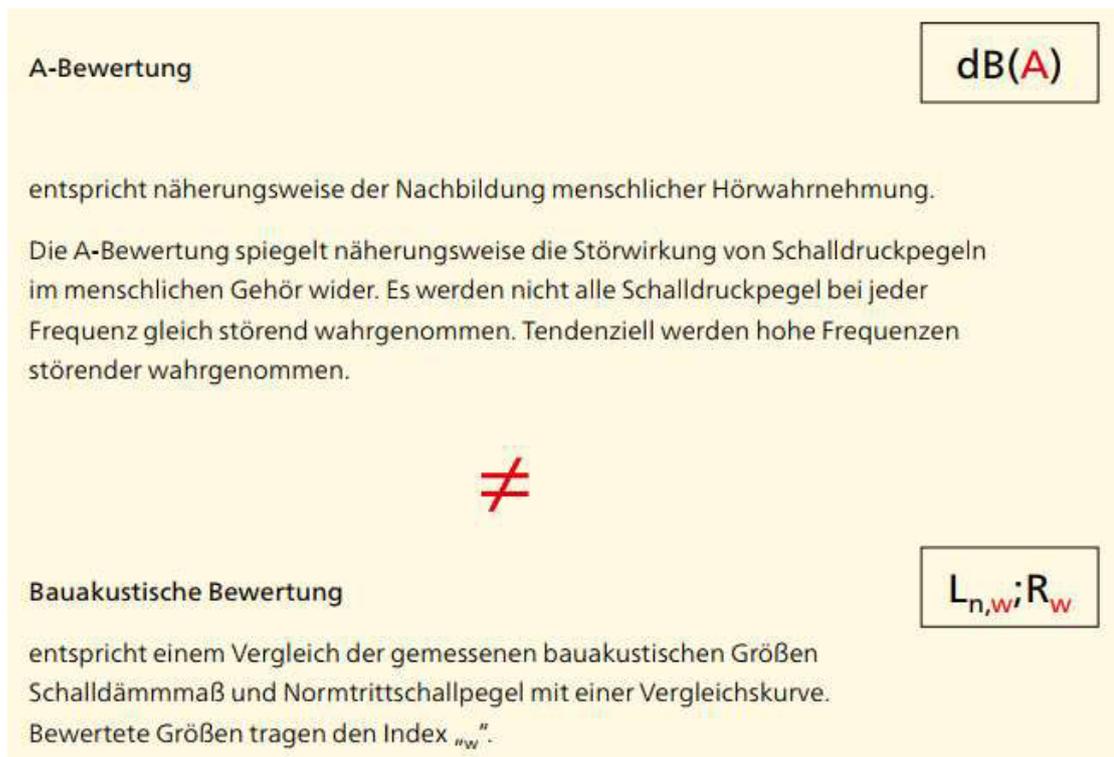


Abbildung 31 Vergleich der A-Bewertung mit der bauakustischen Bewertung [22]

5 Berechnung des Schallschutzes bei Holzbalkendecken

Eine Berechnung des Schallschutzes, wie zum Beispiel beim Wärmeschutz ist derzeit nicht möglich. Es werden zwar immer wieder neue Forschungserkenntnisse und Neuerungen in Rechenmodellen getätigt, was allerdings auch zur Komplexierung der Rechenverfahren führt. Ein einfach anzuwendendes genormtes Rechenverfahren fehlt derzeit [32].

Der Luftschall- und der Trittschallschutz, können derzeit rechnerisch nur abgeschätzt werden. Grundlegend sind hierbei Messungen aus dem Labor, welche für Decken- und Trennbauteile gemessene Normpegel angeben (R_w , $L_{n,w}$). Die im Labor gemessenen Werte, stellen eine Prüfsituation dar und sind daher nicht exakt mit der realen Einbausituation vergleichbar [32].

Am ausgeführten Objekt werden bei den Messungen die Nebenwege über die flankierenden Bauteile berücksichtigt. Diese Ergebnisse werden mit einem Apostroph gekennzeichnet (z.B. R'_w , $L'_{n,w}$) [32].

Während die nach Norm gemessenen Werte nur wenig Ungenauigkeiten haben, ist dies aufgrund vieler Randbedingungen nicht auf die Situation am Bau übertragbar. In der ÖNORM DIN EN 12354 Teil 1 und 2 [17, 18], sind zwar für den Luft- und Trittschallschutz europaweite Rechenverfahren festgelegt worden, jedoch sind diese hauptsächlich für den Massivbau entwickelt worden. Ein Problem ist in den verschiedenen Ausführungsvarianten und der damit unvollständigen Nachweisbarkeit begründet. Ein maßgeblicher Punkt, ist die Ausführungsqualität am Bau, da durch mangelhaftes Einbauen der Bauteile teils enorme Schallbrücken entstehen [32].

In den weiteren Kapiteln wird speziell auf die vertikale Übertragung des Luft- und Trittschallschutzes eingegangen, da sich zeigte, dass vor allem die Geräusche von übereinanderliegenden Wohnungen als störend zeigten [5].

Bei unterschiedlicher Ausführung der flankierenden Bauteile von Trenndecken mit Vorsatzschalen, Elastomeren oder anderen Verbesserungen ist eine differenzierte Betrachtung jeder Wand und der Übertragungswege sinnvoll [33].

5.1 Luftschallschutz

5.1.1 Übertragungswege

Die Übertragungswege bezüglich des Luftschalles ergeben sich aus dem vereinfachten Verfahren gemäß der ÖNORM DIN EN 12354-1 [17], wobei zwischen zwei Räumen insgesamt 13 verschiedene Übertragungssituationen auftreten und zu berücksichtigen sind. Nur eine davon erfolgt direkt über das trennende Bauteil. Für jeden dieser 13 Übertragungswege wird ein Schalldämm-Maß, welches von der Art und dem Aufbau des Bauteils abhängt, ermittelt. Auch in der europäischen Fassung dieser Norm, wird die Luftschallübertragung mit diesen 13 Flanken- und Übertragungswegen ermittelt [3].

Mittels verschiedener Buchstabenkombinationen wird der Schallübertragungsweg gekennzeichnet. Der Buchstabe D kennzeichnet das trennende Bauteil und der Buchstabe F das flankierende Bauteil, wobei Großbuchstaben das angeregte Bauteil im Senderraum und Kleinbuchstaben das abstrahlende Bauteil im Empfangsraum beschreiben (siehe Abbildung 32) [3].

Aufgrund der Inhomogenität von Holzbauteilen, überwiegt bei der Berechnung des Luftschalles der Weg Ff, sodass die Beiträge der Wege Df und Fd vernachlässigt werden können. Die Flankenübertragung wird pauschal je beteiligtem flankierenden Bauteil mit der bewerteten Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ gekennzeichnet [3, 7, 34].

In der Neufassung der DIN 4109 sollten ursprünglich auch die Nebenwege Df und Fd mittels Korrektursummanden aufgenommen werden, wobei Untersuchungen dazu Werte zwischen 0 und 2 dB lieferten. Weitere Untersuchungen zeigten allerdings, dass sich die besten Ergebnisse zwischen Labor- und Baumesungen mit einem Korrektursummanden von 0 dB ergeben, daher wurde dieser Korrektursummand nicht in die Neufassung (2018) der DIN 4109 aufgenommen [3].

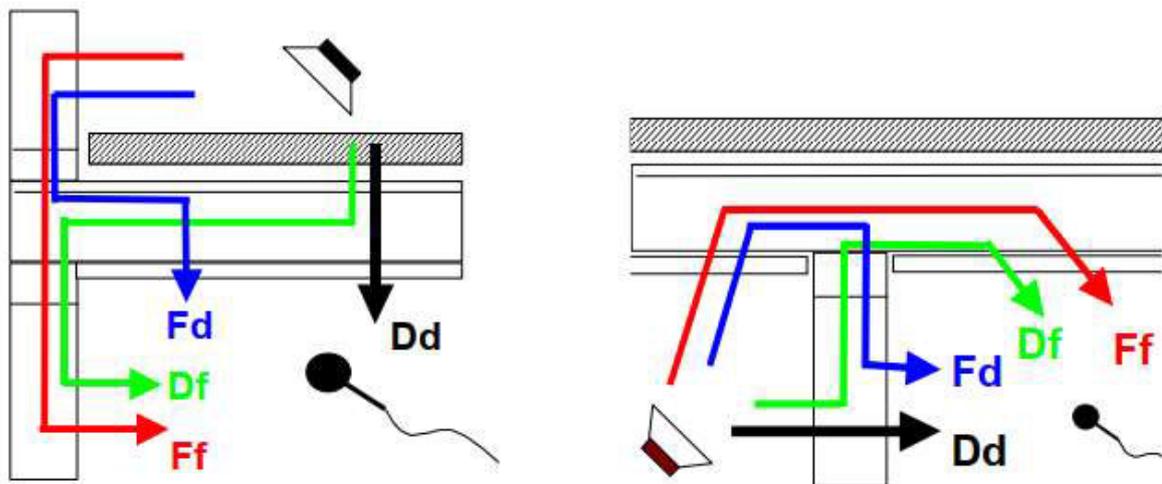


Abbildung 32 Übertragungswege des Luftschalls [3]

5.1.2 Rechenverfahren

Grundsätzlich wird als Eingangsgröße für weitere Berechnungen immer das bewertete Schalldämm-Maß der verwendeten Bauteile benötigt. Das bewertete Schalldämm-Maß R_w für Holzbalkendecken wird dabei aus Messungen im Labor mit einem Norm-Hammerwerk ermittelt. Einige Beispiele, mit normgemäßen Prüfprotokollen können zum Beispiel den Ergebnissen aus [35] entnommen werden.

Das zu errechnende bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w wird für Holzbalkendecken durch folgende Formel ermittelt:

$$R'_w = -10 * \lg * \left(10^{-\frac{R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-\frac{R_{Ff,w}}{10}} \right) [dB]$$

Formel 14 bewertetes Bau-Schalldämm-Maß [34]

mit:

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 * \lg * \frac{l_{lab}}{l_f} + 10 * \lg * \frac{S_s}{A_0} [dB]$$

Formel 15 bewertetes Flankendämm-Maß für den Weg Ff [34]

mit:

R'_{w}	bewertetes Bau-Schalldämm-Maß zwischen zwei Räumen [dB]
$R_{Dd,w}$	bewertetes Schalldämm-Maß des trennenden Bauteiles [dB]
$R_{Ff,w}$	bewertetes Flankendämm-Maß für den Übertragungsweg Ff [dB]
$D_{n,f,w}$	bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz eines flankierenden Bauteils [dB]
n	Anzahl der flankierenden Bauteile im Raum
l_{lab}	Bezugskantenlänge [m]
l_f	gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungstelle zwischen dem trennenden Bauteil und den flankierenden Bauteilen F und f in der Bausituation [m]
S_s	Fläche des trennenden Bauteiles [m ²]
A_0	Bezugsabsorptionsfläche mit 10m ²

Als weitere Größe wird im Holzbau, wie schon in Kapitel 4.1.1 erwähnt die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ benötigt, welche die Flankenübertragung pauschal beschreibt. Diese Größe wird ebenso aus Messungen im Labor ermittelt.

Die DIN 4109-33 [8] gibt für flankierende Bauteile aus Holz verschiedene Daten für den rechnerischen Nachweis an. So gilt gemäß dieser Norm:

- Bei durchlaufenden massiven Trennbauteilen mit einer Masse $\geq 350 \text{ kg/m}^2$ für die flankierende Übertragung über dieses Bauteil hinweg für Wände in Holztafelbauweise: $D_{n,f,w} = 76 \text{ dB}$ [8]
- bei Holzbalken und Massivholzdecken als Trenndecke, welche die flankierende Wand Unterbrechen, für die flankierende Übertragung der Wände über das Trennbauteil in vertikaler Richtung: $D_{n,f,w} = 67 \text{ dB}$ [8]
- bei Außenwänden mit biegeweichen Schalen und Unterkonstruktionen aus Holz, sofern die Bekleidung einer innenliegenden Vorsatzschale nicht durchläuft, für die horizontale Übertragung: $D_{n,f,w} = 52 \text{ dB}$ [8]

Um im Vorhinein eine grobe Abschätzung der Einhaltung der Anforderungen zu treffen, müssen das Schalldämm-Maß des trennenden Bauteiles $R_{Dd,w}$ und die Norm-Flankenpegeldifferenz aller Bauteile je mindestens 5dB über dem Anforderungswert liegen [3, 34].

Statt der Schalldämmung, kann aber auch der Schallschutz zwischen zwei Räumen betrachtet werden. Somit wird nicht das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w verwendet, sondern wie in der ÖNORM B8115-4 [7], die Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$. Hier wird die Pegeldifferenz zwischen den Räumen auf die Nachhallzeit des Empfangsraumes bezogen. So steht nicht mehr das trennende Bauteil, sondern die Gesamtübertragung zwischen zwei Räumen im Vordergrund. Die DIN 4109-1 [15] stellt grundsätzlich die bauakustischen Anforderungen an das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w , wobei bei der Luftschallberechnung die gesamte Schallübertragung, egal auf welchem Weg, zwischen zwei Räumen betrachtet wird und auf das trennende Bauteil bezogen wird. Die Anforderungen der DIN 4109-1 beziehen sich also auf die trennenden Bauteile. Zwischen der Standard-Schallpegeldifferenz und dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß besteht ein eindeutiger physikalischer Zusammenhang und so können diese Größen ineinander umgerechnet werden [34].

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \lg \left(\frac{0,32 * V_E}{S_s} \right) [dB]$$

Formel 16 Umrechnung bewertetes Bauschalldämm-Maß auf die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz [34]

mit:

$D_{nT,w}$ die erforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz [dB]

R'_w bewertetes Bau-Schalldämm-Maß [dB]

V_E Empfangsraumvolumen [m^3]

S_s Trennfläche [m^2]

Die ÖNORM B 8115-4 [7] geht grundsätzlich einer ähnlichen Berechnung für den Luftschall nach, nämlich dem vereinfachten Verfahren gemäß der ÖNORM EN ISO 12354-1 [17], Anhang F, benennt allerdings im Unterschied zur DIN 4109 [15] und der ÖNORM EN ISO 12354-1 [17] die Anforderungen mit der Standard Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ und ermittelt diese wie folgt:

$$D_{nT,w} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{nT,Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-\frac{D_{nT,Ff,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{-\frac{D_{nT,Fd,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{D_{nT,Df,w}}{10}} \right) [dB]$$

Formel 17 bewertete Standard-Schallpegeldifferenz [7]

mit:

$D_{nT, Dd, w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für die Direktübertragung durch den Trennbauteil [dB]
$D_{nT, Ff, w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Weg Ff [dB]
$D_{nT, Fd, w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Weg Fd [dB]
$D_{nT, Df, w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Weg Df [dB]

Auch hier können aufgrund der Leichtbausituation bei Holzdecken die Übertragungswege Ff und Df vernachlässigt werden, da die Hauptübertragung durch den Weg FF bestimmt wird. So kann die obige Formel folgendermaßen vereinfacht werden und gleicht der Formel 14 [7]:

$$D_{nT, w} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{nT, Dd, w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-\frac{D_{nT, Ff, w}}{10}} \right) [dB]$$

Formel 18 bewertete Standard-Schallpegeldifferenz vereinfacht für Holzbalkendecken [7]

Für Leichtbauten, bei welchen die flankierenden Bauteile wie in der DIN4109-33 [8] durch die Norm-Flankenpegeldifferenz beschrieben werden gilt gemäß ÖNORM B8115-4 [7] folgende Formel für die Übertragung über ein flankierendes Bauteil [7, 8]:

$$D_{nT, Ff, w} = D_{n, f, w} + 10 \lg \left(\frac{l_{lab}}{l_f} \right) + 10 \lg * V - 15 [dB]$$

Formel 19 bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Übertragungsweg Ff bei Leichtbauten [7]

mit:

l_{lab}	Kopplungslänge der betrachteten Stoßstelle bei der Messung im Labor [m] (4,5m für Unterdecken)
l_f	Kopplungslänge der betrachteten Bauteile im Gebäude [m]

5.1.3 Nachweisverfahren

Sowohl beim Rechenverfahren gemäß ÖNORM B 8115-4 [7] als auch dem Verfahren gemäß, DIN 4109-2 [34] welche sich an das vereinfachte Verfahren der EN ISO 12354-1 [17] anlehnen, wird beim Nachweis des Luftschallschutzes und dessen Anforderung ein Prognoseunsicherheitsbeiwert (Sicherheitsbeiwert) von $U_{prog} = 2dB$ abgezogen [17, 34].

Somit gilt zur Erfüllung der Anforderung an den Luftschallschutz folgendes:

$$R'_w - 2dB \geq \text{erf. } R'_w \text{ [dB]}$$

Formel 20 Nachweisführung für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß

mit:

R'_w errechnetes bewertetes Bau-Schalldämm-Maß [dB]

erf. R'_w erforderliches bewertetes Bauschalldämm-Maß aus den normativen bzw. gesetzlichen Anforderungen [dB]

Soll statt dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz betrachtet werden, wird folgender Nachweis verwendet [34]:

$$D_{nT,w} - 2dB \geq \text{erf. } D_{nT,w} \text{ [dB]}$$

Formel 21 Nachweisführung für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß [34]

mit:

$D_{nT,w}$ errechnete Standard-Schallpegeldifferenz [dB]

erf. $D_{nT,w}$ erforderliche Standard-Schallpegeldifferenz aus den Normativen bzw. gesetzlichen Anforderungen [dB]

Zur Veranschaulichung der Unterschiede zwischen diesen beiden Rechenverfahren wurde im Anhang 2 eine Excel Tabelle erstellt, mit welcher Prognoserechnungen für Holzbalkendecken im Neubau berechnet werden können. Eine Beispielrechnung mittels findet sich in Kapitel 5.1.6.

5.1.4 Spektrumanpassungswerte Straßenverkehr C_{tr} und C

Mit Spektrumanpassungswerten sollen Bauteile bezüglich des Schallschutzes auf andere Quellen bzw. innerhalb andere Frequenzbereiche beurteilt werden. Dies liegt vor allem daran, dass die Messung durch das Normhammerwerk nicht alle wichtigen Frequenzbereiche, welche aber hinsichtlich der Beurteilung auf Wohngeräusche im Schallschutz wichtig sind, erfassen [22].

Die Spektrumanpassungswerte für tieffrequenten Lärm und andere typische Merkmale bestimmter Schallspektren aus dem Straßenverkehr C_{tr} und von Wohngeräuschen C (siehe Abbildung 33) werden grundsätzlich zu den Einzahlangaben wie dem bewerteten Schalldämm-Maß R_w bzw. dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß R'_w und der Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ für den Luftschallschutz hinzuaddiert, die Anpassungswerte können dabei das Schalldämm-Maß verbessern oder verschlechtern. Die Anpassungswerte C_{tr} und C werden jedoch bei der Luftschallberechnung in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet, da einerseits für den Frequenzbereich ab 50 Hz zu wenige Angaben und einheitliche Festlegungen verfügbar sind und andererseits der Fokus auf die Betrachtung von innenliegenden Bauteilen gerichtet wird. Im Katalog für schallschutztechnische Kennwerte von Bauteilen, liegen allerdings eine große Anzahl von Messergebnissen auch

für Spektrumanpassungswerte vor und können bei Bedarf dort entnommen werden [3, 7, 34].

$C_{50-5000}$	Abbildung von Wohngeräuschen; Wirksamkeit der Bauteile gegen wohnübliche Geräusche unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen	50 Hz – 5000 Hz
$C_{tr,50-5000}$	tr = Traffic; Anpassung der Schalldämmung an Verkehrsgeräusche; Beurteilung der Wirksamkeit eines Bauteils gegen Verkehrslärmgeräusche unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen.	50 Hz – 5000 Hz

Abbildung 33 Bezeichnung und Beschreibung der Spektrumanpassungswert für den Luftschall [22]

5.1.5 Anforderungen

Hohe Anforderungen an den Schallschutz sind vor allem im Bereich von Wohnungen und Arbeitsstätten sehr wichtig. Personen leben, oder verrichten ihre Arbeit hier und benötigen zum persönlichen Wohlbefinden und zum Schutze der Gesundheit gewisse Mindestanforderungen [32].

Mindestanforderungen an den Schallschutz können Normenwerken entnommen werden. In Österreich sind die Mindestanforderungen in der ÖNORM B 8115-2 [16] festgelegt. Zusätzlich sind Mindestanforderungen in Österreich durch die OIB Richtlinie 5, welche hinsichtlich Decken die gleichen Anforderungen enthält, gesetzlich geregelt. Untenstehende Mindestanforderungen beziehen sich vor allem auf den Bereich Aufenthaltsräume bei Ein- und Mehrfamilienhäusern bzw. grundsätzlich zwischen Wohnungen und anderen Räume mit nicht betrieblicher oder sonstiger besonderer Nutzung. Anforderungen für spezielle andere Nutzungen, welche in Tabelle 2 nicht erwähnt sind, können ebenfalls den Normenwerken entnommen werden, werden in dieser Arbeit aber nicht weiter beschrieben.

Mindestanforderungen Luftschall			
Bereich	DIN 4109-1	ÖNORM 8115-2	OIB 5 2019
	R'_w [dB]	$D_{nT,w}$ [dB]	$D_{nT,w}$ [dB]
Wohnungstrenndecke	≥54	≥55	≥55
Trenndecke Aufenthaltsraum zw. Arbeitsräumen bzw. vergleichbare Nutzung	≥54	≥55	≥55
Decken unter/über Gemeinschaftsräumen	≥55	≥55	≥55

Tabelle 2 Vergleich der Mindestanforderungen an den Luftschallschutz ohne Verbindungen durch Türen, Fenster oder sonstige Öffnungen [16, 15, 36]

Die Mindestanforderungen liegen also je nach Ort und Anwendung zwischen 54 dB und 55 dB. In der obigen Tabelle wurde aus allen gängigen Normenwerken und Berichten ein Mittelwert der Anforderungen errechnet, wobei sich zeigt, dass die Schallschutzmindestanforderung für den Luftschall zwischen 54 dB und 55 dB zu liegen kommt. Einige Normenwerke, wie auch die ÖNORM B 8115-5 [30] geben für gewisse Anforderungen höhere Schallschutzwerte unterteilt in verschiedene Schallschutzniveaus an.

Das Bau-Schalldämm-Maß R'_w ist bezüglich der Hörbarkeit so definiert, dass bei einem R'_w von 52 dB die gesprochene Sprache nicht mehr hörbar und ein normal lautes Radio nur mehr leise zu hören ist. Ab einem Schalldämm-Maß von 55 dB ist nur mehr ein lautes Radio zu hören. Wie schon in Kapitel 3 erwähnt, erreicht nahezu jede Decke, welche die Anforderungen an den Trittschallschutz erfüllt auch die Anforderungen an den Luftschallschutz. Prof. Gösele sagt [32]:

„Ist der Trittschallschutz einer Decke erreicht, braucht man sich um den Luftschallschutz keine Gedanken mehr machen“ [32].

5.1.6 Berechnungsbeispiel

Wie bereits in Kapitel 5.1.2 erwähnt wurde, um eine schnelle Prognoserechnung von Holzbalkendecken durchführen zu können ein Excel-Prognoseblatt erstellt. Zu beachten ist dabei, dass dieses Prognoseblatt, Schallbrücken durch sich im Bodenaufbau befindlichen Leitungen oder Öffnungen in Wänden nicht beachtet. Im Folgenden wird die Anwendung in dieses Excel-Prognoseblattes in Schritten beschrieben.

1.) Wählen einer Deckenkonstruktion für den Neubau

Im ersten Schritt ist wie in Abbildung 34 in rot ersichtlich eine Deckenkonstruktion zu wählen, welche hergestellt werden soll. Es können dann im Prognoseblatt die einzelnen Schichten des Aufbaus mit deren Materialparameter eingegeben werden. Auch kann ein Schnitt des Deckenaufbaus eingefügt werden. Zusätzlich zu den Aufbauten ist (in Abbildung 34 in grün gekennzeichnet), die Geometrie des Raumes einzugeben. Die jeweiligen Bezeichnungen sind Formel 15 zu entnehmen. Die Bezeichnungen l_{r1} bis l_{r4} sind die Längenangaben der vier flankierenden Wände (siehe Abbildung 35).

Prognoseblatt- Luftschallschutz Holzbalkendecke im Neubau					
Datum:	17.12.2020			Nr.: 1	
Aufbau:					
Nr.:	Schicht	h [mm]	m' [kg/m ²]	s' [MN/m ³]	Notiz:
1	Zementestrich	50			
2	Mineralwolledämmplatte	15		10	
3	Schüttung	30	45		
4	Spanplatte, geschraubt	22			
5	Balken o. Stegträger	220			
6	Hohlraumbedämpfung	100			
7	Federschiene	27			
8	Gipsplatte	12,5			
Gesamthöhe:		476,5			

Grundriss:	
l_{lab} [m]	4,5
$l_{f,1}$ [m]	5,0
$l_{f,2}$ [m]	5,0
$l_{f,3}$ [m]	4,0
$l_{f,4}$ [m]	4,0
h [m]	2,8
S_s [m ²]	20,0
A_o [m ²]	10,0

Abbildung 34 Beispiel zur Festlegung der Deckenkonstruktion für den Neubau mit deren Aufbau und Parametern

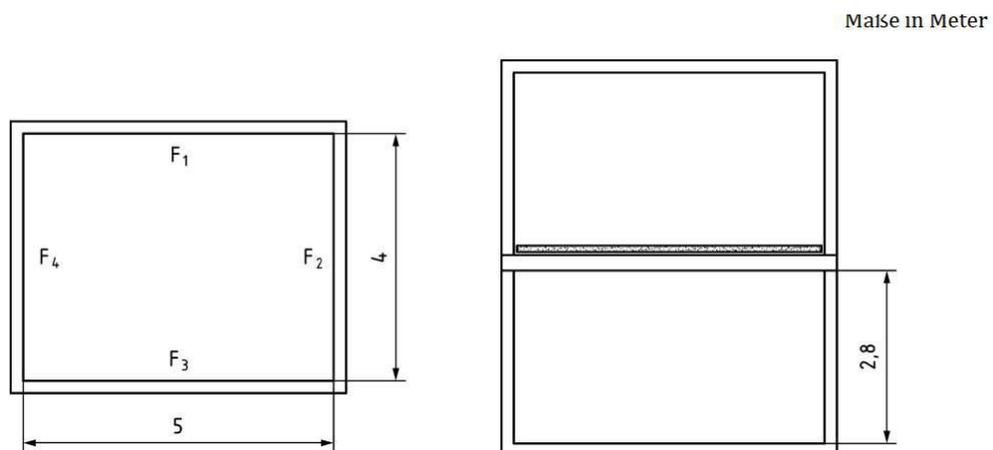


Abbildung 35 Beispiel zur Raumgeometrie des zu Berechnenden Gebäudes [34]

2.) Wählen der Eingangsparameter

Im zweiten Schritt sind (in Abbildung 36 in rot gekennzeichnet) die schalltechnischen Eingangsparameter einzugeben. Diese sind zugehörig zur ausgewählten Deckenkonstruktion und Bauteilkatalogen oder Forschungsergebnissen [35] zu entnehmen.

Eingangsparameter:			
Bewertetes Schalldämm- Maß der Decke (gemessen) R_w [dB]		68,0	
Bewertete Norm- Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ [dB]		67,0	

Abbildung 36 Beispiel zur Eingabe von den schalltechnischen Parametern zur Berechnung von Formel 14

3.) Auswertung und Nachweis

Im dritten Schritt findet die automatische Berechnung im Hintergrund statt. Mit Formel 15 und Formel 19 berechnen sich die flankierenden Parameter. Im rot markierten Bereich für die Berechnung gemäß DIN 4109-2 [34] und im blauen Bereich gemäß der ÖNORM B 8115-4 [7]. So kann bei der Auswertung ein Vergleich beider Normen stattfinden.

Flankierende Parameter:				
Flankierende Wand 1 und 2	$R_{Ff,w1,2}$ [dB]	69,6		
Flankierende Wand 3 und 4	$R_{Ff,w3,4}$ [dB]	70,5		
Norm Schallpegeldifferenz flankierender Bt.	$D_{nT,Ff,w1,2}$ [dB]		69,0	
Norm Schallpegeldifferenz flankierender Bt.	$D_{nT,Ff,w3,4}$ [dB]		75,5	
bewertete Standard- Schallpegeldifferenz direkt	$D_{nT,Dd,w}$ [dB]		72,1	
Auswertung:		DIN 4109-33	ÖNORM 8115	Differenz
Bewertetes Bau- Schalldämm- Maß	R'_w [dB]	62,5	64,8	2,3
bewertete Standard- Schallpegeldifferenz	$D_{nT,w}$ [dB]	62,1	64,3	2,3
Nachweist nach Anforderung DIN 4109	$R'_w - U_{prog}$	\geq	erf R'_w	NW erfüllt
	60,5	\geq	54	Ja
Nachweist nach Anforderung ÖNORM B8115-4	$D_{nT,w} - U_{prog}$	\geq	erf $D_{nT,w}$	
	62,3	\geq	50	Ja
Erstellt:				Lechner

Abbildung 37 Berechnung und Auswertung des Bau-Schalldämm-Maß und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz

Im grünen Bereich findet die Auswertung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz statt. Es wird auch die Differenz der beiden Ergebnisse berechnet, um den Unterschied zwischen der ÖNORM B 8115-4 und der DIN 4109-2 darzustellen. Ein Unsicherheitsfaktor gemäß ÖNORM EN ISO 12354-1 von $U_{prog}=2$ wird den Endergebnissen hinzuaddiert. Im Berechnungsblatt wird im letzten Schritt der

Nachweis gemäß Formel 20 und Formel 21 geführt. Ist der Nachweis erfüllt wird die Zelle grün und mit einem „Ja“ hinterlegt, ansonsten wird diese rot und mit einem „Nein“ hinterlegt.

5.2 Trittschallschutz

5.2.1 Übertragungswege

Im Holzbau gibt es im Unterschied zum Massivbau für die vertikale Trittschallübertragung nicht nur einen flankierenden Weg, der bei der Berechnung des Trittschalls zu beachten ist, sondern aufgrund des zusätzlichen Weges über den Randstreifen des schwimmenden Estrichs, drei verschiedene Übertragungswege. Wie beim Luftschall werden diese Übertragungswege mit Buchstabenkombinationen beschrieben. Beim Trittschall gibt es wie beim Luftschall den direkten Übertragungsweg D_d , zusätzlich zu diesem gibt es im Holzbau den besagten Übertragungsweg D_{ff} über den Estrich und den Randabschluss und den Übertragungsweg über die Flanke der Decke D_f (siehe Abbildung 38). [3] Die Übertragungsbzw. Flankenwege D_f und D_{ff} werden im Rechenverfahren mit den Korrekturfaktoren K_1 und K_2 beschrieben [34].

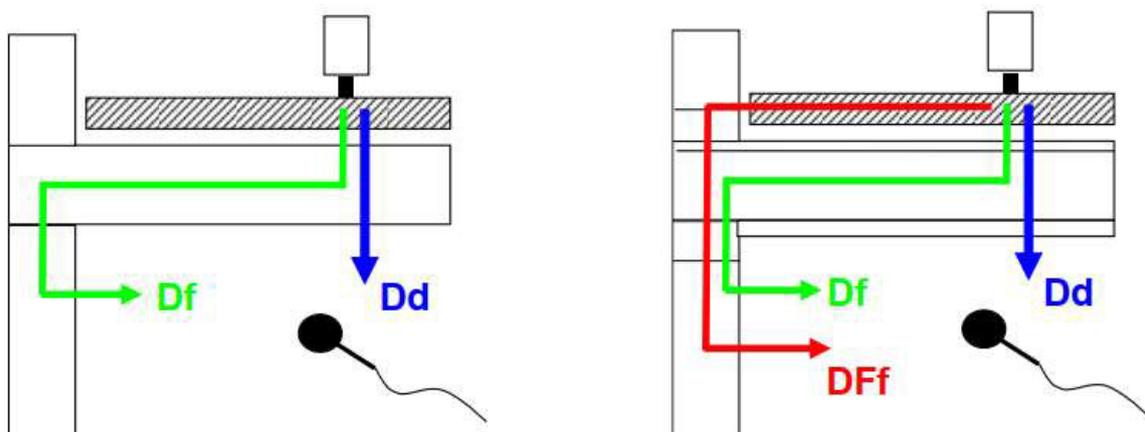


Abbildung 38 Trittschallübertragungswege, links für den Massivbau, rechts für den Holzbau [3]

Die oben genannten Korrektursummanden K_1 und K_2 gelten nur für gewisse Innen- und Außenwandkonstruktionen in Holzrahmen- bzw. Holztafelbauweise mit folgenden Merkmalen [6, 34]:

- 1.) flankierende Wände vollständig durch eine Holzdecke durchbrochen
- 2.) Holzständerwände mit Wandbeplankung aus Gipskartonplatten oder Holzwerkstoffplatten mit Ständer verbunden
- 3.) Wandelemente aus 80 bis 100 mm dicken Holzwerkstoffplatten- und Brettschichtholzelementen

Die ÖNORM B 8115-4 geht hinsichtlich Holzdecken und Trittschallübertragung überhaupt nicht auf Flankenübertragungen ein. In den gängigen Normenwerken, wird derzeit kein

praktikables Verfahren beschrieben das die Übertragungswege, betreffend Einbindung einer Holzbalkendecke in eine Massivwand beschreibt.

Die Fa. Knauf hingegen hat ein Verfahren entwickelt um auch mittels eines Korrekturfaktors, die Trittschallübertragung über flankierende massive Wände zu ermitteln. Auf die Berechnung wird in Pkt. 5.2.4 eingegangen.

Im Massivbau können durch den Korrekturwert K_T auch nebeneinanderliegende oder diagonal angeordnete Räume berücksichtigt werden. Dies ist beim Holz-bzw. Leichtbau derzeit nicht realisierbar [34].

Eine gesonderte Betrachtung von Trittschallminderungen durch einen Fußbodenaufbau oder einer Unterkonstruktion, wie einer abgehängten Decke, sowie es im Massivbau üblich ist, gibt es derzeit bei Holzdecken nicht. Eingangswerte für diverse Konstruktionen betreffend den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ sind Bauteilkatalogen der verschiedenen Normen oder Prüfberichten zu entnehmen [3].

Eine Zusammenfassung der wichtigsten und gängigsten Konstruktionen von Holzbalkendecken ist in [35] zu finden.

5.2.2 Rechenverfahren

Als Eingangsgröße für Trittschallschutz Berechnungen ist der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ notwendig, welcher wie oben genannt aus Bauteilkatalogen, Normenwerken oder aus Prüfberichten entnommen werden kann.

Die Rechenverfahren unterscheiden sich nach Regelwerk. Die ÖNORM B 8115-4 [7] gibt nur acht Beispiele für Deckenausführungen mit dem zugehörigen bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$, welche geeignet sind den bewerteten Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w} \leq 48$ dB gemäß ÖNORM B 8115-2 zu erfüllen, an. Zusätzlich gibt diese 6 Varianten von Holzbalkenrohdecken an, sowie 14 Messergebnisse für die Verbesserung des Trittschallschutzes durch Fußbodenaufbauten. Gemessen wurden diese Werte an einer leichten Bezugsdecke 1 gemäß ÖNORM EN ISO 10140-5 [29], siehe Abbildung unten [7].

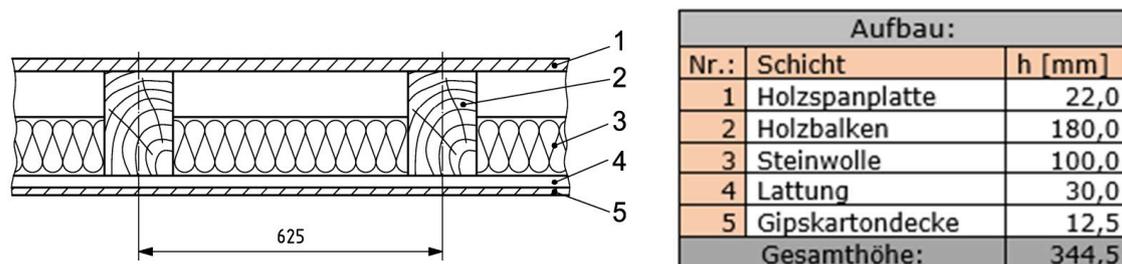


Abbildung 39 Leichte Bezugsdecke C1 nach ÖNORM EN ISO 10140-5 [29]

Die DIN 4109-2 [34] und diverse Forschungsberichte [37] berechnen den bewerteten Norm-Trittschallpegel im Bau $L'_{n,w}$ unter Berücksichtigung der Flankenübertragung mittels der vereinfachten Nachweisführung und der Korrektursummanden K_1 und K_2 wie folgt [6, 34]:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2 \text{ [dB]}$$

Formel 22 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels in der Bausituation [34]

mit:

$L'_{n,w}$	bewerte Norm-Trittschallpegel in der Bausituation [dB]
$L_{n,w}$	bewerteter Norm Trittschallpegel der Deckenkonstruktion [dB]
K_1	Korrekturwert zur Berücksichtigung der Flankenübertragung auf dem Weg Df [dB]
K_2	Korrekturwert zur Berücksichtigung der Flankenübertragung auf dem Weg Dff [dB]

Für die Trittschallübertragung einer Holzbalkendecke in eine flankierende massive Wand, kann das Verfahren nach Knauf angewendet werden. Bei diesem Verfahren wurde für die Flankenübertragung über die massive Wand ein Korrekturfaktor K_L eingeführt, welcher den Übertragungsweg Df wie in Abbildung 38 links berücksichtigt. Der Korrektursummand ist von der flächenbezogenen Masse der Wand und vom bewerteten Norm-Trittschallpegel abhängig. Sollten die flankierenden Wände mit einer biegeweichen Vorsatzschale verkleidet werden, kann auf den Korrektursummanden verzichtet werden. Mit dem Verfahren nach Knauf ergibt sich untenstehende Formel [38].

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_L \text{ [dB]}$$

Formel 23 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels mit massiven flankierenden Wänden [38]

mit:

$L'_{n,w}$	bewerte Norm-Trittschallpegel in der Bausituation [dB]
$L_{n,w}$	bewerteter Norm Trittschallpegel der Deckenkonstruktion [dB]
K_L	Korrekturwert zur Berücksichtigung der Flankenübertragung über die massive Wand [dB]

Der ermittelte Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ kann anhand des Empfangsraumvolumens auf den bewerteten Standard Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ umgerechnet werden [34]:

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg(0,032 * V_E) \text{ [dB]}$$

Formel 24 Umrechnung bewerteter Norm-Trittschallpegel auf den bewertete Standard-Trittschallpegel [34]

mit:

$L'_{nT,w}$	bewerteter Standard-Trittschallpegel [dB]
$L'_{n,w}$	bewertete Norm-Trittschallpegel [dB]
V_E	Empfangsraumvolumen [m ³]

Auch bei Errechnung des bewerteten Standard-Trittschallpegels, kann ein Zuschlag des Sicherheitsbeiwertes für die Prognoseunsicherheit, wie in 5.2.5 beschrieben, geltend gemacht werden [34].

Weiters kann der benötigte Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ aus den Anforderungen an den bewerteten Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ ermittelt werden [34].

$$\text{zul. } L'_{n,w} = \text{zul. } L'_{nT,w} + 10 \lg(0,032 * V_E) \text{ [dB]}$$

Formel 25 Ermittlung des zulässigen Norm-Trittschallpegels anhand des bewerteten Standard-Trittschallpegels [34]

mit:

zul. $L'_{n,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel [dB]
zul. $L'_{nT,w}$	bewerteter Standard-Trittschallpegel [dB]
V_E	Empfangsraumvolumen [m ³]

5.2.3 Korrektursummanden K1 und K2

Die in Pkt. 5.2.2 genannten Korrektursummanden zur Berechnung des Norm-Trittschallpegels in der Bausituation $L'_{n,w}$ gemäß DIN 4109-2 [34] gelten nur für bestimmte Konstruktionen und sind folgend dargestellt. Auch ist eine differenzierte Betrachtung verschiedener flankierender Wände ist mit diesem Verfahren derzeit nicht möglich. Hierbei ist zuerst der Korrektursummand K1 zu ermitteln. Dieser hängt vom Unterdeckenaufbau und vom Wandaufbau im Empfangsraum ab und liegt zwischen 1 dB und 9 dB [38]. Die jeweiligen Wandaufbauten sind Tabelle 5 zu entnehmen.

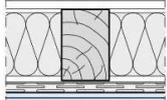
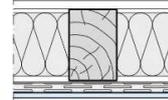
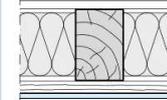
Wandaufbau im Empfangsraum ER	Unterdeckenaufbau					Zeile
						
	<ul style="list-style-type: none"> Federschiene 2x 9,5 / 2x 12,5 mm GK-Platte mit Rohdichte $\geq 680 \text{ kg/m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> Federschiene 9,5 / 12,5 mm GK-Platte mit Rohdichte $\geq 680 \text{ kg/m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> Holzlatte oder Holzwerkstoffplatte¹⁾ 9,5 / 12,5 mm Bauplatte GKB 	<ul style="list-style-type: none"> Holzbalkendecke mit sichtbarer Balkenlage 	<ul style="list-style-type: none"> Brettstapel-, Brettschichtholz- oder Hohlkastendecke 	1
Wandaufbau 1	$K_1 = 6 \text{ dB}$	$K_1 = 3 \text{ dB}$		$K_1 = 1 \text{ dB}$		2
Wandaufbau 2	$K_1 = 7 \text{ dB}$	$K_1 = 4 \text{ dB}$		$K_1 = 1 \text{ dB}$		3
Wandaufbau 3	$K_1 = 9 \text{ dB}$	$K_1 = 5 \text{ dB}$		$K_1 = 4 \text{ dB}$		4
Wandaufbau 4						

Tabelle 3 Ermittlung des Korrektursummanden K_1 [38]

Nachdem der Korrektursummand K_1 ermittelt wurde, wird dieser zum bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ addiert und so kann je nach Estrichaufbau und Wandaufbau im Empfangsraum der Korrektursummand K_2 bestimmt werden. Dieser wird ebenso wie in Pkt. 5.2.2 ersichtlich hinzuaddiert.

Wandaufbau im Empfangsraum ER	Estrichaufbau	Trittschallübertragung auf dem Weg Dd + DF																			$L_{n,DFf,w}$ dB	Zeile			
		$L_{n,w} + K_1$ dB																							
		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	>55		
Wandaufbau 1 bzw.	A	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	44	1
	B	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	40	2
Wandaufbau 2	C	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	3
Wandaufbau 3 bzw.	A	11	10	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	46	4
	B	10	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	45	5
Wandaufbau 4	C	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	42	6

Tabelle 4 Ermittlung des Korrektursummanden K_2 [38]

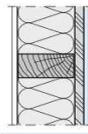
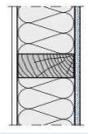
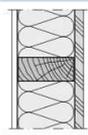
Legende	
Wandaufbau im Empfangsraum ER	
1	 <ul style="list-style-type: none"> ■ 13 bis 22 mm Holzwerkstoffplatte, Rohdichte von $\rho \geq 650 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden ■ 9,5 bis 12,5 mm GK-Platte mit Rohdichte $\geq 680 \text{ kg/m}^3$
2	 <ul style="list-style-type: none"> ■ 12,5 bis 15 mm Gipsfaserplatte nach DIN EN 15283-2, Rohdichte von $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
3	 <ul style="list-style-type: none"> ■ 13 bis 22 mm Holzwerkstoffplatte, Rohdichte von $\rho \geq 650 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
4	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Massivholzelemente oder 80 bis 100 mm Holzwerkstoffplatten $m' \geq 50 \text{ g/m}^2$
Estrichaufbau	
A	Mineralisch gebundener Estrich auf Holzweichfaser-Trittschalldämmplatten, Randdämmstreifen: Mineralwolle- oder PE-Schaum-Randstreifen > 5 mm
	Gussasphaltestrich auf Holzweichfaser-Trittschalldämmplatten, Randdämmstreifen: Mineralwolle-Randstreifen > 5 mm
B	oder Mineralisch gebundener Estrich auf Mineralwolle-, o. EPS-Trittschalldämmplatten Randdämmstreifen: Mineralwolle- o. PE-Schaum-Randstreifen > 5 mm
	Gussasphaltestrich auf Blähperlit/Mineralwolle, Randdämmstreifen: Mineralwolle-Randstreifen > 5 mm
C	oder Fertigteilestrich auf Mineralwoll-, EPS-, oder Holzfaser-Trittschalldämmplatten, Randdämmstreifen: Mineralwolle- oder PE-Schaum- Randstreifen > 5 mm

Tabelle 5 Ermittlung von K_1 und K_2 benötigten Aufbauten [38]

5.2.4 Korrektursummand K_L

Der für massive flankierende Wände zu ermittelnde Korrektursummand K_L hängt von der Masse der flankierenden Wand und dem vorhandenen bewerteten Norm-Trittschallpegel der Decke ab und wird mit folgender Tabelle ermittelt [38].

Vorhandener Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$	Korrektursummand K_L für flankierende Wände mit einer mittleren, flächenbezogenen Masse von			Zeile
	$\geq 150 \text{ kg/m}^2$	$\geq 300 \text{ kg/m}^2$	$\geq 500 \text{ kg/m}^2$	
$\leq 55 \text{ dB}$	1 dB	1 dB	0 dB	1
$\leq 50 \text{ dB}$	2 dB	2 dB	0 dB	2
$\leq 45 \text{ dB}$	5 dB	2 dB	1 dB	3
$\leq 40 \text{ dB}$	7 dB	3 dB	2 dB	4
$\leq 35 \text{ dB}$	10 dB	5 dB	2 dB	5

Tabelle 6 Ermittlung des Korrektursummanden für massive flankierende Wände [38]

5.2.5 Nachweisverfahren

Ähnlich dem Nachweisverfahren des Luftschallschutzes wird bei der Nachweisführung des Trittschallschutzes ein Sicherheitsbeiwert U_{prog} dem bewerteten Norm-Trittschallpegel im Bau $L'_{n,w}$ hinzugezogen [3].

Im Unterscheid zum pauschalen Wert beim Luftschallschutz von 2dB variiert der Wert beim Trittschallschutz von trennenden Bauteilen zwischen 3dB und 4dB je nach Bausituation und Normenwerk.

$$L'_{n,w} + U_{prog} \leq zul. L'_{n,w} [dB]$$

$$L'_{nT,w} + U_{prog} \leq zul. L'_{nT,w} [dB]$$

Formel 26 Nachweisführung für den bewerteten Norm-Trittschallpegel und den bewerteten Standard-Trittschallpegel im Bau [34]

mit:

$$U_{prog} = 3dB \text{ gem. DIN4109 - 2 [34]}$$

$$U_{prog} = 2dB \text{ gem. ÖNORM EN ISO 12354 - 2 [18]}$$

$$U_{prog} = 4dB \text{ bei flankieren massiven Wänden gem. KNAUF [38]}$$

mit:

$L'_{n,w}$ bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau [dB]

zul $L'_{n,w}$ zulässiger Wert des bewerteten Norm-Trittschallpegels gemäß Normenwerken und gesetzlichen Anforderungen [dB]

U_{prog} Prognoseunsicherheitsbeiwert [dB]

Zur einfachen Prognoseberechnung wurde auch für den Trittschall ein Excel-Prognoseblatt erstellt (siehe Anhang 1) und in Kapitel 5.2.8 eine Beispielrechnung vorgenommen. Wenn vorhanden sollten die Eingangsparameter unter Berücksichtigung des Spektrumanpassungswertes $C_{1,50-2500}$, welcher in Kapitel 5.2.6 erläutert wird, erfolgen.

5.2.6 Spektrumanpassungswert C_I Trittschall

Die mittlerweile als gängige Beschreibung des Trittschalls durch den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ mit wirkungsvollen Deckenauflagen oder Estrichen, berücksichtigt einige niedrige Frequenzen bei Holzbalkendecken oder Betonrohdecken nicht bzw. ungenügend. Da aber gerade beim Trittschallschutz das Gehen auf Decken eine niedrige Frequenz aufweist, wurde der Anpassungswert C_I eingeführt. Dieser wird als separate Zahl angegeben und nimmt für Holzbalkendecken einen geringen positiven Wert an. Der Spektrumanpassungswert wird in weiterer Folge zum bewerteten Norm-Trittschallpegel hinzuaddiert. Grundsätzlich erfolgen die Messungen bei Frequenzen in Terzbändern zwischen 100 Hz und 2500 Hz und in Oktavbändern zwischen 125 Hz und 2000 Hz. Der Spektrumanpassungswert kann zusätzlich für einen weiteren Frequenzbereich z.B. zwischen 50 Hz bis 2500Hz, welcher für den Trittschall hinsichtlich der niedrigen

Frequenzen beim Gehen auf Decken wichtig ist, errechnet werden. Der Wert ist dann mit $C_{I,50-2500}$ anzugeben. Der Spektrumanpassungswert für den Trittschallpegel wird berechnet, indem zuerst die Messergebnisse von L_n , L'_n oder L'_{nT} energetisch mit folgender Formel addiert werden [19].

$$L_{n,sum} = 10 \lg \sum_{i=1}^k 10^{L_i/10} \text{ [dB]}$$

Formel 27 Addition der Messergebnisse zu $L_{n,sum}$ für die Berechnung von C_I [19]

mit:

$L_{n,sum}$ energetische Summe der Messergebnisse L_n , L'_n oder L'_{nT} [dB]

L_i Messergebnisse L_n , L'_n oder L'_{nT} [dB]

Nachdem $L_{n,sum}$ errechnet wurde, kann der Spektrumanpassungswert mit folgender Formel ermittelt werden [19]:

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

Formel 28 Ermittlung Spektrumanpassungswert C_I [19]

mit:

C_I Spektrumanpassungswert für den Trittschall [dB]

$L_{n,sum}$ energetische Summe der Messergebnisse L_n , L'_n oder L'_{nT} [dB]

$L_{n,w}$ bewerteter Norm-Trittschallpegel [dB]

5.2.7 Anforderungen

Die Mindestanforderungen an den Trittschallschutz finden sich wie die des Luftschallschutzes in den verschiedenen Normenwerken und in gesetzliche Anforderung. So ist in Österreich die OIB 5 Richtlinie [36] im Gesetz verankert, welche aber weitgehend mit der ÖNORM B 8115-2 [16] übereinstimmt. Zur Veranschaulichung einiger verschiedener Anforderungen wurden zwei Tabellen zur Übersicht erstellt, wobei Tabelle 8 eine generelle Übersicht verschafft und in Tabelle 9 der in Österreich geforderte bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ in den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ umgerechnet wurde, um einen einheitlichen Vergleich der Normen zu schaffen. Hier wurde für die Umrechnung in Tabelle 9 ein Empfangsraumvolumen von 56 m^3 gewählt, um ein einheitliches Raumvolumen zu schaffen, welches auch mit dem der Berechnungen des Luftschallschutzes in Kapitel 5.1 übereinstimmt. Untenstehende Mindestanforderungen beziehen sich vor allem auf den Bereich Aufenthaltsräume bei Ein- und Mehrfamilienhäusern bzw. grundsätzlich zwischen Wohnungen und anderen Räumen mit

nicht betrieblicher oder sonstiger besonderer Nutzung. Anforderungen für spezielle andere Nutzungen, welche in Tabelle 7 und Tabelle 8 nicht genannt werden, können bei Bedarf den Normenwerken entnommen werden, werden aber in dieser Arbeit nicht weiter beschrieben.

Mindestanforderungen Trittschall allgemein			
Bereich	DIN 4109-1	ÖNORM 8115-2	OIB 5
	L' _{n,w} [dB]	L' _{nT,w} [dB]	L' _{nT,w} [dB]
Wohnungstrenndecke	≤53	≤43-48	≤48
Trenndecke Aufenthaltsraum zw. Arbeitsräumen bzw. vergleichbare Nutzung	≤53	≤48	≤48
Decken unter/über Gemeinschaftsräumen	≤46	≤48	≤48

Tabelle 7 allgemeiner Vergleich der Mindestanforderungen an den Trittschallschutz [15, 16, 32, 34, 36]

Mindestanforderungen Trittschall vereinheitlicht bei V_E=56m³			
Bereich	DIN 4109-1	ÖNORM 8115-2	OIB 5
	L' _{n,w} [dB]	L' _{n,w} [dB]	L' _{n,w} [dB]
Wohnungstrenndecke	53	45,5	50,5
Trenndecke Aufenthaltsraum zw. Arbeitsräumen bzw. vergleichbare Nutzung	53	50,5	50,5
Decken unter/über Gemeinschaftsräumen	46	50,5	50,5

Tabelle 8 Mindestanforderungen an den Trittschallschutz bezogen auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel [16, 15, 32, 36]

In Tabelle 8 wird ersichtlich, dass sich teilweise Unterschiede von bis zu 5 dB bei den Mindestanforderungen je Normenwerk ergeben. Für ein einen besseren Trittschallschutz, ist der niedrigere Wert zu wählen.

5.2.8 Berechnungsbeispiel

Wie in Kapitel 5.1.6 wurde auch für den Trittschallschutz ein Excel-Prognoseberechnungsblatt erstellt. Die schrittweise Anwendung ist grundsätzlich gleich.

1.) Wählen einer Deckenkonstruktion für den Neubau

Prognoseblatt- Trittschallschutz Holzbalkendecke im Neubau					
Datum:		17.12.2020		Nr.: 1	
Aufbau:					
Nr.:	Schicht	h [mm]	m' [kg/m²]	s' [MN/m²]	Notiz
1	Zementestrich	50			
2	Mineralwolle-dämmplatte	15		10	
3	Schüttung	30	45		
4	Spanplatte, geschraubt	22			
5	Balken o. Stegträger	220			
6	Hohlraumbedämpfung	100			
7	Federschiene	27			
8	Gipsplatte	12,5			
Gesamthöhe:		476,5			

Grundriss d. Raumes:	
l_{10} [m]	4,5
l_{11} [m]	5,0
l_{12} [m]	5,0
l_{13} [m]	4,0
l_{14} [m]	4,0
h [m]	2,8
S_s [m²]	20,0
A_0 [m²]	10,0

Abbildung 40 Beispiel zur Festlegung der Deckenkonstruktion für den Neubau mit deren Aufbau und Parametern

Im ersten Schritt sind wieder der Aufbau und der Grundriss des Raumes (siehe Abbildung 36 in rot gekennzeichnet) festzulegen. Im Beispiel in Abbildung 40 wurde ein Aufbau aus dem Bauteilkatalog der DIN 4109-33 [8] gewählt. Andere Aufbauten finden sich in Bauteilkatalogen oder Forschungsergebnissen [35].

2.) Eingabe des bewerteten Norm-Trittschallpegels

Im zweiten Schritt ist der bewertete Norm-Trittschallpegel der gewählten Decke aus Schritt 1 einzutragen (in Abbildung 41 in grün gekennzeichnet).

Eingangsparameter:			
Bewerteter Norm- Trittschallpegel (gemessen)	$L_{n,w}$ [dB]	36,0	

Abbildung 41 Eintragen des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Deckenkonstruktion

3.) Auswahl der Korrekturwerte je nach Art der flankierenden Wände

Im dritten Schritt sind die Korrekturwerte der flankierenden Wände gemäß 5.2.3 und 5.2.4 zu wählen (in Abbildung 42 in blau gekennzeichnet).

Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Flankenübertragung:			
Korrekturwert 1	K_1 [dB]	3,0	
Zwischenergebnis $L_{n,w} + K_1$ [dB]		39,0	
Korrekturwert 2	K_2 [dB]	4,0	
Korrekturwerte bei massiven flankierenden Wänden:			
Korrekturwert L	K_L [dB]	3,0	

Abbildung 42 Auswahl der Korrekturwerte

4.) Auswertung und Nachweis

Im vierten Schritt findet die Berechnung gemäß Formel 22 und Formel 23 des bewerteten Norm-Trittschallpegels im Bau statt (siehe Abbildung 43). Auch die Berechnung des bewerteten Standard-Trittschallpegels gemäß ÖNORM B 8115-4 [7] wird durchgeführt, sodass wieder zwischen der DIN 4109-2 [34] und der ÖNORM B 8115-4 [7] verglichen werden kann. Das Nachweisverfahren wird gemäß Kapitel 5.2.5 durchgeführt. Ist der Nachweis erfüllt wird die Zelle Grün und mit einem „Ja“ hinterlegt, ansonsten wird diese Rot und mit einem „Nein“ hinterlegt (in Abbildung 43 in rot markiert).

Auswertung:				
bewerteter Norm- Trittschallpegel im Bau	$L'_{n,w}$ [dB]		43,0	
Nachweiß nach Anforderung DIN 4109	$L'_{n,w} + U_{prog}$	\leq	erf $L'_{n,w}$	NW erfüllt
	46,0	\leq	50,0	Ja
Nachweis nach Knauf mit massiven Wänden	$L'_{n,w} + U_{prog,m}$	\leq	erf $L'_{n,w}$	NW erfüllt
	43,0	\leq	50,0	Ja
Nachweiß nach Anforderung ÖNORM B8115-4	$L'_{nt,w} + U_{prog}$	\leq	erf $L'_{nt,w}$	
	42,5		48,0	Ja

Abbildung 43 Auswertung der schalltechnischen Ergebnisse für die Bausituation

6 Berechnung des Schallschutzes bei Massivholzdecken

6.1 Luftschallschutz

Massivholzdecken stellen eine Seltenheit dar, weil sie weder zu den schweren und homogenen noch zu den leichten und mehrschaligen Bauteilen zählen. So können die Anforderungen hinsichtlich des Schallschutzes weder über die Masse noch über biegeeweiche Bepunktungen erfüllt werden, da Massivholzbauteile weder biegeweich noch biegesteif sind. Aus obigen Kapiteln bekannt, kommt es im Bereich der Koinzidenzfrequenz zu einem enormen Einbruch der Schalldämmung. Bei Holzbalkendecken ist dies im höherfrequenten und bei massiven und schweren Bauteilen im niederfrequenten Bereich der Fall. Grundsätzlich befinden sich diese Koinzidenzfrequenzen aber außerhalb des bauakustisch zu betrachtenden Bereiches. Bei Massivholzdecken befinden sich die Koinzidenzfrequenzen zwischen 250 Hz und 500 Hz und somit im relevanten und berücksichtigungswürdigen Bereich (siehe Abbildung 44) [2].

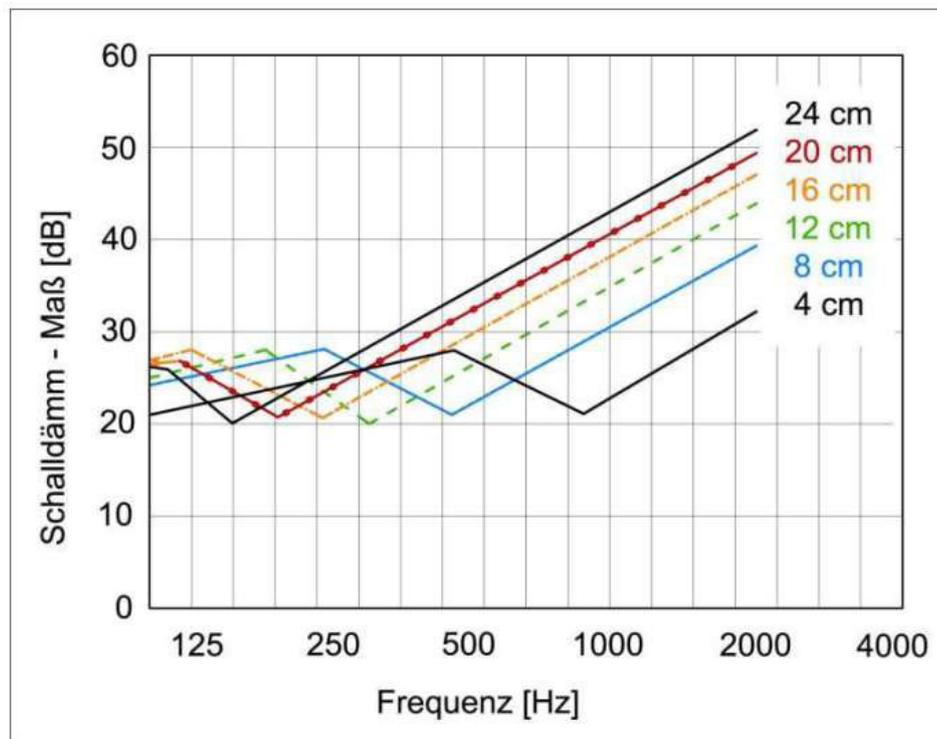


Abbildung 44 Schalldämm-Maße von Brettsper Holzplatten mit unterschiedlicher Dicke [2]

6.1.1 Übertragungswege

Die Übertragungswege gleichen denen im Luftschallschutz von Holzbalkendecken (siehe Kapitel 5.1.1). Forschungsergebnisse zeigen, dass bei vollständigen Holzmassivbauten die Flankenschalldämmung im Gegensatz zu mineralischen Massivwänden oder zur Holzriegelbauweise, geringer ist und Vorsatzschalen bzw. Entkoppelungen zur Ausführung kommen müssen, um den Anforderungen an den Schallschutz zu entsprechen [2].

Wie leistungsfähig eine Flanke im Holzmassivbau ist, ist von diversen Faktoren wie dem Schalldämm-Maß des Bauteils, dem Stoßstellendämm-Maß der Decken-Wand-Kombination und der Verbesserung durch Vorsatzschalen abhängig [22].

Bei der Errichtung von Gebäuden in reiner Holzmassivbauweise, also speziell dort, wo die Flankenbauteile auch Holzmassivbauteile sind, ist eine Begutachtung der Flankenübertragungen besonders empfehlenswert. Die Mindestanforderungen an den Schallschutz können nur unter bestimmten Voraussetzungen, wie der Verwendung von Trennschnitten oder elastischen Auflagen und Zwischenschichten, erreicht werden. Vor allem für den Weg 1 zu 3 in folgender Abbildung sind derartige Zusatzmaßnahmen notwendig [22].

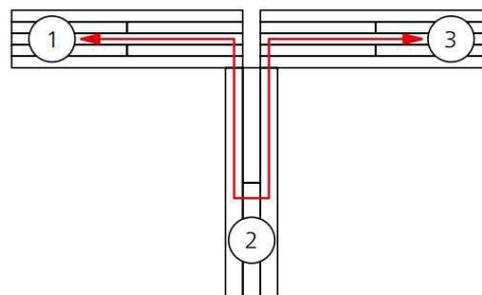
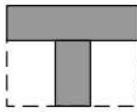
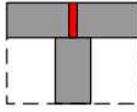


Abbildung 45 Flankenweg im Vertikalschnitt bei einem Trennschnitt in einer Holzmassivdecke mit flankierender Massivholzwand [22]

Im Fall der Verwendung von Trennwänden in Holztafelbauweise, können die Übertragungswege D_f und F_d wie beim Verfahren der Holzbalkendecken vernachlässigt werden, da die Flankenübertragung über den Weg F_f dominiert. Bei der Verwendung eines Trennbauteiles in Holzmassivbauweise können die Flanken D_f und F_d allerdings maßgebend werden. In den nachfolgenden Abbildungen wurden die Flankendämm-Maße für typische Stoßvarianten von Holzmassivdecke auf verschiedenartigen Trennwänden bestimmt. Wobei im Fall einer Holzmassivdecke auf einer Holztafel-Trennwand anstelle der bewerteten Schallpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ für die Vorbemessung $R_{Ff,w}$ angewandt wird [22].

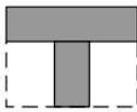
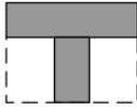
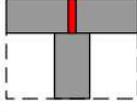
Ausführung	Flankendämmmaß $R_{ff,w}^{2)}$	Darstellung	Einsatzbereich im Geschosswohnbau
Deckenflanke			
beschwerte Massivholzdecke durchlaufend ¹⁾	$R_{ff,w} \geq 61$ dB		bedingt geeignet an einer Flanke, differenzierte Prognose erforderlich
beschwerte Massivholzdecke mit Trennschnitt über der Trennwand ¹⁾	$R_{ff,w} \geq 64$ dB		bis KOMFORT

¹⁾ Massivholzdecke mit Beschwerung, min. $R_w \geq 54$ dB

²⁾ Anstelle von $D_{n,t,w}$ kann für die Vorbemessung $R_{ff,w}$ verwendet werden.

Wand- oder Deckenkörper 
Trennung der Ebenen 

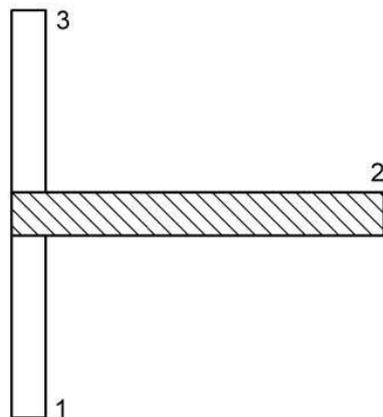
Abbildung 46 Flankendämm-Maß bei Stoßstellen Massivholzdecken auf Holztafelwänden [22]

Ausführung Decke	Ausführung Wand	Darstellung	Messwerte für $I_{lab} = 4,30$ m, $S_{s,lab} = 11,8$ m ²
Deckenflanke			
160 mm BSP, durchlaufend	80 mm BSP		$R_{ff,w} = 44$ dB $R_{fd,w} = 50$ dB $R_{df,w} = 50$ dB
60 mm Splitt, $m' = 90$ kg/m ² 160 mm BSP, durchlaufend	80 mm BSP		$R_{ff,w} = 61$ dB $R_{fd,w} = 55$ dB $R_{df,w} = 55$ dB
160 mm BSP, getrennt	80 mm BSP		$R_{ff,w} = 50$ dB $R_{fd,w} = 51$ dB $R_{df,w} = 51$ dB

Wand- oder Deckenkörper 
Trennung der Ebenen 

Abbildung 47 Flankendämm-Maße bei Stoßstellen Massivholzdecke auf Massivholzwänden [22]

Ein weiteres wichtiges Maß für die spätere Prognoseberechnung des Schallschutzes ist das bereits erwähnte Stoßstellenmaß K_{ij} . Die ÖNORM EN ISO 12354-1 [17] enthält mittlerweile in Anhang F empirische Angaben für Stoßstellen für den Holzmassivbau (siehe Abbildung 48 und Abbildung 49). Wichtig ist jedoch, dass es sich im Fall der Stoßstellen zwischen Bauteilen aus Brettsper Holz bzw. Massivholz nicht um starre Verbindungen handelt. Daher sind die K_{ij} Werte höher als bei starren Verbindungen und weisen zusätzlich eine Frequenzabhängigkeit auf [17].

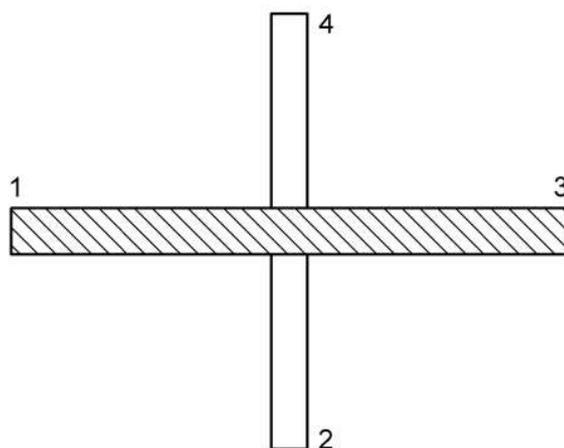


$$K_{13} = 22 + 3,3 \lg(f/f_k)$$

$$K_{23} = 15 + 3,3 \lg(f/f_k)$$

$$f_k = 500 \text{ Hz (Anstieg: 1dB/Oktave)}$$

Abbildung 48 Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes für einen T-Stoß mit Bauteilen aus Brettsperrholz [17]



$$K_{13} = 10 - 3,3 \lg(f/f_k) + 10 M$$

$$K_{24} = 23 + 3,3 \lg(f/f_k)$$

$$K_{14} = 18 + 3,3 \lg(f/f_k)$$

$$f_k = 500 \text{ Hz}$$

Abbildung 49 Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes für einen Kreuzstoß mit Bauteilen aus Brettsperrholz

Die Materialien der Stoßbauteile spielen angesichts der Ermittlung des Stoßstellenmaßes mit Messversuchen im Labor eine große Rolle. Da derzeit in diversen Normenwerken keine Messergebnisse für verschiedene Anschlusssituationen bei Massivholzdecken vorliegen wurden in Labormessungen die Bauteilstöße in realistischer Größe und Art errichtet um, so das Stoßstellendämm-Maß gemäß EN ISO 10848 [39] zu ermitteln. So konnten die Werte in folgender Abbildung gemessen werden [33].

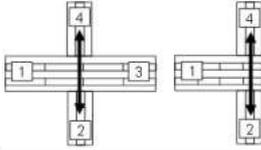
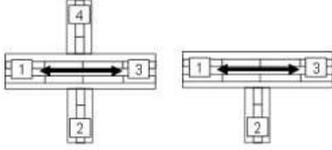
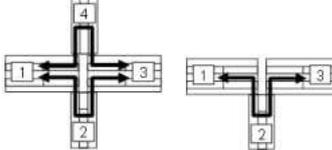
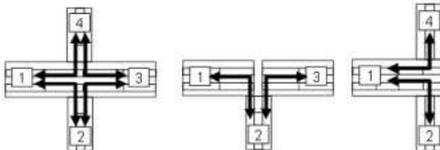
Stoßstellentyp	Übertragungsrichtung	Stoßstellendämm-Maß
	„vertikale Übertragung“ Weg Ff Wand durch Decke unterbrochen	$K_{Ff} = 21 \text{ dB}$
	„horizontale Übertragung“ Weg Ff Decke durchlaufend	$K_{Ff} = 3 \text{ dB}$
	„horizontale Übertragung“ Weg Ff Decke getrennt	$K_{Ff} = 12 + 10 \lg(m'_2/m'_1)$
	„gemischte Übertragung“ Weg Df und Fd	$K_{Fd} = 14 \text{ dB}$ $K_{Df} = 14 \text{ dB}$

Abbildung 50 Stoßstellendämm-Maße für Bauteilstöße aus Massivholz mit Dicken von 80 -200 mm, verschraubt oder mit Winkeln montiert [33]

Wie in der Abbildung 50 ersichtlich, sind die Messergebnisse mit Ausnahme der horizontalen Übertragung von der Masse und der Dicke der Bauteile unabhängig.

Zusätzlich können wie in Abbildung 51 ersichtlich und schon zuvor genannt, die Stöße mit Elastomerlagern ausgebildet werden, so wird eine Verbesserung des Stoßstellendämm-Maßes erreicht, welche mit ΔK_{ij} angegeben und bei der Berechnung berücksichtigt werden kann. Zu beachten ist, dass sich das obere Lager nur für den Weg Fd, das untere nur für den Weg Df und beide Lager für die Wege Ff und Df auswirken [33].

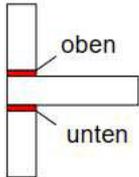
Anordnung der Elastomere	Entkoppelte Befestigungsmittel, Daten nach [20], [21], [22], [14]		
	oben oder unten	$\Delta K_{ij} = 7 \dots 10 \text{ dB}$	$\Delta K_{ij} = 4 \dots 10 \text{ dB}$
	oben und unten	$\Delta K_{ij} = 8 \dots 19 \text{ dB}$	$\Delta K_{ij} = 13 \dots 15 \text{ dB}$

Abbildung 51 Stoßstellendämm-Maßverbesserung durch Entkoppeln mit Elastomeren bei kompletter Massivholzbauweise [33]

6.1.2 Rechenverfahren

Das Rechenverfahren gemäß der ÖNORM EN ISO 12354-1, wie es auch für die Berechnung des Luftschallschutzes bei Holzbalkendecken verwendet wird, wurde für die Berechnung des Luftschallschutzes bei Massivholzdecken ebenso als ausreichend genau betrachtet [2].

Bei unterschiedlicher Ausführung der flankierenden Bauteile von Trenndecken mit Vorsatzschalen, Elastomeren oder anderen Verbesserungen ist wieder eine differenzierte Betrachtung jeder Wand und der Übertragungswege sinnvoll [33].

So wird angelehnt an die ÖNORM EN ISO 12354-1 [17] die differenzierte Berechnung wie folgt durchgeführt:

$$R'_w = -10 \lg \left(10^{-\frac{R_w}{10}} + \sum 10^{-\frac{R_{ij,w}}{10}} \right) [dB]$$

Formel 29 Berechnung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes mit differenzierter Betrachtung [33]

mit:

R'_w	bewertetes Bau-Schalldämm-Maß [dB]
R_w	bewertetes Schalldämm-Maß des Trennbauteiles [dB]
$R_{ij,w}$	bewertetes Flankenschalldämm-Maß auf den Wegen $ij = F_f, D_f, F_d$ [dB]

Der Wert $R_{ij,w}$ berechnet sich anhand der bewerteten Schalldämm-Maße der Wände, dem Stoßstellendämm-Maß und etwaigen Verbesserungen durch Vorsatzschalen, bezogen auf eine bestimmte Raumgeometrie ebenso angelehnt an die ÖNOREM EN ISO 12354-1 [17] wie folgt [33]:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_s}{l_o l_f} [dB]$$

Formel 30 Berechnung des bewerteten Flankenschalldämm-Maßes unter Berücksichtigung der flankierenden Wände und der Stoßstellen [33]

mit:

$R_{i,w}$ und $R_{j,w}$	bewertete Schalldämm-Maße der flankierenden Wände [dB]
$\Delta R_{ij,w}$	bewertete Schalldämm-Maß durch Verbesserung der Vorsatzschalen [dB]
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß [dB]
S_s	Fläche des Trennbauteils [m^2]
l_o	Bezugslänge der Messung im Labor [m]
l_f	gemeinsame Kantenlänge [m]

Somit wird auch bei Massivholzdecken als Eingangsgröße das bewertete Schalldämm-Maß R_w der Trenndecke benötigt. Dieses ist wiederum Normenwerken, Bauteilkatalogen,

Gutachten oder Prüfprotokollen [35] zu entnehmen. Weiterführend kann das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w berechnet werden. Auf eine Beispielberechnung für den Luftschallschutz bei Neubau Massivholzdecken wurde verzichtet, da ungenügend Werte für die Stoßstelledämm-Maße vorhanden sind.

6.1.3 Nachweisverfahren

Gemäß der ÖNORM DIN EN 12354-1 [17] ist mit einer Standardabweichung von 2 dB zu rechnen. Somit gleicht das Nachweisverfahren dem des Luftschallschutzes von Holzbalkendecken in Kapitel 5.1.3.

6.1.4 Anforderungen

Die Anforderungen an den Luftschallschutz sind denen der Holzbalkendecken gleichgestellt. Siehe dazu Kapitel 5.1.5.

6.2 Trittschallschutz

6.2.1 Übertragungswege

Für den Trittschallschutz bei Massivholzdecken sind die Flankenübertragungswege gleich derer beim Trittschallschutz von Holzbalkendecken (siehe Kapitel 5.2.1). Demnach sind für den Trittschall bei Massivholzdecken die Übertragungswege Df und Dff zu berücksichtigen. [33] Stoßstellendämm-Maße sind aus Messungen zu ermitteln bzw. können für bestimmte Fälle gemäß den Abbildungen 50 und 51 und der ÖNORM EN ISO 12354-1 [17] entnommen werden.

6.2.2 Rechenverfahren

Forschungsergebnisse zeigten, dass bei der Berechnung des Trittschallschutzes von Massivholzdecken, das Berechnungsmodell des Massivbaus herangezogen werden kann. [33]

Jedenfalls sind auch hier die Schalldämm-Maße der flankierenden Wände, die Stoßstellendämm-Maße und etwaige Vorsatzschalen zu berücksichtigen. Somit ergibt sich analog zur ÖNORM EN ISO 12354-2 folgende Berechnung für den Trittschallschutz [33]:

$$L'_{n,w} = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{n,w}}{10}} + \sum 10^{\frac{L_{n,ij,w}}{10}} \right) [dB]$$

Formel 31 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels im Bau unter differenzierter Betrachtung [33]

mit:

$L'_{n,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau [dB]
$L_{n,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel des Trennbauteils in [dB]
$L_{n,ij,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile in [dB]

Die Berechnung von $L_{n,ij,w}$ erfolgt, gemäß ÖNORM DIN EN 12354-2 [18] mit folgender Formel:

$$L_{n,ij,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + \frac{R_{i,w} - R_{j,w}}{2} - \Delta R_{ij,w} - K_{ij} - 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_f} \quad [dB]$$

Formel 32 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels flankierender Bauteile [18, 33]

mit:

$L_{n,eq,0,w}$	äquivalenter bewerteter Norm Trittschallpegel der Rohdecke (Trenndecke) [dB]
ΔL_w	bewertete Trittschallminderung durch eine Deckenauflage [dB]
$R_{i,w}$	bewertetes Schalldämm-Maß der Decke in [dB]
$R_{j,w}$	bewertetes Schalldämm-Maß des abstrahlenden Bauteils [dB]
$\Delta R_{ij,w}$	bewertete Schalldämm-Maß durch Verbesserung der Vorsatzschalen [dB]
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß [dB]
S_s	Fläche des Trennbauteils [m ²]
l_0	Bezugslänge der Messung im Labor [m]
l_f	gemeinsame Kantenlänge [m]

Zusätzlich können für die Trittschallberechnung auch Eingangsdaten aus Labormessungen der Flankenübertragungen ermittelt werden. Die Korrektursummanden K1 und K2 der DIN 4109-2 [34] wurden auch auf diese Art gemessen. Verbesserungen durch Vorsatzschalen oder Elastomere in den Deckenstößen können so ebenfalls berücksichtigt werden [33].

Die Berechnung erfolgt dabei folgendermaßen:

$$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta K_{ij} - \Delta R_{ij,w} - 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_f} \quad [dB]$$

$$L_{n,DFf,w} = L_{n,DFf,lab,w} - \Delta K_{ij} - \Delta R_{ij,w} - 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_f} \quad [dB]$$

Formel 33 Berechnung des bewerteten Norm-Flankenschallpegel unter Berücksichtigung von Verbesserungen durch Vorsatzschalen und von Elastomeren [33]

mit:

$L_{n,Df,w}$	bewertete Norm-Flankenschallpegelübertragung auf dem Weg Df [dB]
$L_{n,Dff,w}$	bewertete Norm-Flankenschallpegelübertragung auf dem Weg Dff [dB]
$L_{n,Df,lab,w}$	Laborwert für die Flankenschallübertragung Df [dB]
$L_{n,Dff,lab,w}$	Laborwert für die Flankenschallübertragung Dff [dB]
ΔK_{ij}	Verbesserungsmaß der Stoßstelle durch Elastomere [dB]
$\Delta R_{ij,w}$	Verbesserungsmaß durch Vorsatzschalen [dB]
S_s	Fläche des Trennbauteils [m ²]
l_o	Bezugslänge der Messung im Labor [m]
l_f	gemeinsame Kantenlänge [m]

Es besteht die Möglichkeit, sollten keine Laborwerte für den Weg Df und Dff vorliegen, diese wie folgt zu ermitteln [33]:

$$L_{n,Df,lab,w} = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{n,w}+K_1}{10}} - 10^{\frac{L_{n,w}}{10}} \right) [dB]$$

Formel 34 Berechnung des Laborwertes für den Übertragungsweg Df

Für die Ermittlung des Laborwertes $L_{n,Dff,lab,w}$ kann der Wert für $L_{n,w}+K_1$ aus Tabelle 4 herangezogen werden [33].

Auf eine Erstellung eines Prognoseblattes wurde verzichtet, da nur ungenügend Werte für Stoßstellendämm-Maße vorliegen.

6.2.3 Nachweisverfahren

Gemäß der ÖNORM DIN EN 12354-2 [18] ist mit einer Standartabweichung von 2 dB zu rechnen. Somit gleicht das Nachweisverfahren dem des Trittschallschutzes von Holzbalkendecken in Pkt. 5.2.5.

6.2.4 Anforderungen

Die Anforderungen an den Trittschallschutz sind denen der Holzbalkendecken gleichgestellt. Siehe dazu Kapitel 5.2.7.

7 Sanierung von Holzdecken im Altbau

Immer bedeutender wird die den Neubaustandards entsprechende Sanierung von Decken im Altbau. In den Vordergrund rücken dabei Holzbalkendecken in den verschiedensten Varianten, aufgrund des vorherrschenden Einsatzes bis zum Ende der 1950er Jahre [40]. Wichtig bei der Sanierung von Holzdecken ist die Kenntnis von bauphysikalischen Anforderungen. Sofern Decken nicht unter Denkmalschutz fallen, sind die zum Zeitpunkt der Sanierung gültigen Normen und Gesetze anzuwenden. In Österreich gilt zum Nachweis für den Schallschutz die OIB 5 Richtlinie [36] sowie sämtliche Teile der ÖNORM B 8115 [16] sowie alle weiteren ÖNORMEN und Richtlinien betreffend den Schallschutz. Die wichtigsten sind dabei die ÖNORM EN ISO 10140 [20], ÖNORM EN ISO 12354 [17] und die ÖNORM EN ISO 717 (vergleiche Kapitel 4 und 5) [19] sowie die Richtlinie VDI 4100. In Deutschland gelten die Anforderungen der DIN 4109 [15](alle Teile) und in der Schweiz die SIA 181 [14] [41].

Grundsätzlich lehnen sich für die Berechnung des Schallschutzes alle diese Normen an die die EN ISO 12354-1 [17] und EN ISO 12354-2 [18] in den gültigen länderspezifischen Fassungen an. Messungen erfolgen gemäß der EN ISO 10140 [20](alle Teile), eine Bewertung mit Einzahlangaben erfolgt durch die EN ISO 717 [19](alle Teile) [41].

Eine Einschätzung bezugnehmend auf den Schallschutz bei Holzbalkendecken im Altbau ist schwer, da mehrere Unsicherheiten gegeben sind. Nicht nur die verschiedenen Konstruktionsvarianten, sondern auch die verwendeten Materialien unterscheiden sich stark. Es sind daher nur ungenügend viele Messwerte vorhanden und es kann oft keine belastbare Aussage getroffen werden. Nur eine Messung vor Ort kann genaue Schallschutzwerte liefern. Eine Sanierung durch einen Deckenaufbau mit einem Estrich und einer Rohdeckenbeschwerung ist bei Deckenkonstruktionen von Altbau-Holzbalkendecken aufgrund von statischen Eigenschaften und wegen mangelnder Einbaumöglichkeit in der Höhe oft nur begrenzt möglich. Auch eine Sanierung der Decke von unten ist aufgrund von zu erhaltenden Unterdecken oder bei Türstürzen nicht möglich [41].

Weitere Hindernisse im Zuge der Sanierung können durch die Wohnsituation hinzukommen, so kann eventuell im Zuge der Sanierung eine Decke nur von oben oder nur von unten verbessert und saniert werden [41].

Die Berücksichtigung des Spektrumanpassungswertes $C_{1,50-2500}$ spielt wie in Kapitel 5.2.6 genannt, bei Holzbalkendecken eine wesentliche Rolle, da kritische Lärmbelastungen bei derartigen Decken vor allem im niederfrequenten Bereich stattfinden (Vergleich Kapitel 3.1) [42].

Weitere Ausführungen beziehen sich, mit wenigen Ausnahmen für Vergleiche, auf den Trittschallschutz, da bei Messungen durch Prüfanstalten [41] von Holzdecken, die Luftschalldämmung ≥ 65 dB ist und somit die Anforderungen immer erfüllt werden [42].

7.1 Gruppeneinteilung von Altbau-Holzdecken

Aufgrund der hohen Vielfalt von Holzbalkendeckenkonstruktionen im Altbau wurden im Zuge von Forschungsarbeiten Gruppierungen vorgenommen, welche die am häufigsten vorkommenden Deckenkonstruktionen einteilen. Zwischen diesen Gruppen soll anhand diverser Parameter eine Prognostizierung der Trittschalldämmung, möglich gemacht werden. Vor allem soll dies durch die flächenbezogene Masse der Unterdecken und durch

Höhe und Dichte des Schüttgutes erfolgen. Anzumerken ist, dass die Messungen und Beurteilungen der Decken ohne Flankenübertragung, wie in vorherigen Kapiteln genannt, am Bau erfolgten. Eine Prognostizierung des Wertes mit Flankenübertragungen kann, durch die im Zuge dieser Arbeit erstellten Excel Berechnungsblätter erfolgen [41]. (siehe Anhang 1)

Die Deckenkonstruktionen konnten den Forschungsergebnissen nach, in drei Gruppen (siehe Abbildung 52) mit ähnlichen schalltechnischen Eigenschaften einteilt werden [41].

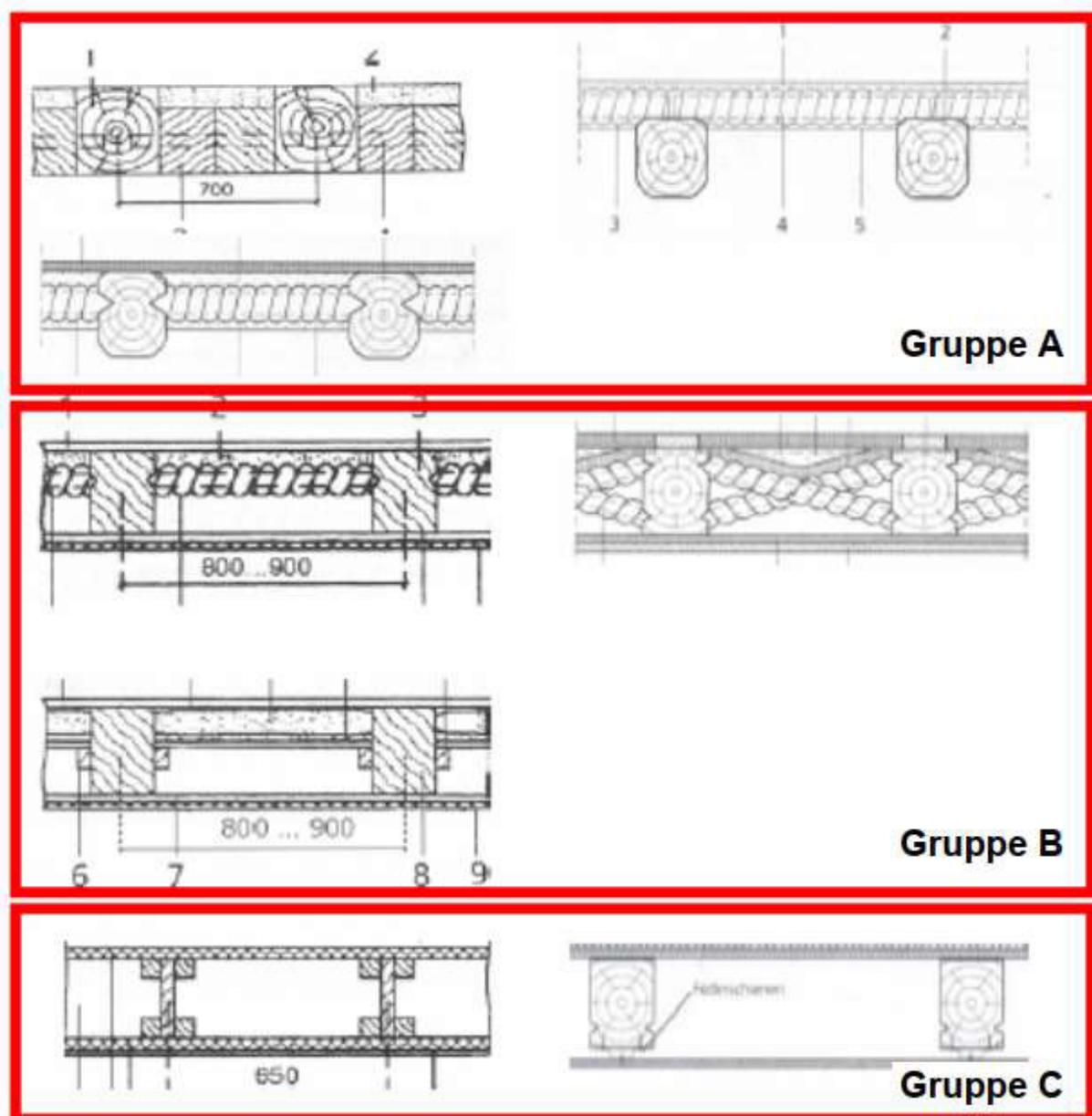


Abbildung 52 Gruppierung der Altbaudecken [41]

Gruppe A sind Decken mit einschaligem Aufbau, wobei hier der maßgebliche Parameter hinsichtlich der Schalltechnischen Betrachtung die Masse der Decke ist. Für die Prüfungen im Labor, wurde eine Dollendecke herangezogen, welche mit den Eigenschaften einer Österreichischen Dippelbaumdecke wie in Pkt. 2.1.2 genannt gleichzustellen ist [41].

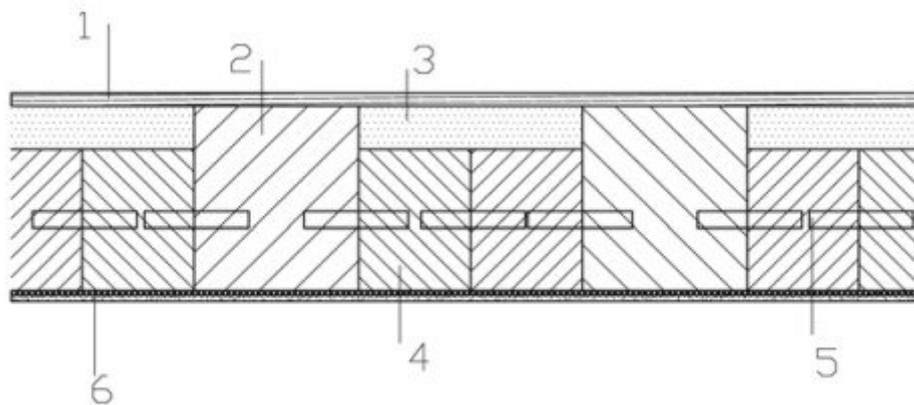


Abbildung 53 geprüfte Deckenart A -Dollendecke [41]

mit:

- 1.) 24mm Dielung gehobelt
- 2.) 300/240 Balken, Balkenabstand $e = 707$ mm
- 3.) 80 mm Lehmverstrich/ Auffüllung
- 4.) 200/260 Balken
- 5.) Runddübel, $d = 30$ mm, $e = 2000$ mm
- 6.) 15 mm Schilfrohrmatten mit Lehmputz

Gruppe B, sind Decken, welche den Einschubdecken und Lehmwickeldecken wie in Punkt 2.1.1 zuzuordnen sind. Wichtige Einflussparameter für das schalltechnische Verhalten sind dabei, die Masse im Einschub und die Befestigung der Unterdecke [41].

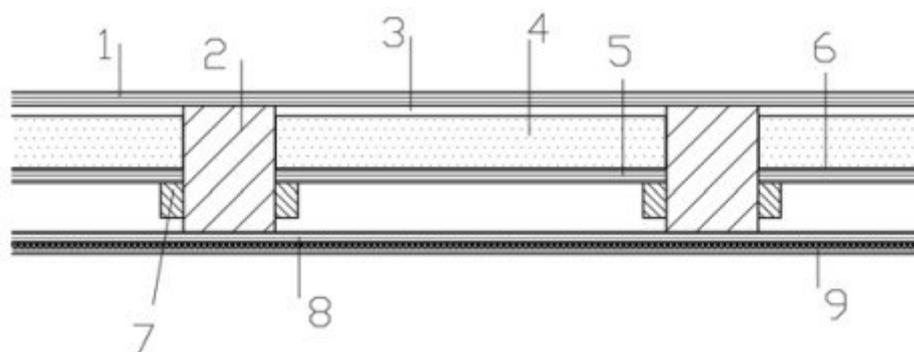


Abbildung 54 geprüfte Deckenart B -Einschubdecke [41]

mit:

- 1.) 24 mm Dielung gehobelt
- 2.) 160/220 Deckenbalken, Balkenabstand $e = 848$ mm
- 3.) Hohlraum
- 4.) Auffüllung $m' = 20/80/120$ kg/m²
- 5.) 24 mm Einschubbretter
- 6.) Rieselschutz
- 7.) 40/60 Latten
- 8.) 18 mm Deckenschalung
- 9.) 15 mm Schilfrohmatten mit Lehmputz

In Gruppe C sind alle Decken einzuteilen, die dem Neubau zuzuordnen sind. Diese Decken wurde hinsichtlich Sanierungsvarianten im Altbau nicht geprüft und weiter betrachtet [41]. Schalltechnische Werte von Holzbalkendecken im Neubau sind Normenwerken, Bauteilkatalogen oder Gutachten zu entnehmen.

7.2 Maßnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes bei Holzdecken im Altbau

Für die Sanierung von Holzbalkendecken im Altbau werden einerseits Untersuchungen direkt an der Rohdecke und andererseits Untersuchungen durch zusätzliche Aufbauten getätigt. Hierbei können folgende Sanierungsvarianten betrachtet werden [41]:

- a.) Änderung der Masse im Einschub und des Putzes an der Unterseite
- b.) Maßnahmen am Einschub
- c.) Befestigung einer Unterdecke mittels Federscheinen
- d.) Befestigung einer abgehängten Decke
- e.) Verwendung einer freitragenden Unterdecke
- f.) Verwendung von Sekundärträgern
- g.) statische Verbesserung der Decke durch einen Holz-Beton Verbund
- h.) Sanierung durch Aufdopplung der Holzbalken
- i.) Austausch der Decke
- j.) Sanierung des Fußbodens
- k.) Veränderung des Abstandes der Abhängung
- l.) Unterschiedliche Lagenanzahl der Beplankung

Am ift Rosenheim wurden 60 verschiedene Deckenaufbauten geprüft, wobei hier Veränderungen am Fußbodenaufbau, Veränderungen an der Unterdecke und teilweise Eingriffe in die Rohdecke (Rohdeckenbeschwerung) vorgenommen wurden. Aufgrund der beim Trittschall wichtigen Eigenschaft des niederfrequenten Bereiches wurde bei den Prüfungen auch der Spektrumanpassungswert $C_{I,50-2500}$ berücksichtigt [41].

Aus den Prüfergebnissen können effektive Sanierungsvorschläge für Altbauholzbalkendecken entwickelt werden. Wichtig ist dabei noch die Berücksichtigung der Flanken in der eingebauten Situation. Bei ordnungsgemäßer Ausführung können durch Sanierung der Decken gute schalltechnische Werte erreicht und die Mindestanforderungen gemäß den aktuellen Normen eingehalten werden [41].

7.2.1 Einfluss der Masse im (Einschubboden) und des Putzes an der Deckenunterseite

Im Altbau befinden sich viele verschiedene Variationen von Holzbalkendecken. Auch variiert hier die Masse des Einschubes, sowie die Art und Masse des Unterputzes. Aus Forschungsergebnissen geht hervor, dass sich die Zusatzmasse im Einschub hauptsächlich im tieffrequenten Bereich auswirkt und bei Variation der Masse zwischen üblichen Werten von 0 kg/m^2 bis 120 kg/m^2 ein maximaler Unterschied von 3 dB beim Trittschall $L_{n,w}$ und 4 dB $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ entsteht bzw. erreicht werden kann (siehe Abbildung 55 und 56) [41, 42].

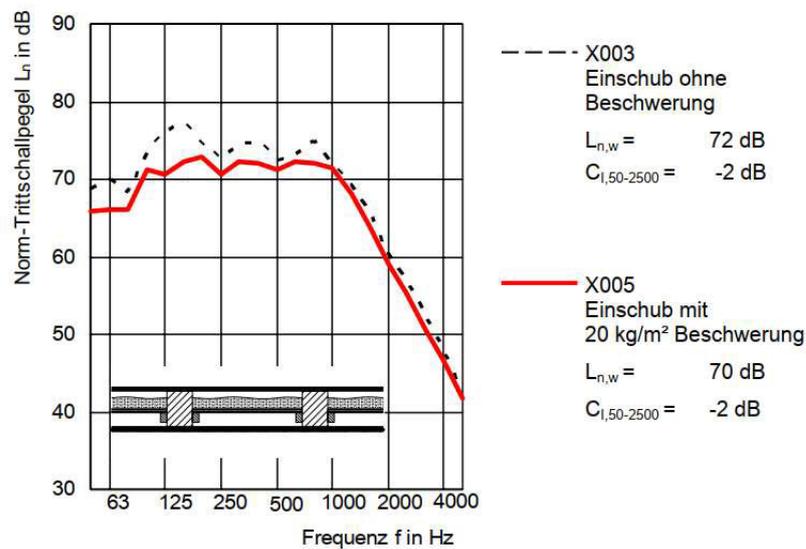


Abbildung 55 Trittschaldämmung bei unterschiedlicher Einschubmasse [41]

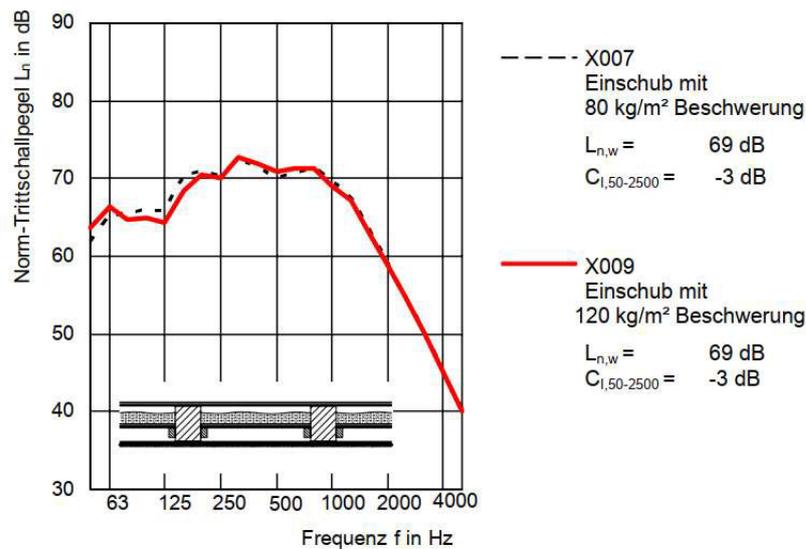


Abbildung 56 Trittschalldämmung bei unterschiedlicher Einschubmasse [41]

Bei Altbaudecken wurde für die Untersicht häufig eine Schilfrohrmatte aufgenagelt, welche in weiterer Folge verputzt wurde. Bei einer Erhöhung der Masse des Putzes auf diesen Schilfrohren von 15 kg/m² auf 26 kg/m² zeigte sich hinsichtlich des Trittschalldämmmaßes eine Verbesserung von 1 dB bis 4 dB. Bei einer Sanierung durch eine Unterdecke mit einer direkt montierten Gipskartonplatte, zeigten sich Verschlechterungen der Trittschalldämmung von 5 dB bis 9 dB (siehe Abbildung 57 und 58) [41].

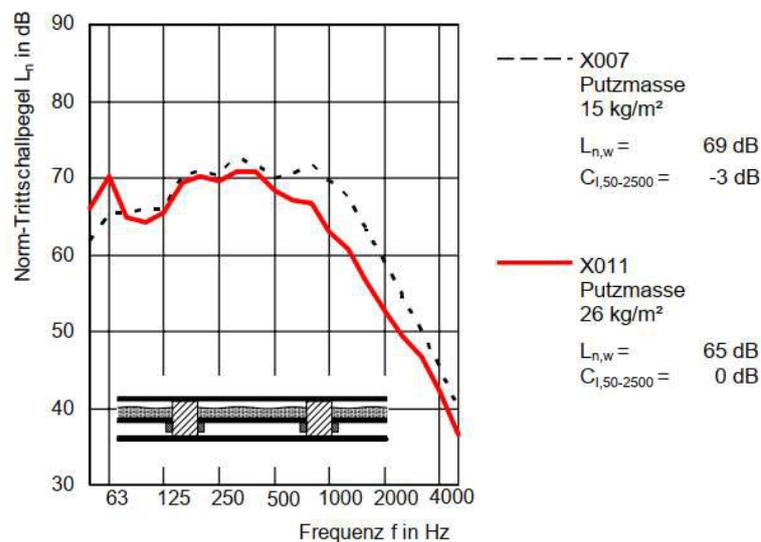


Abbildung 57 Veränderung der Masse des Putzes an einer Altbaudecke [41]

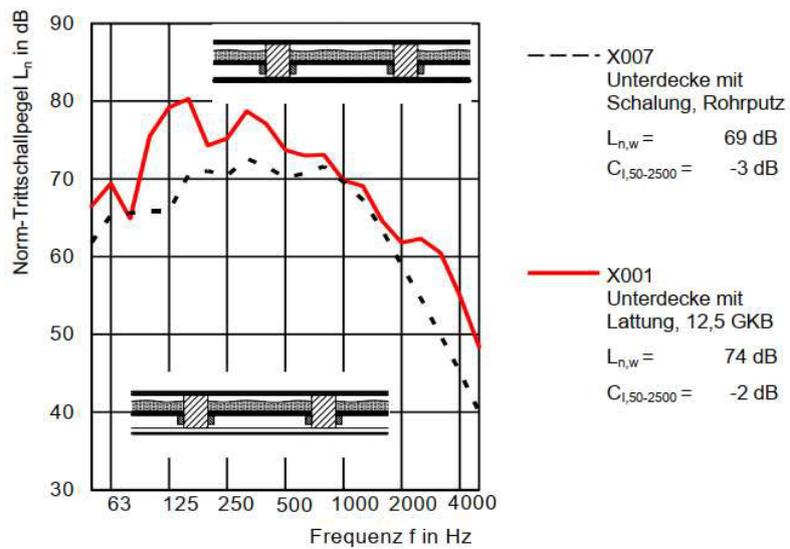


Abbildung 58 Sanierung der Unterdecke mit einer Gipskartonplatte [41]

Bei der Dollendecke (Doppelbaumdecke) wurde für die Messung des Trittschalldämm-Maßes im Ist-Zustand die Schalung und der Putz an der Deckenunterseite weggelassen. Bei Aufbringung der Schalung konnte das Trittschalldämm-Maß um 9 dB und durch die Aufbringung des Putzes um zusätzliche 4 dB verbessert werden (siehe Abbildung 59) [41].

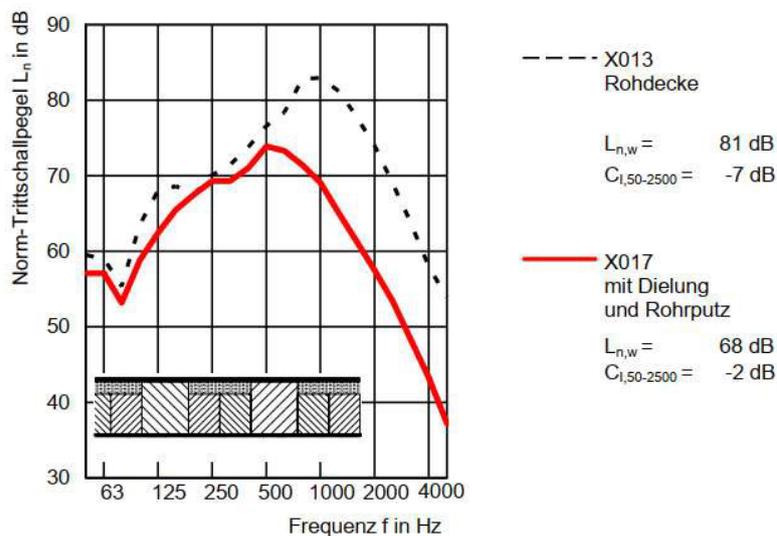


Abbildung 59 Dollendecke mit und ohne Dielung und Putz [41]

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen bewerteten Norm Trittschallpegel bezüglich der Einschubmasse in einer Holzbalkendecke kann Abbildung 60 herangezogen werden.

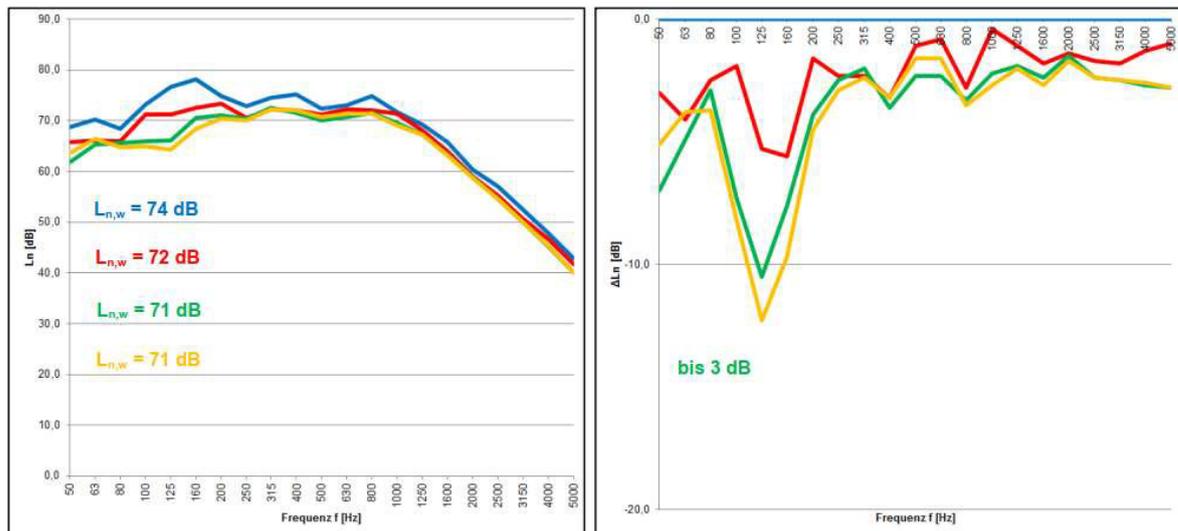
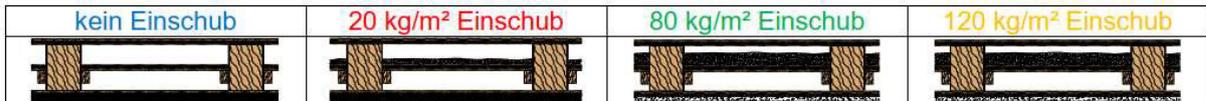


Abbildung 60 Zusammenfassende Abbildung der Trittschallmessungen mit verschiedenen Einschubmassen [4]

7.2.2 Maßnahmen am Einschub

Veränderungen am Einschub haben aus obigen Ergebnissen bereits gezeigt, dass sich die Auswirkung der Masse im Einschub vor allem im tieffrequenten Bereich auswirkt. Ersetzt man die Masse des Einschubes durch einen Faserdämmstoff, weil dies zum Beispiel aus statischen Gründen notwendig wird, wird dies die Trittschalleigenschaften im tieffrequenten Bereich um rund 5 dB verschlechtern. Als Abhilfe kann hier eine Beschwerung mit geringerer Masse auf der Rohdeckenbeplankung situiert werden. Die in Abbildung 61 dargestellte Messung fand dabei mit einem Estrichaufbau von 50 mm und einer Trittschalldämmplatte mit einer dynamischen Steifigkeit von $s' \leq 6 \text{ MN/m}^3$ statt [41].

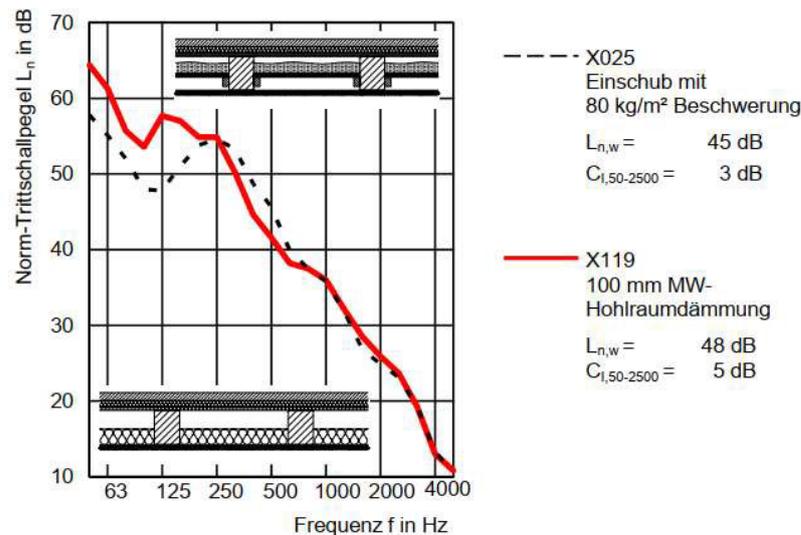


Abbildung 61 Ersatz der Schüttung durch eine Hohlraumdämmung [41]

7.2.3 Maßnahmen an der Unterdecke

Schallverbesserungsmaßnahmen an der Unterdecke bei Altbaudecken, gleichen denen von Neubaudecken. Es können Beplankungen direkt an der Unterdecke mit Lattungen angebracht werden, oder es können Federschiene und Abhänger (siehe Abbildung 62 und 63), auf denen dann die Beplankung befestigt wird, verwendet werden. Eine Anbringung von Gipskartonplatten direkt an Holzlatten auf der Rohdecke führen dabei sogar zu Verschlechterungen der Schalldämmung, siehe dazu Abbildung 58. Federschiene verbessern die Schalldämmung im hochfrequenten Bereich und Abhängungen bringen deutliche Verbesserungen im gesamten Frequenzbereich. Federschiene bringen dabei maximale Verbesserungswerte beim Trittschallschutz von rund 9 dB und Montagelösungen mit abgehängten Systemen bis zu 19 dB [41].

Die Möglichkeit einer selbständig freitragenden Unterdecke, welche akustisch von der Bestandsdecke komplett getrennt ist, wird bei Altbauten ebenso häufig angewendet. Dies ist meist der Fall, wenn von oben auf die Bestandsdecke nicht eingegriffen werden kann, die Raumhöhe zu gering ist oder eine statische Ertüchtigung der Decke für einen Bodenaufbau aus Estrich notwendig wäre. Die abgehängte Decke ist dabei mit den flankierenden Wänden direkt verbunden [42].

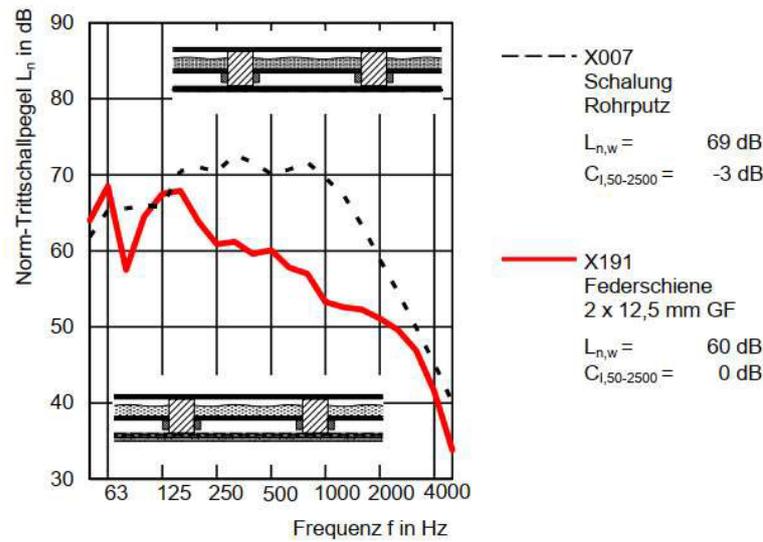


Abbildung 62 Trittschallverbesserung durch Anbringung von Federschiene [41]

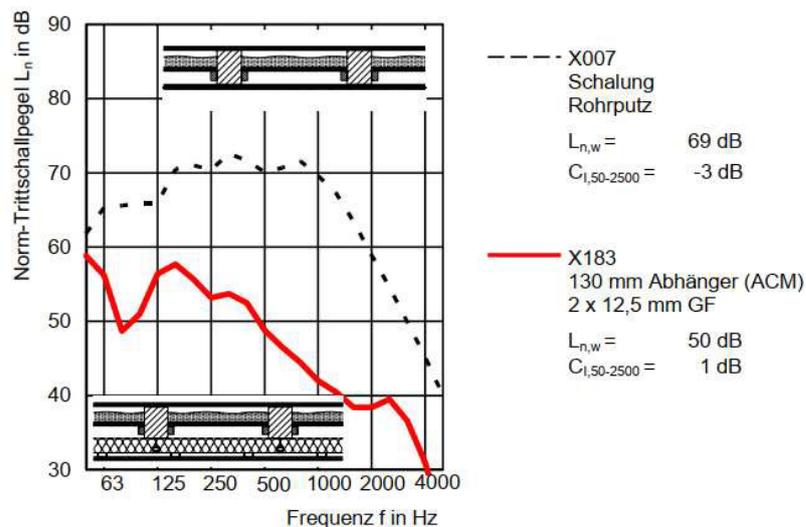


Abbildung 63 Trittschallverbesserung durch eine abgehängte Montagelösung [41]

In Abbildung 64 ist zu sehen, dass durch die Sanierung der Bestandsunterdecke einer Einschubdecke auf ein System mit angehängter Unterdecke eine Trittschallverbesserung von 13 dB erreicht wird [4].

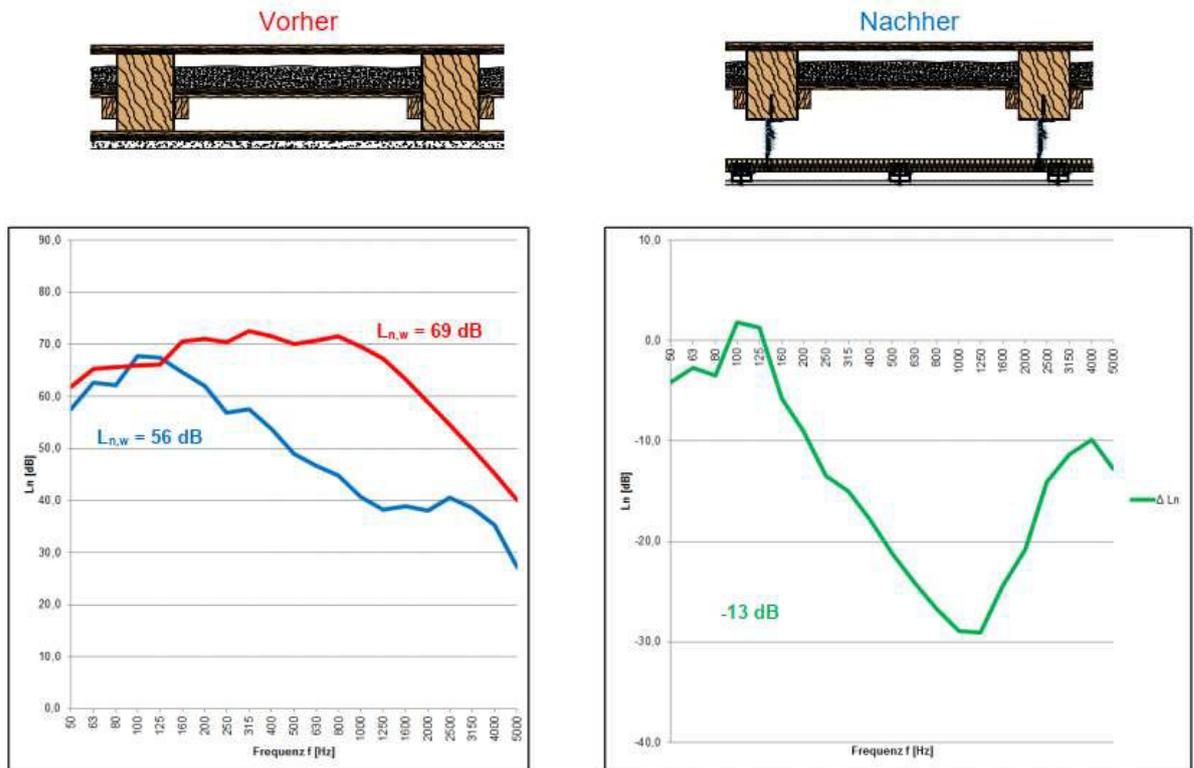


Abbildung 64 Vergleich einer Bestandseinschubdecke mit einer sanierten Decke mit abgehängter Unterdecke, maximale Trittschallverbesserung 13 dB [4]

Die Trittschallwerte einer freitragenden Decke sind ähnlich der mit einem abgehängten System (siehe Abbildung 64) [41]. Zwischen schallentkoppelten Direktabhängern, welche direkt mit Gummipuffern an der Rohdecke befestigt sind und einer freitragenden Unterdecke sind dennoch Verbesserungen des Trittschallpegels bis zu 8 dB möglich (siehe Abbildung 65) [4].

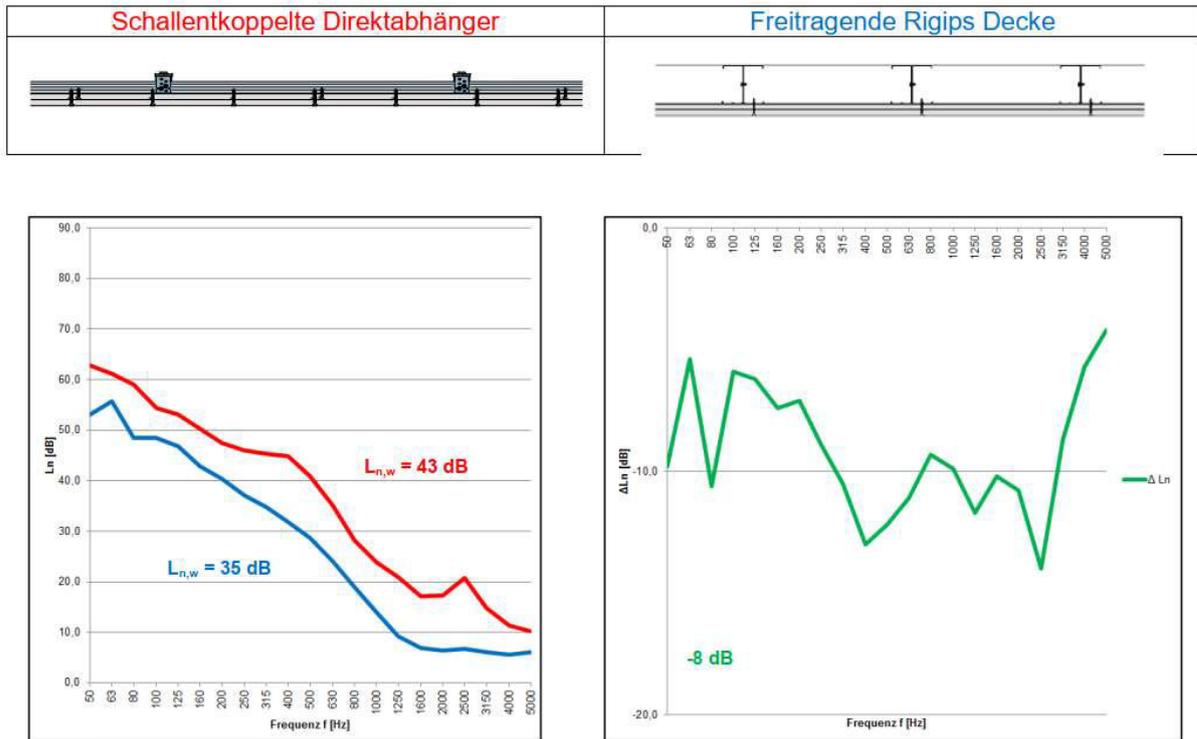


Abbildung 65 Verbesserung des Trittschallpegels bei Verwendung einer freitragenden Unterdecke der Fa. Rigips anstatt von Direktabhängern [4]

7.2.4 Einbau von Sekundärträgern

Der Einsatz von Sekundärträgern, ist besonders dann geeignet, wenn die Bestandsbalken die Last durch einen zusätzlichen Estrichaufbau und eine erhöhte Nutzlast nicht mehr abtragen können. Hierbei muss die Decke geöffnet werden, die vorhandene Schüttung und die Einschublattung müssen entfernt werden. Neue Träger mit einer Einschubschicht aus Faserdämmstoff werden montiert und tragen dabei den neuen Fußbodenaufbau und die Nutzlast ab. Die Bestandsbalken tragen statisch nur mehr sich selbst und bei Bedarf die Unterdecke. Auch deutliche Unebenheiten an der Bestandsdecke können mit dieser Art der Sanierung nach oben hin behoben werden. So gleicht diese Form der Sanierung bzw. der Decke jener der Fehltramdecke. Mit dieser Sanierungsvariante kann eine Verbesserung des Trittschallschutzes von bis zu 9 dB erreicht werden (siehe Abbildung 66) [41].

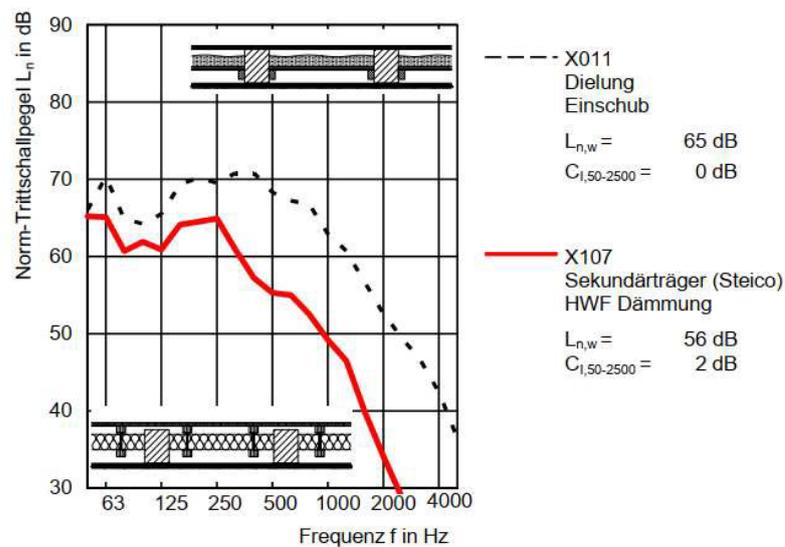


Abbildung 66 Verbesserung des Trittschallschutzes durch Sanierung mittels Sekundärträgern [41]

7.2.5 Sanierung durch Holz-Beton-Verbunddecken

Um unter anderem statische Verbesserungen an Holzdecken, sowohl bei Holzbalkendecken als auch bei Massivholzdecken, vorzunehmen, kann eine obere Lage aus Beton aufgebracht werden. Diese wird mit speziellen Ankern mit der Holzdecke verbunden und übernimmt statisch gesehen die Druckzone. Diese Decken werden Holz-Beton-Verbunddecken genannt [43].

Auf eine exakte Ausführung bei diesen Decken ist zu achten, da der Beton beim Aufbringen sehr viel Feuchtigkeit enthält, welche vom Holz aufgenommen wird und dieses nachhaltig schädigen kann. Die Verwendung einer Folie als Unterlage wird daher empfohlen [43].

Hinsichtlich des Schallschutzes haben Forschungsergebnisse gezeigt, dass die Deckenaufgabe aus Beton nur geringe Verbesserungen, im Falle von Massivholzdecken sogar geringe Verschlechterungen, ergibt. Dies ist auf die bessere Anregbarkeit der Betonschicht in den hohen Frequenzen zurückzuführen. Wird zusätzlich ein Estrichaufbau mit Trittschalldämmung als Bodenaufbau verwendet, wirkt sich die Betonschicht als Masse wiederum positiv auf den Schallschutz aus und ergibt weitaus bessere Werte [41].

Wichtig ist dabei allerdings, die Beachtung des Spektrumanpassungswertes $C_{I,50-2500}$ (Vergleich Kapitel 4.2.6) für niedrige Frequenzen. Hier zeigt sich vor allem bei Holzbalkendecken mit Betonverbund und Estrichaufbau im niedrigen Frequenzbereich eine minimale Verschlechterung des Trittschallschutzes. Bei Massivholzdecken wiederum ergibt sich eine Verbesserung.

Messungen zeigten, dass durch die Anwendung von Beton-Verbund-Decken eine Verbesserung des Trittschallpegels von 20 dB bis 36 dB erreicht werden konnte (siehe Abbildungen 67 bis 70) [41].

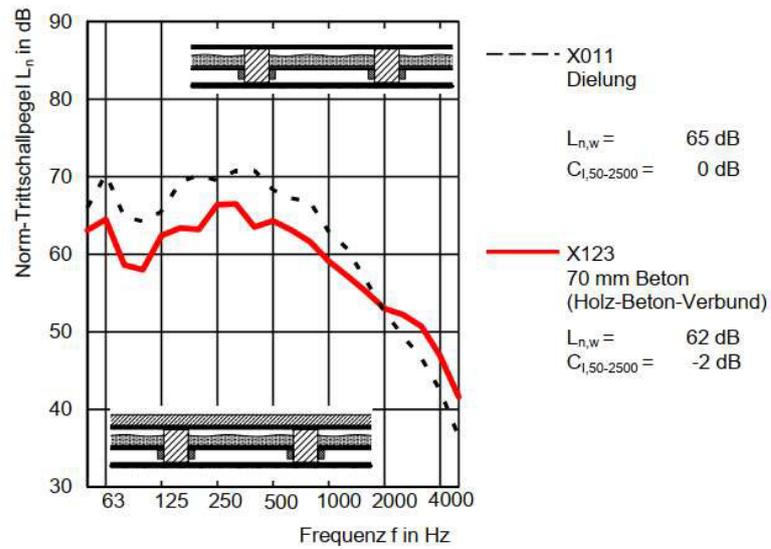


Abbildung 67 Messung an einer Holz-Beton-Verbundbalkendecke [41]

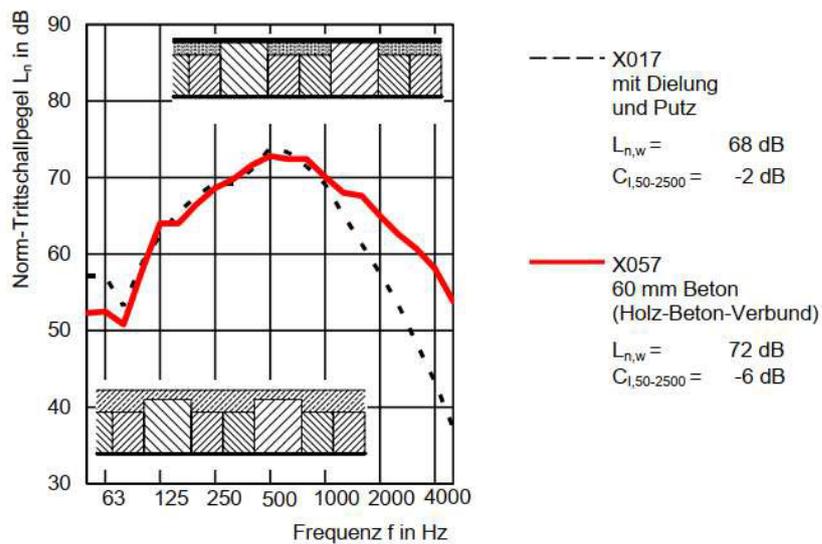


Abbildung 68 Messung an einer Holz-Betonmassivdecke [41]

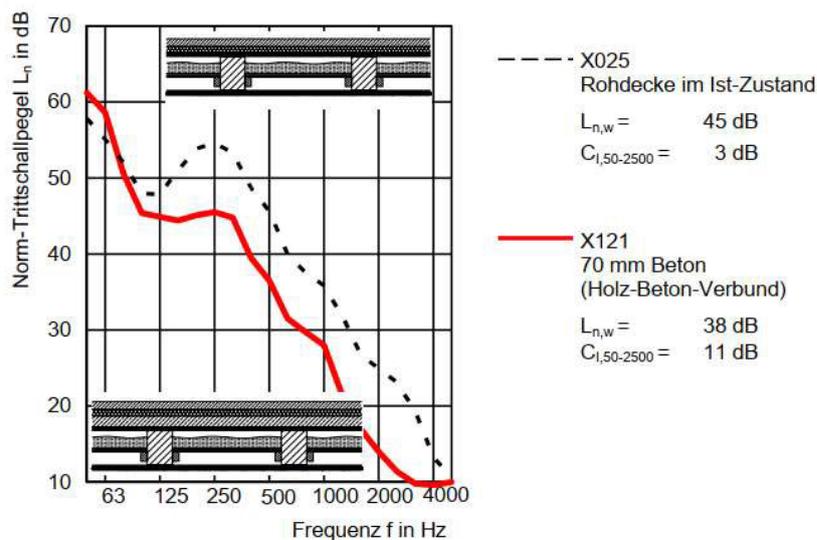


Abbildung 69 Vergleich Holz balkendecke mit 50 mm Zementestrich und Trittschalldämmung $s' \leq 6$ MN/m^3 mit und ohne Betonverbund [41]

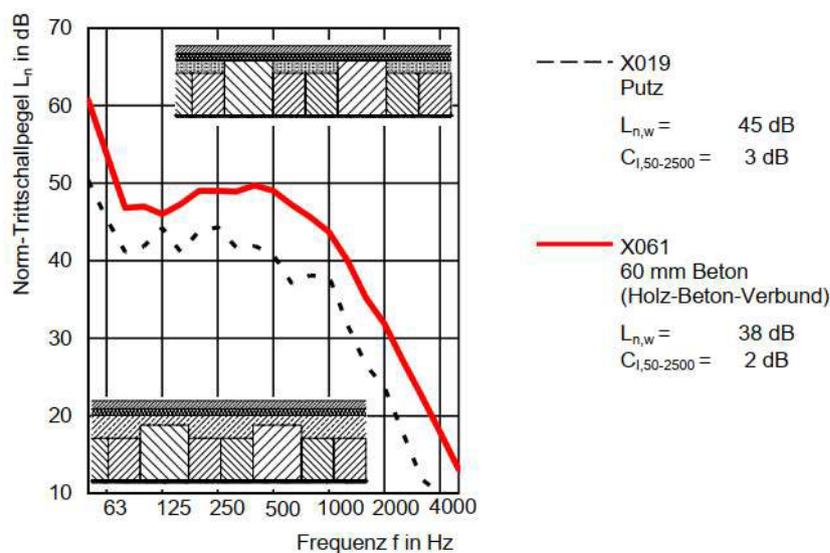


Abbildung 70 Vergleich Holzmassivdecke mit 50 mm Zementestrich und Trittschalldämmung $s' = 6$ MN/m^3 mit und ohne Betonverbund

7.2.6 Sanierung durch Aufdopplung der Holzbalken

Die Aufdopplung der Bestandsbalken mit seitlichen Laschen erhöht die Tragfähigkeit und gleicht Unebenheiten im Boden aus [42]. Aus Forschungsergebnissen [41] geht hervor, dass eine Aufdopplung der Bestandsbalken bezüglich des Schallschutzes nur dann Sinn macht, wenn der Hohlraum bis zur Oberkante der aufgedoppelten Laschen aus Furnierholz (meist 140 mm Höhe) mit einer gebundenen Schüttung aufgefüllt wird, auf welcher direkt der Estrichaufbau aufgelegt wird [41].

7.2.7 Austausch der Bestandsdecke

Um den Schallschutz zu verbessern, wäre auch eine vollständige Erneuerung der Bestandsdecke denkbar. Dies würde einen sehr starken Eingriff in die Bestandsdecke bedeuten. Auf diese Variante wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen, da hier nur Sanierungsmaßnahmen mit bestehenden Bauteilen betrachtet werden sollen. Andernfalls wäre die Sanierungsmaßnahme als Neubaudecke zu sehen [41].

7.2.8 Sanierung des Fußbodenaufbaus

Wie schon im Kapitel 3.3.3 beschrieben, ist eine der beliebtesten „einfachen“ konstruktiven Sanierungsvarianten der Austausch des vorhandenen Bodenaufbaus bzw. die Verbesserung dessen durch einen Estrichaufbau mit einer Trittschalldämmung.

Im Allgemeinen können dabei zwei Gruppen von Estrichen zum Einsatz kommen. Man unterscheidet zwischen Zementestrich und Trockenestrich. Zementestriche werden im Altbau zwar aufgrund der höheren Masse, welche die statischen Eigenschaften der Decke stark beeinflussen können, zwar seltener verwendet, weisen jedoch einen deutlich besseren Trittschallschutz auf [41].

Grundlegende Eigenschaften wie die Resonanzfrequenz, die Ermittlung der Trittschallminderung, der Verlustfaktor und die Wichtigkeit der dynamischen Steifigkeit können dem Kapitel 3.2 entnommen werden.

7.2.9 Sanierung mit Zementestrich

Die Verbesserung des Trittschallschutzes bei Altbaudecken durch Einsatz eines Estrichaufbaus mit einer Trittschalldämmung bewegt sich bei 23 dB bis 25 dB [41].

Als besonders wirkungsvoll hat sicher der gemeinsame Einsatz eines Estrichaufbaus mit einer Sanierung der Unterdecke ergeben. Mittels abgehängten Decken bzw. einer freitragenden Unterdecke haben sich hinsichtlich des Trittschallpegels Verbesserungen von 16 dB bis 20 dB bei der Dollendecke (Doppelbaumdecke) und bis zu 36 dB bei einer Holzbalkendecke gezeigt [41].

Der Einsatz eines Fließestrichs als Systemlösung, mit zum Beispiel Heizungsleitungen und geringerer Dicke sowie einer höheren dynamischen Steifigkeit ergab schlechtere Werte, als jene eines Zementestrichs, bei den Messungen des Trittschallpegels [41].

In den untenstehenden Abbildungen wurden verschiedene Decken mit einem Estrichaufbau versehen und es wurden teilweise Änderungen am Einschub vorgenommen. Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass der Ersatz eines Einschubes durch Sekundärträger in den niedrigen anstrebenwerten Frequenzen nur eine Verbesserung von 3 dB bringt. Vergleicht man im Unterschied eine Decke mit Sekundärträgern ohne und mit Estrichaufbau, ist eine Verbesserung des Trittschalls, allein durch den Estrich, in den niedrigen Frequenzen von 10 dB zu erreichen. Es wird ersichtlich, dass es auf die Art der Rohdecke hinsichtlich Masse und Einschub ankommt, welche Trittschallverbesserungen erreicht werden können [41].

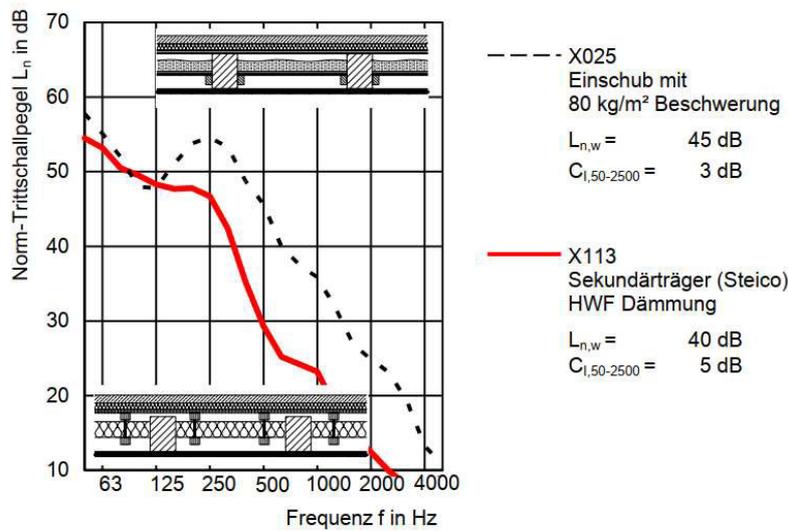


Abbildung 71 Unterschied Trittschallpegel einer Holzbalkendecke mit Einschub und Estrichaufbau und einer Holzbalkendecke mit Sekundärträgern und Estrichaufbau, Estrich 50 mm und Trittschalldämmung $s' = 6$ MN/m³ [41]

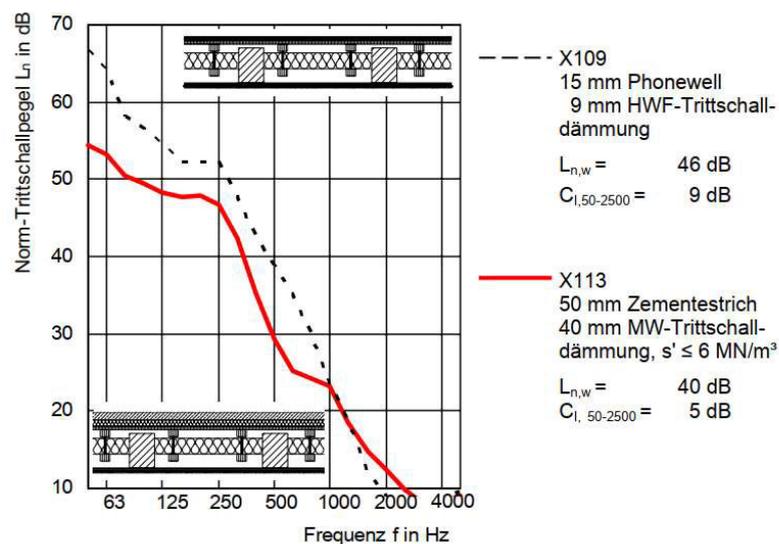


Abbildung 72 Unterschied Trittschallpegel Holzbalkendecke mit Sekundärträgern ohne Estrichaufbau und einer Holzbalkendecke mit Sekundärträgern und Estrichaufbau [41]

7.2.10 Sanierung mit Trockenestrich

Als weitere Variante bei der Verwendung eines Fußbodenaufbaus kommt der Einsatz des Trockenestrichs zur Verwendung. Auch hier wird die Estrichplatte auf eine Trittschalldämmplatte aufgelegt. Zur Anwendung als Estrich kommen zum Beispiel Gipsfaserplatten mit Dicken zwischen 18 mm und 25 mm, OSB-Platten mit einer Dicke von 22 mm, Holzdielen mit einer Dicke von 21 mm oder andere herstellerspezifische Platten. Trittschalldämmplatten können Holzweichfaserplatten, Mineralfaserplatten oder andere sein. Hier werden Dicken von 9 bis 40 mm verwendet. Diverse Kombinationen dieser Bauteile können Bauteilkatalogen oder Forschungsergebnissen [41] entnommen werden. Gut ersichtlich wurde bei Messungen, dass bei Verwendung von Gipsfaserplatten aufgrund der höheren Masse, höhere Trittschallverbesserungen erreicht werden konnten. Gleiches gilt für Trittschalldämmplatten mit geringer dynamischer Steifigkeit. Durch diverse Aufbautenänderungen diesbezüglich, konnten Verbesserungen des Trittschallpegels von 7 dB bis 10 dB erreicht werden [41].

In Abbildung 73 ist eine Vergleichsmessung von einer Trockenestrichauflage zu einer Zementestrichauflage zu sehen. Bei Betrachtung im niederfrequenten Bereich ist die Einschubdecke mit Zementestrich besser zu werten als die Decke mit Trockenestrichaufbau.

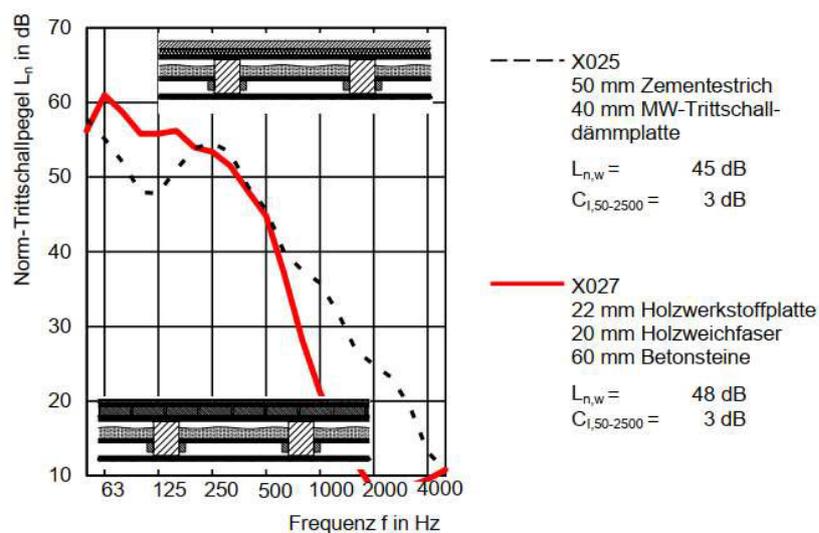


Abbildung 73 Beispiel unterschied Trittschalpegel einer Holzbalkendecke mit Zementestrich und einer Holzbalkendecke mit Trockenestrich [41]

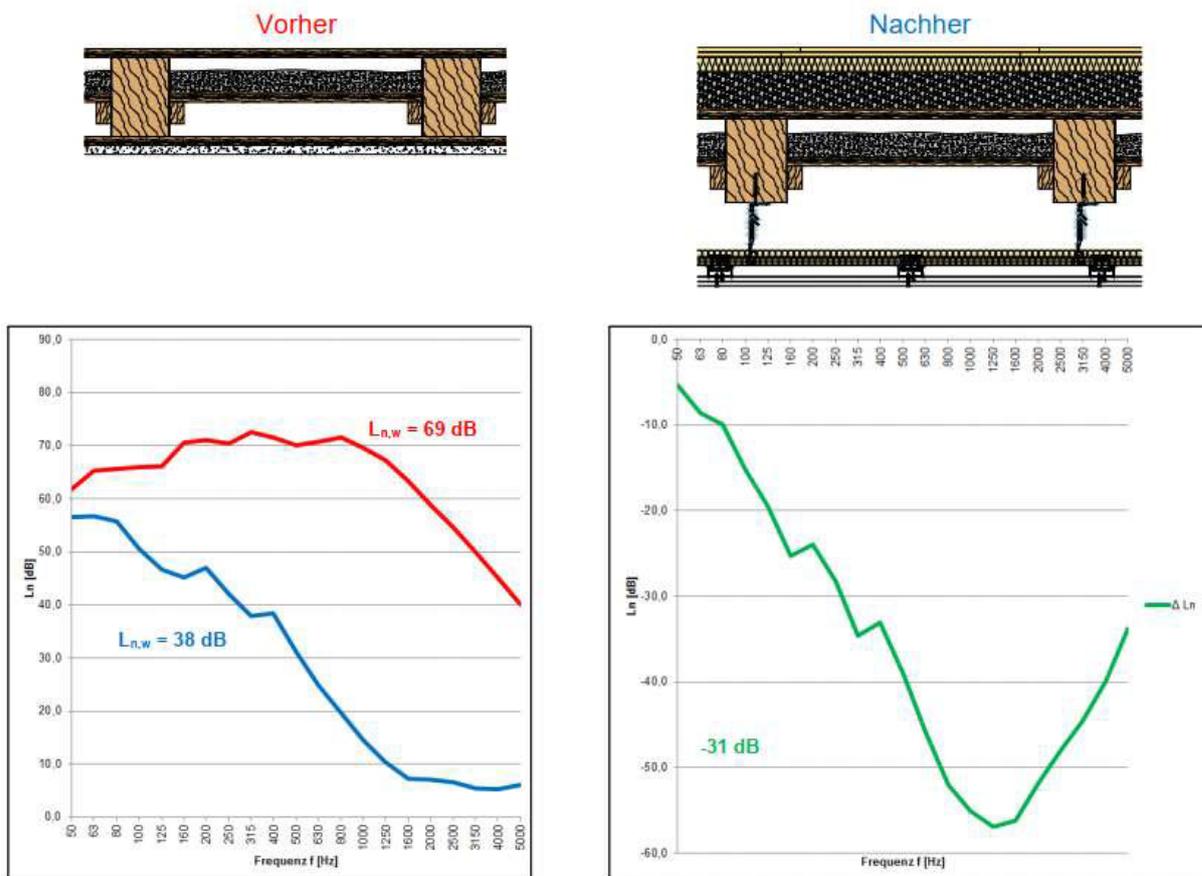


Abbildung 74 Beispiel einer kombinierten Sanierung mit Estrichaufbau und Abhängung, Verbesserung des Trittschallpegels um 31 dB [4]

Im Falle des obigen Beispiels ist eine Verbesserung des Trittschallpegels von 31 dB mittels einer abgehängten Decke, einer Schüttung und einem Trockenestrichaufbaus möglich. So erzielt man deutliche Verbesserungen, ohne eine zusätzliche Masse durch Zementestrich auf der Decke aufzubringen. Untersuchungen ergaben für eine Holzbalkenaltbaudecke mit einem solchen Deckenaufbau (100 mm Ausgleichsschüttung und Mineralwolle kaschierten Estrichelementen von Rigudur) und einer Abhängung (2 Lagen Rigips 12,5 mm und 40mm Isover Akustik TF twin) die besten Schallschutzwerte. Es konnte dabei ein bewerteter Norm-Trittschallpegel von 36 dB und ein bewertetes Schalldämm-Maß von 78 dB erreicht werden [4].

7.2.11 Sanierung mit Estrichen direkt auf den Balken

Wie in Punkt 7.2.4 beschrieben, werden Holzbalkendecken aufgrund von starken Unebenheiten im Boden wie die Durchbiegung der Träger gerne mit Holzlaschen aufgedoppelt. Hierbei ist es bezüglich des Trittschalls besser den Hohlraum bis zur Oberkante der Laschen zu füllen und den Estrich direkt auf der Füllung zu versetzen. Hierbei ist zu beachten, dass der Einschub der Decke tragend wird (siehe Abbildung 75). Der Vorteil dieser Sanierungsvariante ist, dass die alte Schüttung des Blindbodens weiterhin verwendet werden kann. Messungen zeigten bei Verwendung von schwimmenden Estrichen sehr gute schallverbessernde Werte. Weiters besteht die

Möglichkeit der Verwendung eines Blechprofils in Form einer Wanne (siehe Abbildung 76), in welches der Estrich eingebracht werden kann. Dieses Blechprofil wird auf Elastomeren direkt auf den Balken gelagert. In Kombination mit einer abgehängten Decke führt dies ebenso zu guten schallverbessernden Eigenschaften [41].

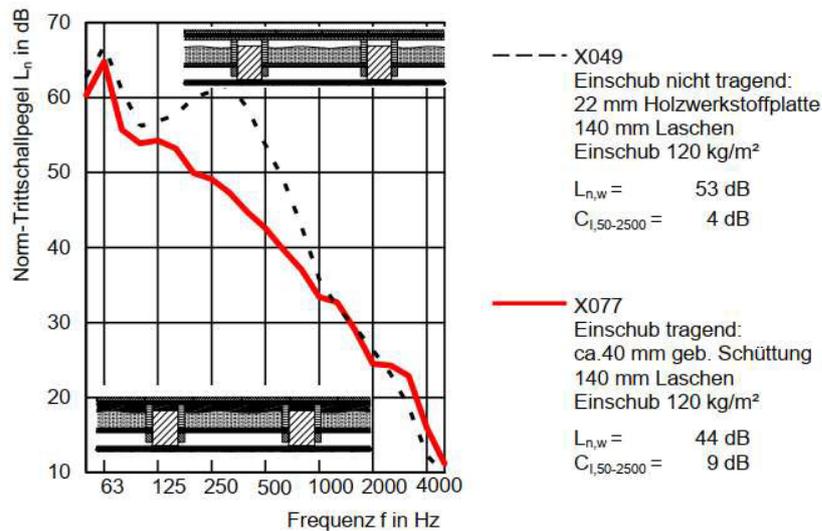


Abbildung 75 Vergleich einer Holzbalkendecke mit einer Aufdopplung durch Laschen bei tragendem und nicht tragendem Einschub

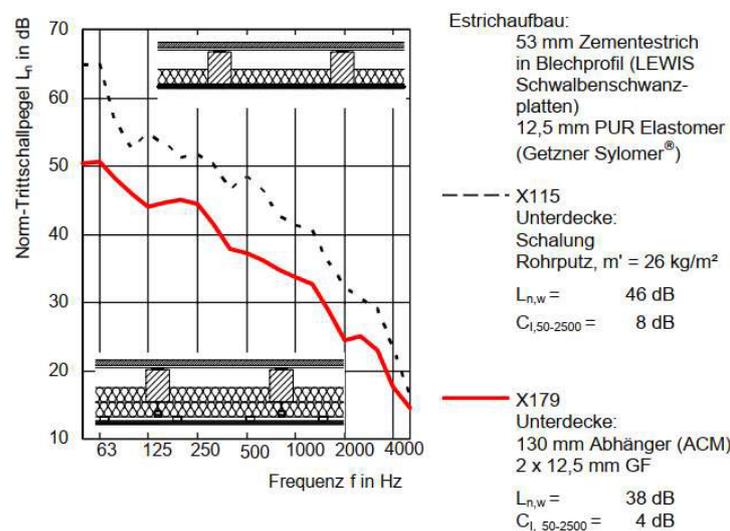


Abbildung 76 Estrich in Blechprofil auf Elastomerlagern direkt auf den Balken, einmal mit Putz und einmal mit abgehängter Decke [41]

7.2.12 Aufbringung einer zusätzlichen Rohdeckenbeschwerung

Wie in Kapitel 3.3.2 genannt ist eine beliebte und einfache Methode zur Verbesserung des Schallschutzes neben dem Estrichaufbau und einer Abhängung die Aufbringung einer Beschwerung auf die Rohdecke in Form von ungebundenen oder gebundenen Schüttungen. Die Verwendung einer Schüttung bewirkt eine Erhöhung der Masse und somit eine Verbesserung des Trittschallpegels. Die Form der ungebundenen Schüttung wird dabei schon seit Jahrzehnten verwendet. Die in der ÖNORM B 8115-4 [7] beispielhaft dargestellte T-Stoßstelle beinhaltet eine solche Form der ungebundenen Schüttung [44].

Als allerdings im Jahr 2004 eine neue Werkvertragsnorm für Estricharbeiten, die ÖNORM B 2232 [45], erschienen ist, wurde als Ausgleichsschicht eine gebundene Schüttung verlangt. Diese sollte eine ebene erhärtete Oberfläche für die Aufbringung von Dämmplatten darstellen [44].

Messergebnisse ergaben allerdings, dass die Verwendung von gebundenen plattenartigen Schüttungen zu einer Reduktion des Trittschallschutzes führen, siehe dazu untenstehende Abbildung in welcher ersichtlich ist, dass im Falle der Verwendung einer ungebundenen Schüttung der Standard-Trittschallpegel rund 6 bis 9 dB geringer, demnach besser als bei einer gebundenen Schüttung ist [44].

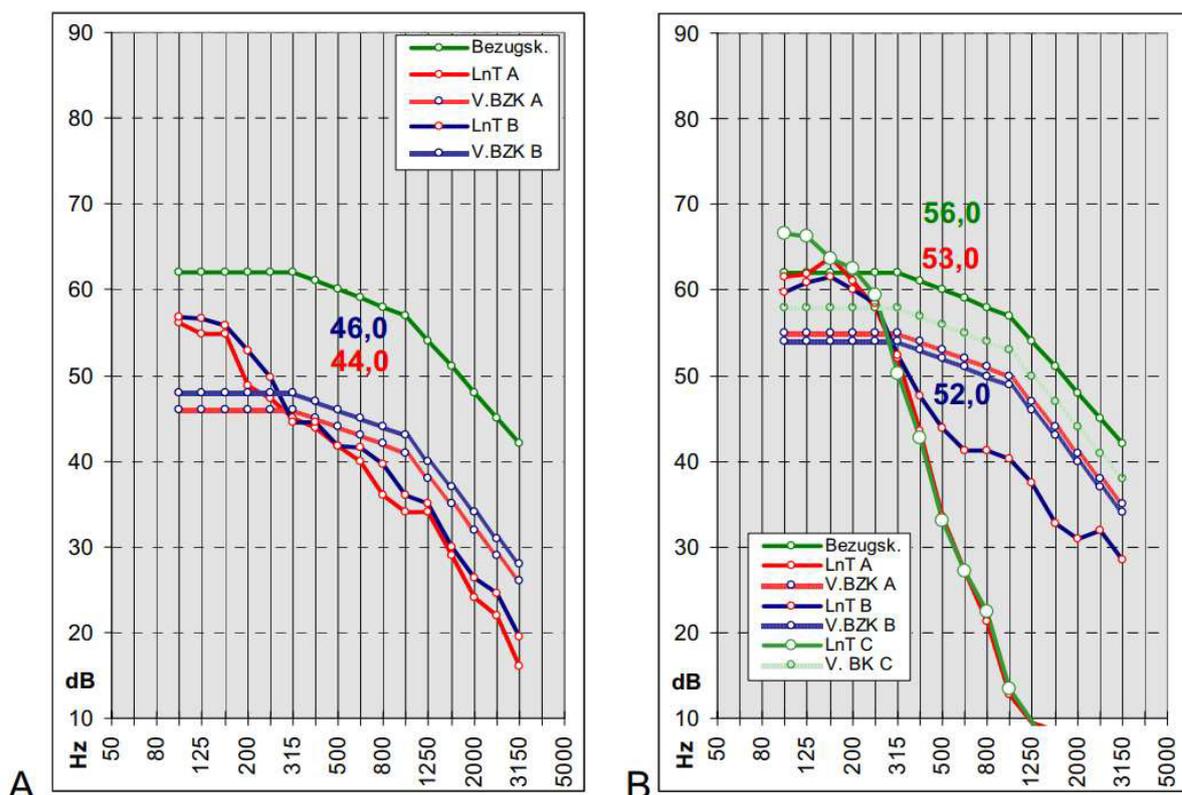


Abbildung 77 Vergleich von Messwerten des Standard-Trittschallpegels bei A: ungebundener und B: gebundener Schüttung auf der Rohdecke [44]

Ist eine gebundene Schüttung nicht zu vermeiden, können trotzdem Trittschallverbesserungen erreicht werden, wenn darunter eine Trittschalldämmplatte mit niedriger Zusammendrückbarkeit und geringer dynamischer Steifigkeit verlegt wird [44].

7.2.13 Veränderung des Abstandes der Abhängung

Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung des Trittschallschutzes ist die Vergrößerung des Abstandes der Abhänger. Im folgenden Beispiel wurden schallentkoppelnde U-Direktabhänger verwendet. Bei einer Vergrößerung des Abstandes von 400 mm x 625 mm (kleiner Abstand) auf 1000 mm x 1250 mm (großer Abstand), was bedeutet, dass nur mehr eine Befestigung an jedem zweiten Balken stattfindet, zeigen sich im Luftschallschutz zwar kaum Verbesserungen, im Trittschallschutz jedoch bis zu 4 dB. Eine besondere Verbesserung findet dabei im tiefen Frequenzbereich statt. Umso bedeutender ist diese Maßnahme hinsichtlich der Verbesserung des störenden Gehgeräusches zu sehen [4].

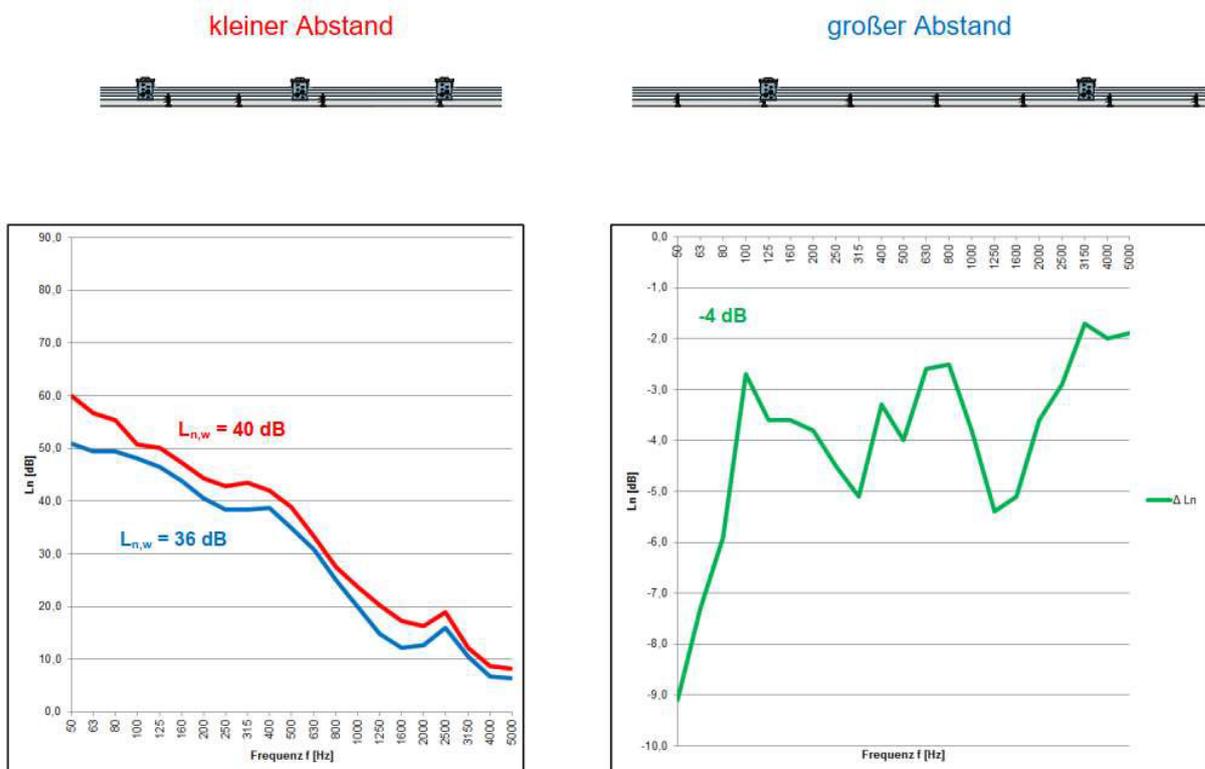


Abbildung 78 Verbesserung des Trittschallpegels bei Veränderung der Abhängabstände [4]

7.2.14 Unterschied bei Änderung der Lagenanzahl der Beplankung

Zusammenhängend mit der Erhöhung der Masse der angehängten Decke, bringt die Erhöhung der Anzahl der beplankungslagen weitere Verbesserungen im Schallschutz. In untenstehender Grafik wurden Abhängungen mit ein bis drei Beplankungslagen untersucht. Erkennlich wird dabei, dass die höchste Verbesserung des Schallschutzes zwischen der ersten und der zweiten Schicht stattfindet [4].

Eine Erhöhung der Anzahl der Lagen auf 4 erscheint eher unwirtschaftlich. Zwei Lagen Beplankungen sind einerseits wirtschaftlich und hinsichtlich der Verbesserung des Schallschutzes ausreichend [4].

Bei der Verwendung von 3 Lagern kann eine Trittschallpegel Verbesserung von bis zu 8 dB erreicht werden [4].

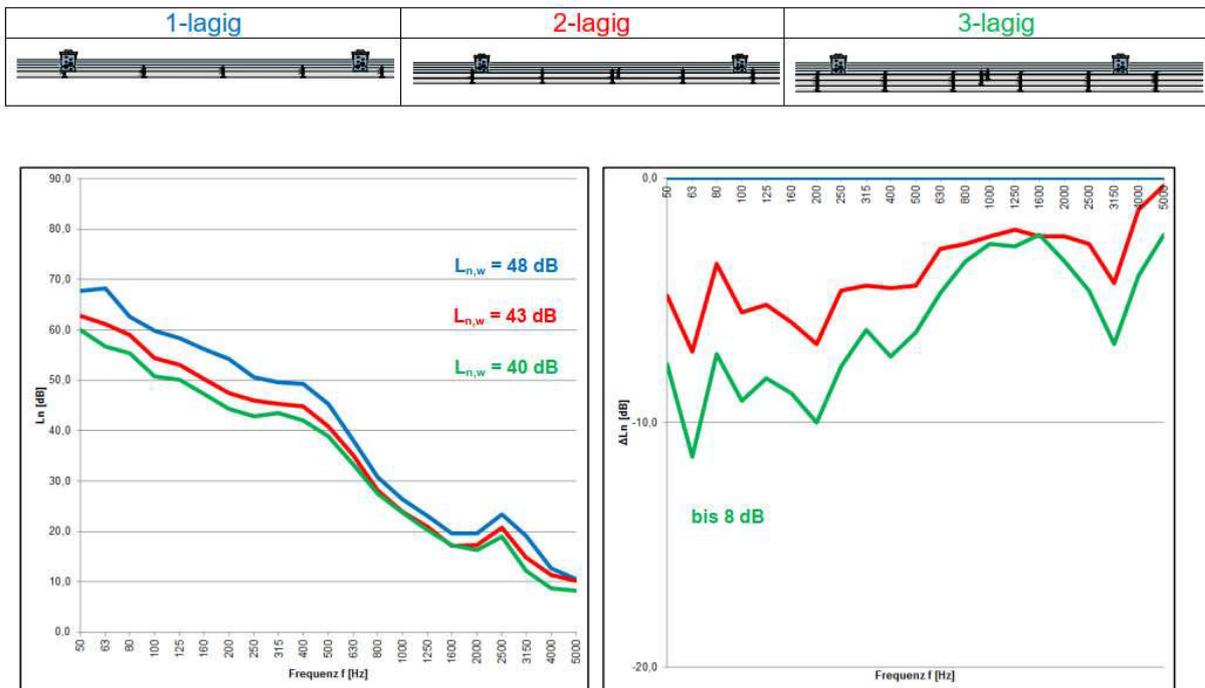


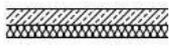
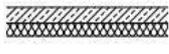
Abbildung 79 Trittschallverbesserung bei der Verwendung von unterschiedlich vielen Beplankungslagen [4]

7.3 Prognoseverfahren für die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ im Altbau

7.3.1 Prognosewerte für die Trittschallminderung durch Estrichaufbauten an Holzbalkendecken und Massivholzdecken im Altbau

Für Werte der Trittschallminderung durch Estrichaufbauten wird zwischen Holzbauten bzw. Leichtbauten und Massivbauten unterschieden, dies zeigt sich auch bei den unterschiedlichen Werten der Ergebnisse.

Die Angabe der Verbesserung durch Deckenaufbauten in Form von Estrichaufbauten mit einer Trittschalldämmung erfolgt auch im Altbau mit der bewerteten Trittschallminderung ΔL_w für den Massivbau und mit $\Delta L_{w,t}$ und $\Delta L_{w,H}$ für den Holzbau (siehe Tabelle 9) [41].

Estrichaufbau		Literatur $\Delta L_{w,H}$ [4],	Messung auf Holz- balkendecke, $\Delta L_{t1,w}$ ¹⁾
50 Zementestrich 40 Trittschalldämmplatte $s' = 6 \text{ MN/m}^3$		21 dB	18 dB
28 Zementestrich 25 Trittschalldämmplatte $s' = 15 \text{ MN/m}^3$		17 dB	15 dB
20 Gipsfaser 10 Holzweichfaser		ca. 8 dB	8 dB
20 Gipsfaser 20 Holzweichfaser $s' = 30 \text{ MN/m}^3$		ca. 9 dB	11 dB
22 Holzwerkstoffplatte 20 Holzweichfaser $s' = 30 \text{ MN/m}^3$		ca. 6 dB	7 dB

¹⁾ $\Delta L_{t1,w}$ aus Messung in Anlehnung an DIN EN ISO 140-11

Tabelle 9 Trittschallminderungen durch Estrichaufbauten für Holzbalkendecken [41]

Vergleicht man die Werte aus den gemessenen Aufbauten mit den prognostizierten Werten aus der Literatur in obiger Tabelle, zeigt sich eine gute Anwendbarkeit des Prüfmodells für die Prognose der Trittschalleigenschaften von Holzbalkendecken im Altbau [41].

Für Prognosewerte der bewerteten Trittschallminderung von Estrichaufbauten im Bereich des Holzmassivbaus kommen die Werte gemäß ÖNORM EN 12354-2 [18] zur Anwendung, welche in Tabelle 10 abgebildet sind.

Die Werte können Anhand von Formeln je nach Art des Estrichs gemäß ÖNORM EN 12354-2 [18] ermittelt werden, für welche die Masse des Estrichs und die dynamische Steifigkeit der Dämmung benötigt werden.

Für schwimmende Estriche aus Zement oder Calciumsulfat:

$$\Delta L_w = (13 * \lg(m')) - (14,2 * \lg(s')) + 20,8 \text{ [dB]}$$

Formel 35 Berechnung der bewerteten Trittschallminderung durch Zement-oder Calciumsulfatestriche [18]

Für schwimmend verlegte Gussasphaltestriche oder schwimmende Trockenestriche:

$$\Delta L_w = ((-0,21 * m') - 5,45) * \lg(s') + (0,46 * m') + 23,8 \text{ [dB]}$$

Formel 36 Berechnung der bewerteten Trittschallminderung durch Gussasphaltestriche oder Trockenestriche [18]

Sollten mehrere verschiedenen Dämmstoffe zur Ausführung kommen ist die dynamische Gesamtsteifigkeit zu berechnen:

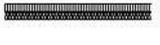
$$s'_{tot} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{s'_i} \right)^{-1}$$

Formel 37 Berechnung der dynamischen Gesamtsteifigkeit

mit:

m' flächenbezogene Masse der Estrichplatte [kg/m²]

s' dynamische Steifigkeit der Dämmschicht [MN/m³]

Skizze	Aufbau	Bewertete Trittschallminderung ΔL_w
	50 mm Zementestrich 40 mm Trittschalldämmplatte aus Mineralfaser, $s' = 6^{1)}$ MN/m ³	$\Delta L_w = 36$ dB
	50 mm Zementestrich 20 mm Trittschalldämmplatte aus elastifiziertem Polystyrol, $s' = 20^{1)}$ MN/m ³	$\Delta L_w = 28$ dB
	20 mm Gipsfaser Trockenestrich (Fermacell) mit Holzweichfaser Trittschalldämmplatte	$\Delta L_w = 17$ dB
	25 mm Gipsfaser Trockenestrich (Fermacell) Holzweichfaser Trittschalldämmplatte (Gutex Thermofloor) $s' = 30^{1)}$ MN/m ³	$\Delta L_w = 19$ dB
	22 mm Holzwerkstoff Trockenestrich OSB mit N+F 20 mm Holzweichfaser Trittschalldämmplatte (Gutex Thermofloor) $s' = 30^{1)}$ MN/m ³	$\Delta L_w = 17$ dB

¹⁾ Herstellerangabe

Tabelle 10 Trittschallminderung von Estrichaufbauten für Massivholzdecken [41]

7.3.2 Prognoseverfahren für Holzbalkendecken

Aufgrund der vielen verschiedenen Konstruktionsvarianten im Altbau, ist es sehr schwierig einfache Prognosemodelle zu verwenden. Um allerdings Prognosewerte für diverse Estrichaufbauten und Unterdecken bei Holzbalkendecken zu erhalten, wurden in diversen Forschungen [41] die Messungen an der Rohdecke inklusive eines Estrichaufbaus gemessen und selbige Rohdecke ohne Estrichaufbau. Dasselbe gilt für andere konstruktive schalltechnische Verbesserungen an Holzbalkendecken. Die Ergebnisse können nicht nur frequenzunabhängig, sondern für die Trittschallminderung ΔL auch als Einzahlangabe für jeden Bauteil ermittelt werden. Nach Abzug der Trittschallminderung kann der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ und der dazugehörige Spektrumanpassungswert durch eine Bewertung der EN ISO 717-2 ermittelt werden [41].

Die bewertete Trittschallminderung $\Delta L_{t,w}$ für Holzbalkendecken, sowie die Trittschallminderung der Rohdecke $L_{n,w,eq,t}$ können in Anlehnung an die EN ISO 717-2 [19] sowie in Österreich speziell für Holzbalkendecken in Anlehnung an das Beiblatt 1 der ÖNORM B8115-1 [46] ermittelt werden. [41, 46] Vereinfacht kann dies mit folgender Formel berechnet werden [41]:

$$L_{n,w,eq,t} = L_{n,w} + \Delta L_{t,w} [dB]$$

Formel 38 vereinfachte Prognoseberechnung des äquivalenten Norm-Trittschallpegels für eine Rohdecke der Gruppe B [41]

mit:

- $L_{n,w,eq,t}$ äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel der Altbau-Rohdecke [Hz]
- $L_{n,w}$ bewertete Norm-Trittschallpegel der gesamten Decke mit Estrichaufbau [Hz]
- $\Delta L_{t,w}$ bewertete Trittschallminderung durch den Aufbau [Hz]

Werte für Trittschallminderungen durch verschiedene Estrichaufbauten können der Tabelle 10 entnommen werden.

Da zusätzlich, wie in Kapitel 7.2.1 die Masse des Einschubes in einer Holzbalkendecke stark variieren kann, wurden Messungen mit verschiedenen Massen in einer Decke vorgenommen (siehe Abbildung 80) [41].

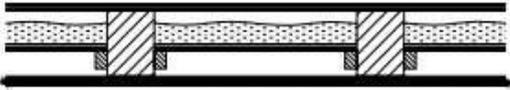
Skizze	Variable	Differenz des bewerteten Norm-Trittschallpegels $\Delta L_{n,w}$
 <p>24 mm Dielen 220 mm Balken mit Einschub, $m' = x \text{ kg/m}^2$ 18 mm Deckenschalung sägerau 15 mm Schilfrohmatten mit Lehmputz, $m' = x \text{ kg/m}^2$</p>	Auffüllung im Einschub:	
	$m' = 0 \text{ kg/m}^2$	$\Delta L_{n,w} = 4 \text{ dB}$
	$m' = 20 \text{ kg/m}^2$	$\Delta L_{n,w} = 2 \text{ dB}$
	$m' = 80 \text{ kg/m}^2$	$\Delta L_{n,w} = 0 \text{ dB}$
	$m' = 120 \text{ kg/m}^2$	$\Delta L_{n,w} = -1 \text{ dB}$
	Schilfrohmatten mit Lehmputz:	
$m' = 15 \text{ kg/m}^2$	$\Delta L_{n,w} = 2 \text{ dB}$	
$m' = 26 \text{ kg/m}^2$	$\Delta L_{n,w} = 0 \text{ dB}$	

Abbildung 80 Differenzen des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Masse im Einschub und der Masse des Unterputzes [41]

Eine einfache beispielhafte Prognoseberechnung zur Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels einer Holzbalkendecke im Altbau wird in Kapitel 7.6 dargestellt. Dem Anhang 2 kann das dazugehörige Excel-Prognoseberechnungsblatt entnommen werden. Weiters können diverse Prognosebeispiele des ift Rosenheim [41] entnommen werden.

7.3.3 Prognoseverfahren für Massivholzdecken bzw. einschalige Holzdecken

Für die Bewertung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels von einschaligen bzw. massiven Rohdecken im Altbau, kommt das Verfahren nach ÖNORM EN 12354-2 [18] für homogene Deckenkonstruktionen zur Anwendung. Hierbei errechnet sich der Trittschallpegel anhand der Masse der Rohdecke mittels untenstehender Formel. Die ÖNORM B 8115-7 [47] stellt ebenfalls einen Norm-Trittschallpegel einer Bezugs-Massivholzdecke dar. Auch kann ein Wert für eine Brettstapeldecke dem Beiblatt 1 der ÖNORM 8115-1 [46] entnommen werden. Die Werte für die Trittschallminderung durch einen Estrichaufbau ergeben sich ebenfalls in Anlehnung an die ÖNORM EN 12354-2 [18], siehe dazu Tabelle 10 [41].

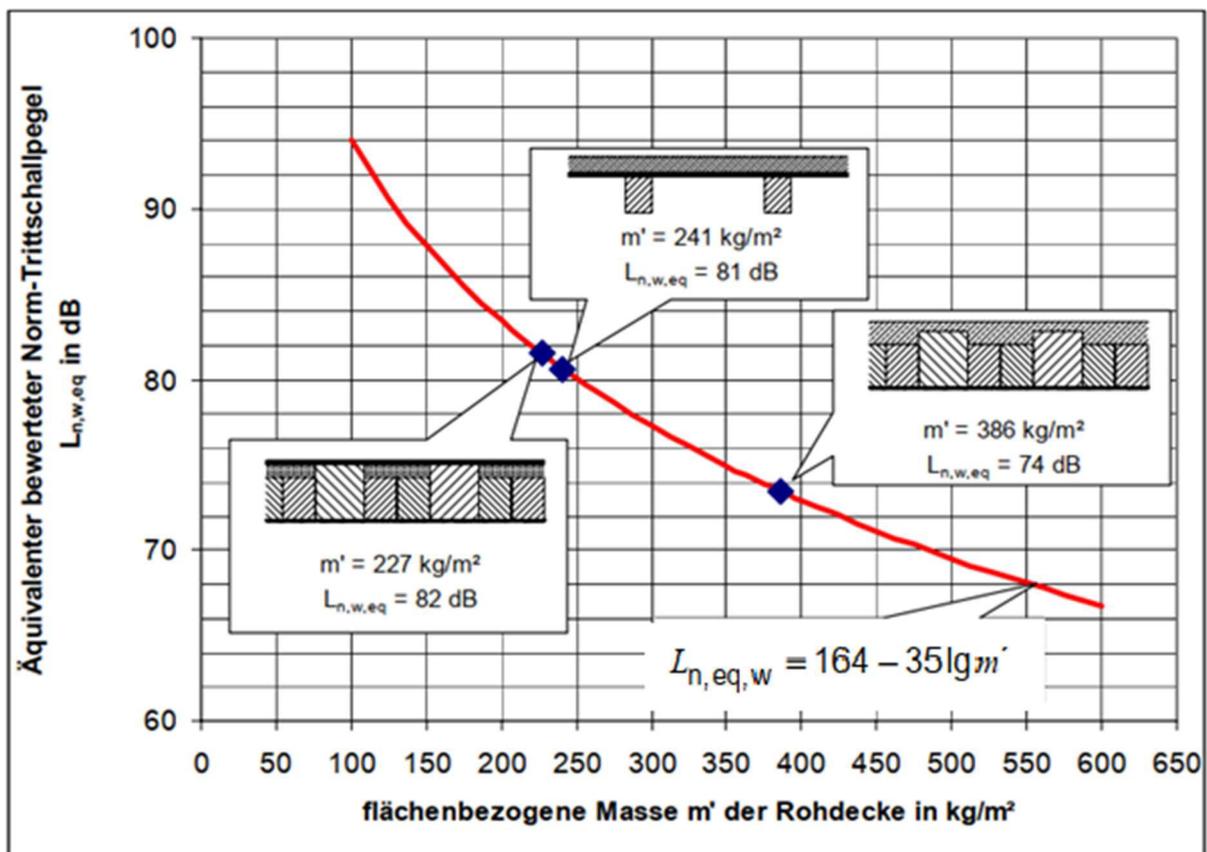


Abbildung 81 Berechnung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels von Massivholzdecken im Altbau [41]

In obiger Abbildung findet sich die Formel zur Berechnung von Massivholzdecken im Altbau. Beispielhaft dargestellt sind drei verschiedene Massivholzdecken mit verschiedenen

Massen und einem sich dadurch ergebenden äquivalenten Norm-Trittschallpegel der Altbaudecke.

7.3.4 Berücksichtigung der Flankenübertragung im Altbau

Um entsprechende Prognosen des Schallschutzes bei Holzdecken im Altbau zu treffen, ist wie im Neubau (siehe Kapitel 5 und 6) die Flankenübertragung in der Bausituation bei Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Im Altbau liegt dabei der Fokus auf die Flankenübertragung bei massiven Wänden mit Einbindung der Decke in diese. Das Verfahren zur Berechnung von Luft-und Trittschall in der Bausituation gleicht dabei dem vereinfachten Verfahren gemäß EN 12354 [17, 18]. So können Einzahlkennwerte für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w mit Formel 14 und 15 in Pkt. 5.1.2 berechnet werden [42].

Der bewertete Norm-Trittschallpegel in der Bausituation $L'_{n,w}$ errechnet sich für Holzdecken im Altbau mit folgender Gleichung:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_A \text{ [dB]}$$

Formel 39 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels in der Bausituation im Altbau [42]

mit:

$L'_{n,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel in der Bausituation [dB]
$L_{n,w}$	bewerteter Norm Trittschallpegel der Decke [dB]
K_A	Korrektursummand für massive Wände im Altbau [dB]

Die Wege der Flankenübertragung sind jene in Kapitel 5.1.1 für den Luftschall und in Kapitel 5.1.2 für den Trittschall (siehe Kapitel 4). Labormessungen bei Wänden mit einer flächenbezogenen Masse zwischen 130 kg/m^2 und 400 kg/m^2 , bei denen sowohl für den Luftschall als auch für den Trittschall die Flankenübertragungen sowie das Stoßstellendämm-Maß und die Körperschallnachhallzeit ermittelt wurden, ergaben das bei Holzdecken im Altbau der Flankenweg F_f überwiegt (siehe Abbildung 82) [42].

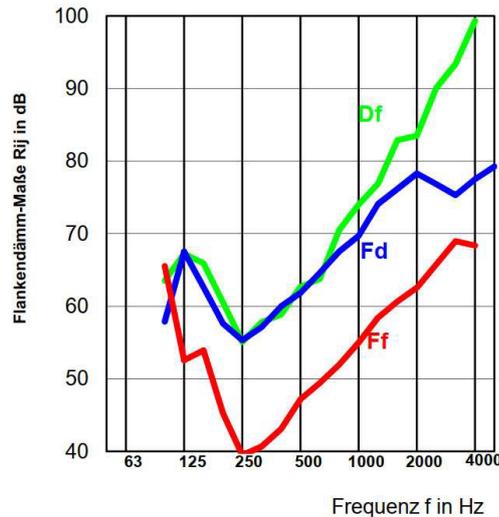


Abbildung 82 Flankenschalldämm-Maße bei einer massiven Mauerwerkswand (130kg/m²) gemessen bei einem T-Stoß [42]

Bei der Trittschallübertragung wurde, wie in Kapitel 5.2.1 erwähnt, der zusätzliche Übertragungsweg über den Randdämmstreifen des Estrichs miteinbezogen. Messungen ergaben allerdings, dass dieser nur bei hochwertigen Decken mit einem neuen Fußbodenaufbau und Wänden mit geringer flächenbezogener Masse eine Rolle spielt. Der Übertragungsweg Df hängt stark von der Art und dem Aufbau der Holzdecke ab. Bei Holzdecken mit abgehängter Unterdecke, reduziert sich zwar der Wert von Dd, jedoch spielt der Wert von Df eine große Rolle. Dies hängt mit der Einleitung des Körperschalls in die flankierende Wand zusammen. Wird die Decke von beiden Seiten saniert, reduzieren sich beide Übertragungswege, da der Körperschall über den Weg Df durch den besseren Bodenaufbau reduziert wird [42].

Nachdem die gemischten Übertragungswege beim Luftschall vernachlässigt werden können, errechnet sich das Flankendämm-Maß gemäß Kapitel 5.1.2 unter der Verwendung der Norm-Flankenpegeldifferenz (siehe Tabelle 11) und unter Berücksichtigung der Geometrie des Raumes in der Bausituation [42].

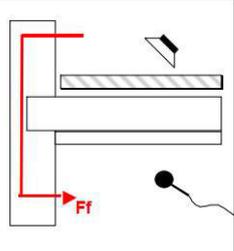
	Flächenbezogene Masse der flankierenden Wände in kg/m ²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	≥ 500
$D_{n,f,w}$ in dB	49	53	56	58	60	61	63	64	65

Tabelle 11 Ermittlung der Norm-Flankenpegeldifferenz in Abhängigkeit der Masse der flankierenden Wände [42]

Die Berechnung des Norm-Trittschallpegels unter Berücksichtigung der Flanken (Bausituation), erfolgt grundsätzlich gemäß Formel 39 mit Verwendung des Korrekturwertes K_A , welcher den Weg D_f berücksichtigt. Der Korrekturwert K_A ist von der Art der Wand und der Deckenkonstruktion abhängig und kann für einige Altbaudeckenkonstruktionen und Wänden verschiedener flächenbezogener Masse Tabelle 12 entnommen werden. Haben nicht beide Wände, in welche die Deckenbalken einbinden, die gleiche Masse, wird diese gemittelt [42].

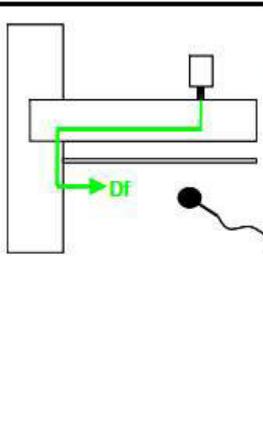
		Rohdeckenaufbau				
		Balken teilweise sichtbar oder Unterdecke direkt montiert		Decke mit entkoppeltem Sekundärträger	Unterdecke abgehängt	
		Bestandsdecke vor Sanierung	mit Sanierungsmaßnahmen	Eigenfrequenz Auflager $f_0 \leq 80$ Hz	Unterdecke zusätzlich zum Bestand	Bestandsunterdecke entfernt
		1	2	3	4	5
Flächenbezogene Masse der flankierenden Wände	100 kg/m ²	0	1	3	8	13
	150 kg/m ²	0	1	3	7	12
	200 kg/m ²	0	1	2	6	10
	250 kg/m ²	0	1	2	5	9
	300 kg/m ²	0	1	2	4	8
	350 kg/m ²	0	1	1	3	6
	400 kg/m ²	0	1	1	2	5
	450 kg/m ²	0	1	1	2	4
	≥ 500 kg/m ²	0	1	1	1	3

Tabelle 12 Ermittlung des Korrekturwertes K_A [42]

Bei Konstruktionen mit flankierenden Wänden geringer flächenbezogener Masse, kann der Übertragungsweg über den Estrichrandstreifen eine Rolle spielen und ist miteinzubeziehen. Der bewertete Norm-Trittschallpegel kann dann wie folgt berechnet werden [42]:

$$L'_{n,w} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{n,w} + K_A}{10}} + \sum 10^{\frac{L_{n,DFf,w} + 10 \log \left(\frac{l_{Ff} \cdot S_0}{l_0 \cdot S_{Tr}} \right)}{10}} \right) [dB]$$

Formel 40 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels im Bau bei flankierenden Wänden mit geringer flächenbezogener Masse [42]

mit:

- $L'_{n,w}$ bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau [dB]
- $L_{n,w}$ bewerteter Norm-Trittschallpegel der Decke [dB]
- K_A Korrekturwert für flankierende massive Wände [dB]
- $L_{n,DFf,w}$ bewerteter Norm-Trittschallpegel der Flanke DFf [dB]
- l_{Ff} Kantenlänge Decke-Wand [m]
- l_0 Bezugskantenlänge [m]
- S_0 Bezugsfläche [m²]
- S_{Tr} Trennfläche [m²]

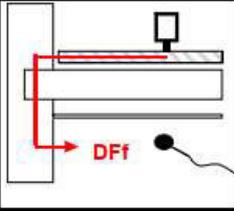
	Flächenbezogene Masse der flankierenden Wände in kg/m ²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	≥ 500
$L_{n,DFf,w}$ in dB	43	40	38	36	35	33	32	31	31

Tabelle 13 Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels für die Übertragung über die Flanke DFf bei Wänden mit geringer flächenbezogener Masse [42]

Untersuchungsergebnisse [42] an historischen Altbauholzdecken, haben gezeigt, dass die Flanken bei der Berechnung des Luftschalls, im Gegensatz zum Trittschall, einen weitaus größeren Unterschied spielen. Daher erscheint es als sinnvoll, eine Vorsatzschale an den Wänden herzustellen um den Anforderungen an den Luftschall genüge zu sein. Eine derartige Verbesserung kann auf die bewertete Flankenschallpegeldifferenz aufsummiert werden [42].

$$D_{n,f,w,VS} = D_{n,f,w} + \Delta R_w [dB]$$

Formel 41 Verbesserung des Flankenschallpegels durch eine Vorsatzschale [42]

mit:

$D_{n,f,w,VS}$ Verbesserter bewerteter Norm-Flankenschallpegel durch eine Vorsatzschale an der flankierenden Wand [dB]

$D_{n,f,w}$ bewerteter Norm-Flankenschallpegel [dB]

ΔR_w bewertetes Schalldämm-Maß der Vorsatzschale [dB]

Beim Prognosemodell für sanierte Altbauholzdecken mit massiven flankierenden Wänden ist eine Standardabweichung der berechneten Ergebnisse im Gegensatz zu gemessenen Ergebnissen von etwa 2 dB für den Luftschall und 3 dB für den Trittschall zu erwarten (siehe Abbildung 83) [42].

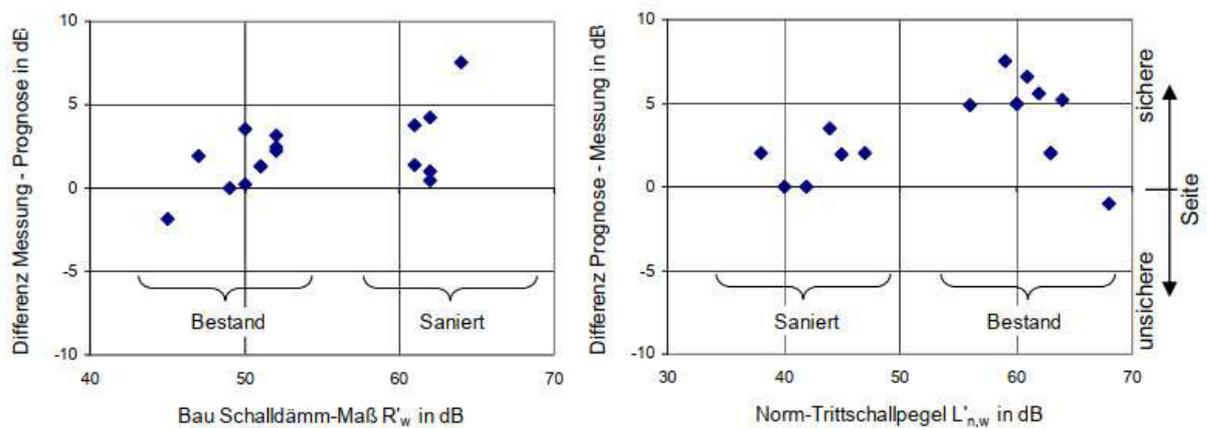


Abbildung 83 Unterschiede bzw. Abweichungen von Messung zu Berechnung bei Luft- und Trittschall [42]

7.4 Unsicherheiten zwischen Prognoseberechnung und Messung

Bei der Berechnung von Trittschallpegeln im Neubau, sind Unsicherheiten zwischen dem Prognoseverfahren und den Messungen vorhanden. Das ift Rosenheim hat hierzu stichprobenartige Vergleichsmessungen vorgenommen, welche zeigen, dass ebenso wie bei den Rechenverfahren für den Neubau, Unsicherheiten bzw. Standardabweichungen von 2 dB bis 4 dB bestehen (siehe Abbildung 84). Zu beachten ist dabei, dass alle Messungen ohne den Einfluss der Flankenübertragungen im eingebauten Zustand zu verstehen sind [41].

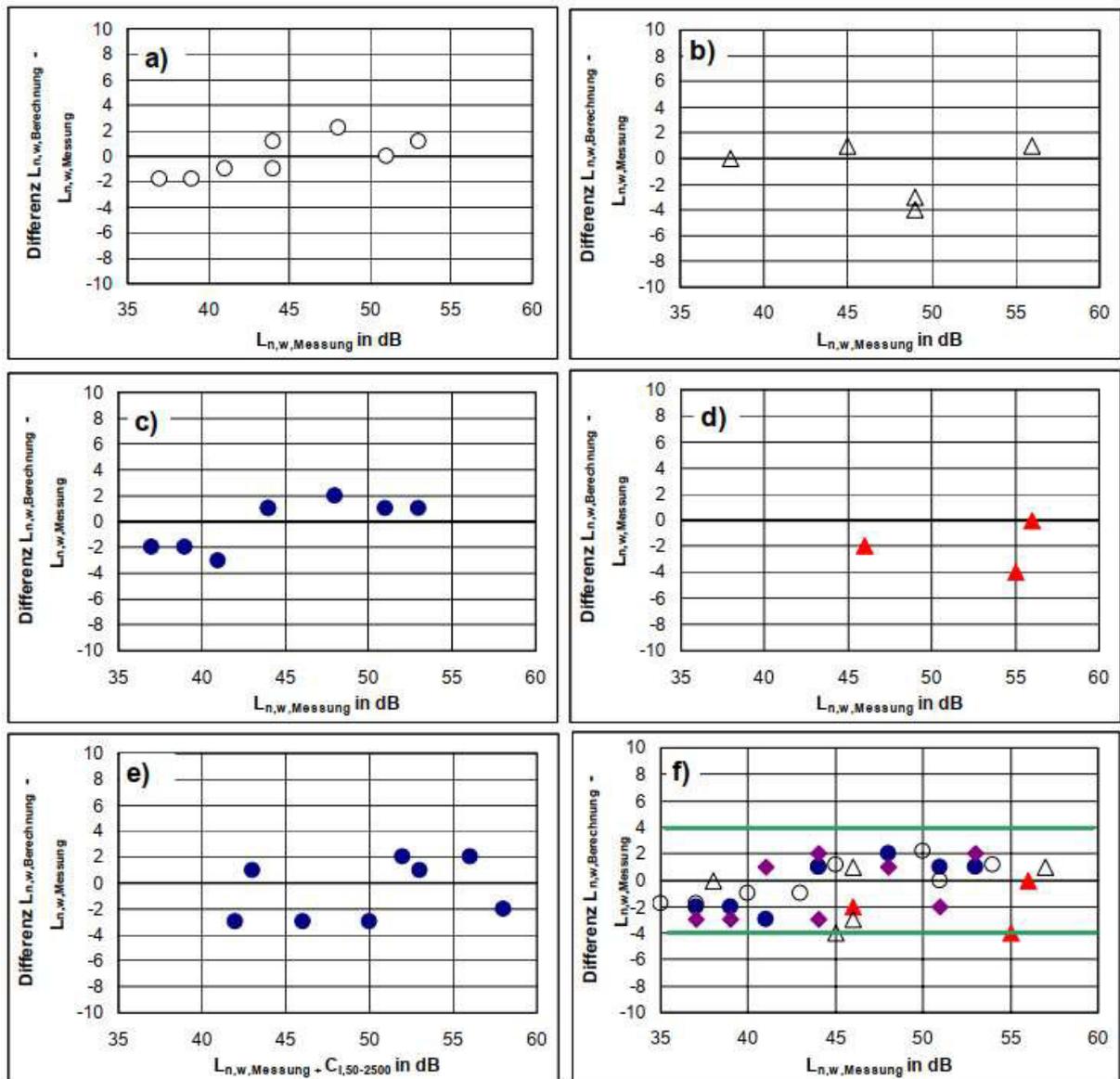


Abbildung 84 Standardabweichungen bzw. Differenzen zwischen der Messung und der Prognoseberechnung von Holzbalkendecken [41]

mit:

- a.) Berechnung von Einzahlangaben bei Holzbalkendecken ($\sigma = 1,5$)
- b.) Berechnung von Einzahlangaben von einschaligen-bzw. massiven Decken ($\sigma = 2,3$)
- c.) Berechnung von Holzbalkendecken, frequenzabhängig ($\sigma = 1,9$)
- d.) Berechnung von einschaligen-bzw. massiven Decken, frequenzabhängig ($\sigma = 2,0$)
- e.) Berechnung von Holzbalkendecken und einschaligen Decken inklusive der Spektrumanpassung ($\sigma = 2,3$)
- f.) Zusammenfassung aller Berechnungen ($\sigma = 1,9$)

7.5 Übersicht der Trittschallverbesserungsmaßnahmen im Altbau

In den folgenden zwei Abbildungen sind in Form eines Organigramms verschiedene Sanierungsmöglichkeiten mit der Einzahlangabe der Trittschallverbesserung angegeben. Die Organigramme entstammen zwei verschiedenen Forschungsergebnissen [4, 42] wobei in Abbildung 85 auch Sanierungsmaßnahme für Massivholzdecken zusammengefasst sind. In Abbildung 86 sind mehr Sanierungsmaßnahmen gegenüber Abbildung 85 für eine Holzbalkendecke im Altbau zu sehen. Anhand beider Abbildungen kann ein grober Überblick über mögliche Sanierungsverfahren und derer trittschallverbessernden Wirkung geschaffen werden.

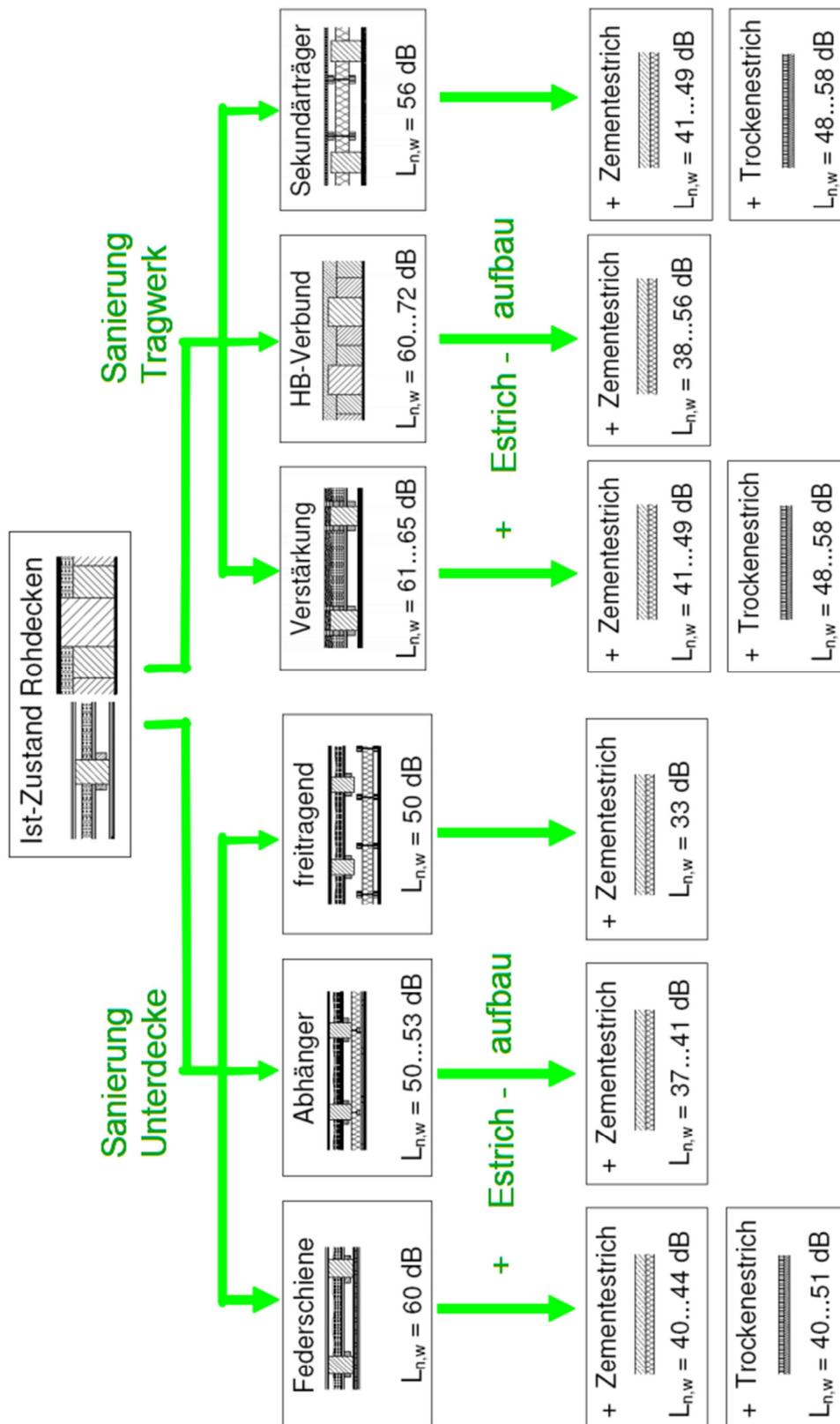


Abbildung 85 Sanierungsmaßnahmen einer Altbaudecke im Überblick 1 [42]

7.6 Beispielprognoseberechnung Holzbalkendecke im Altbau

Wie für Decken im Neubau, wurde ein Excel-Prognoseblatt für Holzbalkendecken im Altbau erstellt. In weitere Folge wird der Ablauf der Berechnung und die Anwendung des Prognoseblattes beschrieben.

1.) Erkunden der Deckenkonstruktion vor Ort

Um den bewerteten Norm-Trittschallpegel als Eingangsgröße für die weitere Berechnung zu erhalten, ist die Deckenkonstruktion vor Ort zu erkunden. Nach Erkundung muss ein geeigneter äquivalenter Deckenaufbau aus Bauteilkatalogen oder Forschungsergebnissen [41] ausgewählt werden. Das Berechnungsblatt kann als Aufmaßblatt verwendet werden, um die Daten der Altbaukonstruktion einzutragen (siehe Abbildung 87 rot markiert). Im folgenden Fall wurde ein einfacher Altbaudeckenaufbau aus [41] gewählt. Der Grundriss (siehe Abbildung 87 grün markiert) entspricht dem in Kapitel 5.

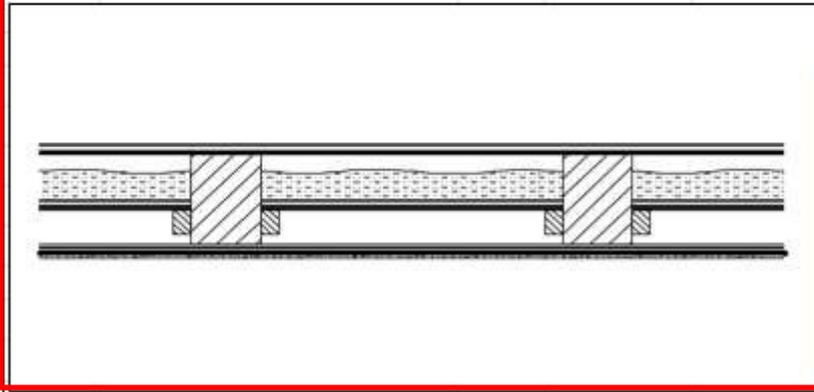
Prognoseblatt- Trittschallschutz Holzbalkendecke im Altbau						
Datum:	14.2.2021			Nr.:	1	
Aufbau der Referenz- Altbaudecke						
Nr.:	Schicht	h [mm]	m' [kg/m²]	s' [MN/m²]		
1	Dielung	24				
2	Balken	220				
3	Einschub		80			
4	Rohrputz		26			
5						
6						
7						
8						
Gesamthöhe:		244				
					Grundriss d. Raumes:	
					l _{ab} [m]	4,5
					l _{r,1} [m]	5,0
					l _{r,2} [m]	5,0
					l _{r,3} [m]	4,0
					l _{r,4} [m]	4,0
					h [m]	2,8
S _r [m²]	20,0					
A ₀ [m²]	10,0					

Abbildung 87 Eintragen der Parameter und Materialien der Holzbalkendecke im Altbau sowie die des Grundrisses

2.) Eintragen der schalltechnischen Eingangsparameter

Im zweiten Schritt ist der bewertete Norm-Trittschallpegel und der dazugehörige Spektrumanpassungswert (siehe Kapitel 5.2.6) einzutragen. Dadurch wird automatisch der

bewertete Norm-Trittschallpegel inklusive des Spektrumanpassungswert berechnet (siehe Abbildung 88 in rot markiert).

Eingangsparameter:				$L_{n,w} (CI,50 2500)$
Bewerteter Norm- Trittschallpegel (gemessen)	$L_{n,w}$ [dB]	65,00		65,0
Spektrumanpassungswert (gemessen)	$C_{(L50 2500)}$ [dB]	0,00		

Abbildung 88 Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der äquivalenten Deckenkonstruktion

3.) Trittschallverbesserung durch einen Estrichaufbau

Im Prognoseblatt kann sowohl für einen Guss-oder Trockenestrich als auch für einen Zement-oder Calciumsulfatestrich eine Trittschallverbesserung berechnet werden (siehe Abbildung 89 in blau markiert). Dies erfolgt gemäß den Formeln 35 bis 37. Auch die Resonanzfrequenz des Estrichaufbaus wird gemäß Formel 7 berechnet, sodass ersichtlich wird, welches Frequenzloch der Estrichaufbau aufweist (siehe Abbildung 89 in grün markiert), um so zu erkennen, ob dieser auch für störende Gehgeräusche (siehe Kapitel 3.1) geeignet ist.

Trittschallverbesserungen mit Estrich				
flächenbez. Masse des Estrichs (Zement o. Calciums.)	m' [kg/m ²]	120,00		
flächenbez. Masse des Estrichs (Guss o. Trocken)	m' [kg/m ²]	12,00		
dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung	s' [MN/m ²]	6,00		
Verlustfaktor des Dämmaterials	d [-]	0,06		
Resonanzfrequenz des Estrichs (Zement o. Calciums.)	f_0 [Hz]	35,78		
Resonanzfrequenz des Estrichs (Guss o. Trocken)	f_0 [Hz]	113,14		
bew. Trittschallm. für Guss o. Trockenestr.	ΔLw [dB]	23,12		
bew. Trittschallm. für Zement- o. Calciums.	ΔLw [dB]	24,83		

Abbildung 89 Beispiel Berechnung Trittschallverbesserung durch einen Estrichaufbau mit Trittschalldämmung

4.) Eintragen weiterer Trittschallverbesserungen

Im vierten Schritt können falls erwünscht bzw. notwendig weitere Trittschallverbesserungsmaßnahmen eingetragen werden (siehe Abbildung 90 in blau markiert). Diese können zum Beispiel eine abgehängte Decke, eine Rohdeckenbeschwerung sein. Dieser Wert ist beispielsweise Forschungsergebnissen [41] oder Gutachten zu entnehmen.

Sonstige Trittschallverbesserungen			
Abgehängte Decke	ΔL_w [dB]		
Rohdeckenbeschwerung	ΔL_w [dB]		
Sonstige	ΔL_w [dB]		

Abbildung 90 Eintragen weiterer Trittschallverbesserungsmaßnahmen falls notwendig bzw. gewünscht

5.) Ermittlung des Korrektursummanden

Im fünften Schritt wird der Korrektursummand gemäß Tabelle 12 und Formel 39 und Formel 40 ermittelt, sodass die flankierenden massiven Wände berücksichtigt werden (siehe Abbildung 91 in rot markiert).

Berücksichtigung der Flanken (massive Wände)			
Korrektursummand	K_A [dB]	1,0	

Abbildung 91 Ermittlung des Korrektursummanden K_A

6.) Auswertung und Nachweis

Im sechsten Schritt findet die Auswertung und der Nachweis des bewerteten Norm-Trittschallpegels im Bau für die DIN 4109-2 [34], sowie die Umrechnung auf den bewerteten Norm-Trittschallpegel der ÖNORM B 8115-4 [7], statt (siehe Abbildung 92 in blau markiert). Das Nachweißverfahren erfolgt gemäß Kapitel 5.2.5. Ist der Nachweis erfüllt wird die Zelle grün und mit einem „Ja“ hinterlegt, ansonsten wird diese rot und mit einem „Nein“ hinterlegt.

Nachweis gem. Anforderungen der Normen				
Nachweiß nach Anforderung DIN 4109	$L'_{n,w} + U_{prog}$	\leq	erf $L'_{n,w}$	NW erfüllt
	43,2	\leq	53,0	Ja
Nachweiß nach Anforderung ÖNORM B8115-4	$L'_{nT,w} + U_{prog}$	\leq	erf $L'_{nT,w}$	
	45,1	\leq	48,0	Ja

Abbildung 92 Auswertung und Nachweisverfahren der Trittschalleigenschaften in der eingebauten Altbausituation

7.7 Beispielprognoseberechnung Holzmassivdecke im Altbau

Dasselbe Verfahren aus Kapitel 7.6 kann für das Prognoseblatt (siehe Anhang 2) der Holzmassivdecke im Altbau verwendet werden. Im Unterschied zur Holzbalkendecke kann der bewertete Norm Trittschallpegel gemäß Abbildung 81 berechnet werden. So kann einfacher eine äquivalente Decke aus Bauteilkatalogen oder Forschungsergebnissen [41] gefunden werden.

8 Untersuchungen an einer Holzbalkendecke im Neubau

Um vereinfacht eine Prognose für Verbesserungen an der Deckenober- und Unterseite einer Holzbalkendecke im Neubau zu treffen, wurden an einer Referenzdecke mit einem $L_{n,w} = 73$ dB und einem $R_w = 43$ dB Messungen durchgeführt (siehe Abbildung 93) [4].

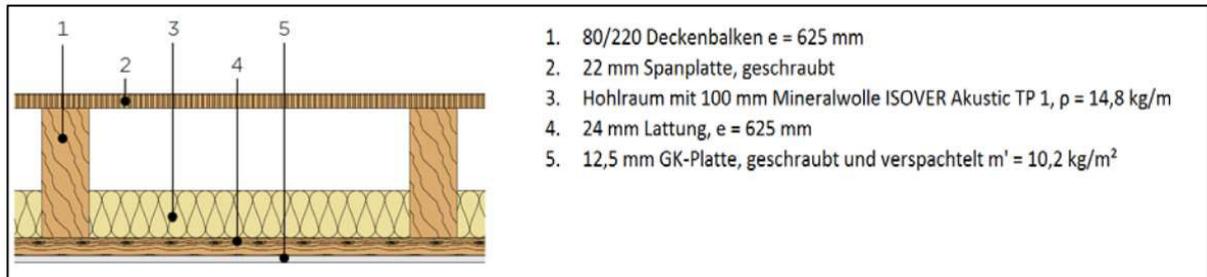


Abbildung 93 Aufbau der Neubaureferenzdecke [4]

Im ersten Schritt wurde die Unterdecke verändert, konkret wurde die Holzlattung und die Gipskartonbeplankung entfernt und durch schallentkoppelte U-Direktabhänger ausgetauscht. Als Beplankung wurde eine Feuerschutzgipskartonplatte mit einer Dicke von 12,5 mm befestigt. Dabei konnten Trittschallverbesserungen von 13 dB erreicht werden (siehe Abbildung 94). Die Montage einer zweiten Beplankungslage aus Gipskarton würde eine Verbesserung von 2 bis 3 dB bringen [4].

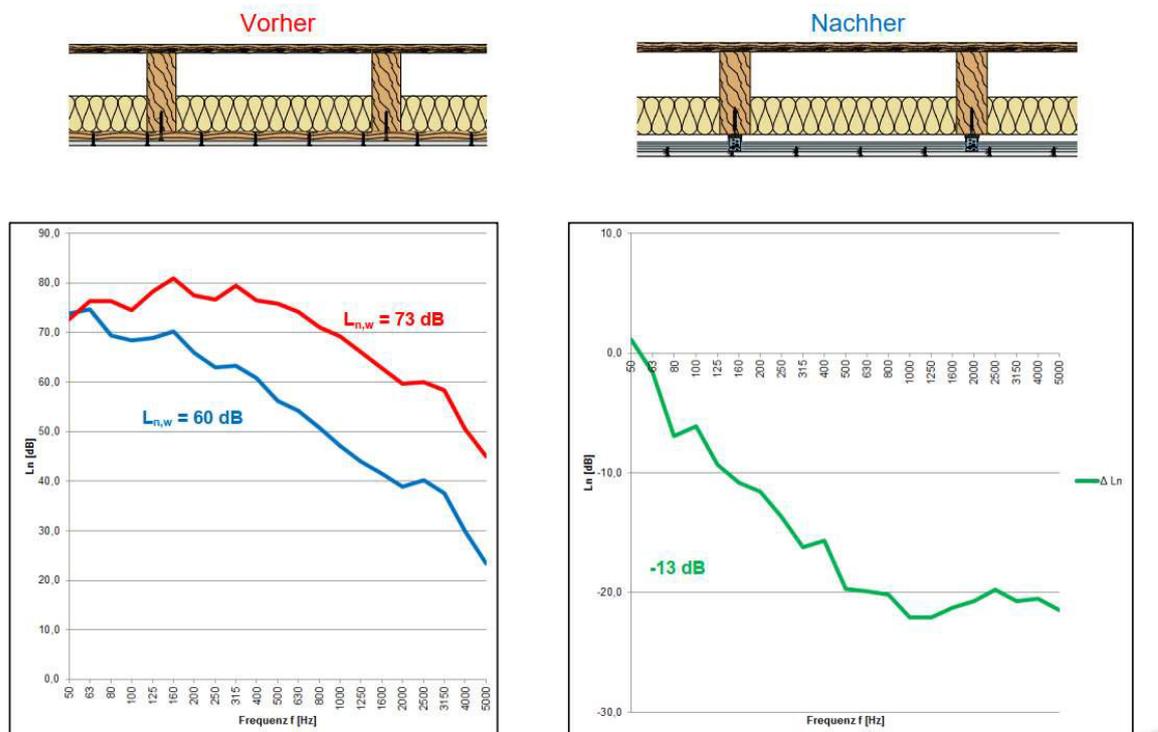


Abbildung 94 Verbesserung des Trittschallschutzes bei einer Neubauholzbalkendecke, bei Verwendung einer schalltechnisch verbessernden Unterdecke [4]

Gut ersichtlich ist, dass sich beide Kurven vom Verlauf sehr ähnlich sind, was verdeutlicht wie sehr der Austausch einer Holzlattung durch eine entkoppelte Gipskartondecke auf den Trittschall verbessernd wirkt [4].

Im zweiten Schritt wurde zusätzlich wie bei Holzdecken im Altbau auf die Deckenoberseite eine gebundene Schüttung sowie ein mineralwollekaschiertes Estrichelement aufgebaut. Die Deckenunterseite wurde mit schallentkoppelten U-Direktabhänger und einer zweifach beplankten 12,5 mm Gipskartonlage versehen. Wie bei den Holzbalkendecken im Altbau zeigten sich bei dieser Form der Deckenkonstruktion die besten Schalltechnischen Ergebnisse. Sowohl der Luftschall als auch der Trittschall konnten dabei um bis zu 37 dB verbessert werden (siehe Abbildung 95) [4].

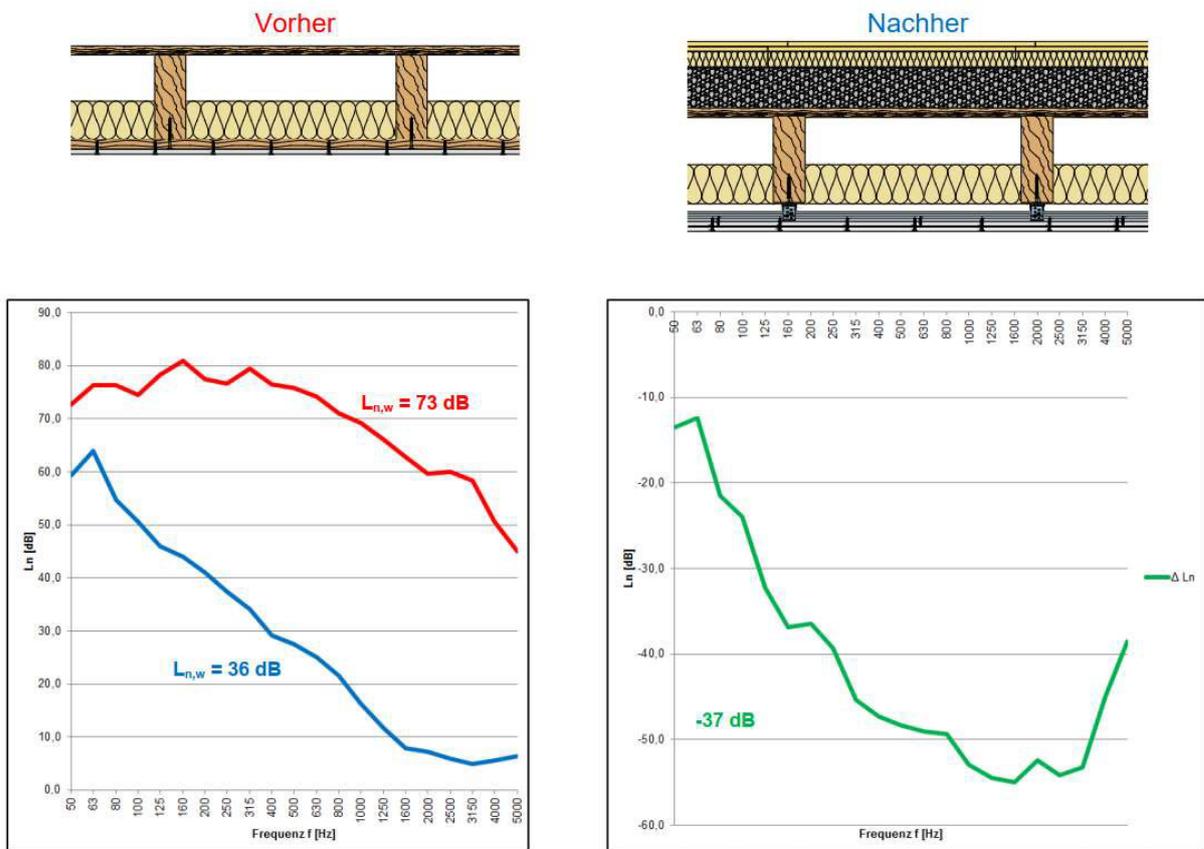


Abbildung 95 Verbesserung des Trittschallschutzes einer Neubauholzbalkendecke bei Verwendung eines schalltechnisch verbessernden Deckenauf- und Unterbaus [4]

9 Zusammenfassung und Fazit

Nicht nur, dass Holz ein besonderer Werkstoff hinsichtlich Umweltschutz und Konstruktionsfreiheit ist, auch spielt die Art der Konstruktion vor allem bei Decken eine ganz besondere Rolle. Holzdecken können schnell hergestellt werden, der Werkstoff ist einfach zu verarbeiten und hat gute Materialeigenschaften. Holzbauten sind gegenüber den meisten anderen Bauwerken leichte Bauten und haben daher auch andere schalltechnische Verhaltensweisen.

Besonders der Trittschall liegt bei Holzdecken im Fokus. Die durch gehende Personen erzeugten niedrigen Frequenzen, aufgrund der geringen Eigenfrequenz der Holzdecken, im Gegensatz zu Massivdecken, werden fast ungehindert durchgeleitet. Der Vorteil der Holzdecken ist allerdings, dass durch einfache konstruktive Maßnahmen ein gleich guter Schallschutz wie bei Massivdecken erreicht werden kann. Nachteilig zu bemerken ist, dass die Rechenverfahren von Massivdecken nicht auf Holzdecken angewendet werden können. Zwar können mittlerweile gute Prognosen für die Bausituation, sowohl für Neubau als auch für Altbauholzdecken durchgeführt werden, jedoch sind hier Eingangsgrößen notwendig, welche nur aus Messungen ermittelt werden können.

Leider liegen in diversen aktuellen europäischen Normenwerken nur sehr wenige verschiedene Aufbauten von Holzdecken vor. Auch die Berechnungsverfahren sind nur geringfügig beschrieben und halten sich eher an den Massivbau. Teilweise fehlen für Flankenberechnungen wie im Massivbau üblich die Berechnungsmodelle.

In den letzten Jahren haben einige wenige Forschungsinstitute sehr gute und repräsentative Messungen an Holzbalken- und Massivholzdecken durchgeführt. Diese Ergebnisse sind für weitere Prognosen durchaus gut geeignet. Zusätzlich zu den Messergebnissen wurden Prognoseverfahren entwickelt, welche im Zusammenhang mit den aktuellen Normen geeignete Verfahren ergeben, um auch eine Prognose für die eingebaute Situation zu ermitteln.

Gesamtheitlich betrachtet sind besonders bei Holzbalkendecken noch weitere Forschungen notwendig, um genauere Rechenverfahren und Prognosemodelle zu entwickeln. Diese sollen dabei nicht zu komplex werden, um trotzdem eine schnelle, aber genaue Ermittlung bestimmter Kennwerte möglich zu machen, sodass für Neubauten, Sanierungen gute Ergebnisse erreicht und ermittelt werden können.

Im Zuge dieser Arbeit konnte ein Überblick über gängige Konstruktionsvarianten, Prognoseverfahren und Sanierungsvarianten im Holzdeckenbau gegeben werden. Zusätzlich wurde eine einfache Excel Tabelle für eine Prognose von Neu- und Altbauholzdecken in der eingebauten Situation entwickelt, welche dem Planer eine Möglichkeit zur schnellen Ermittlung prognostizierter Werte des Luft- und Trittschallschutzes gibt. Eingangswerte für das bewertete Schalldämm-Maß und den bewerteten Norm-Trittschallpegel können dabei den Katalogen und Messergebnissen [35, 41] entnommen werden.

Ersichtlich wurde, dass bei Holzbalkendecken im Altbau beste Ergebnisse des Trittschallschutzes durch einen neuen Deckenaufbau und das Aufbringen einer Untersicht mit einem Abstand von mehr als 30 cm erzielt werden können. Bei Massivholzdecken muss nicht zwingend eine Unterdecke aufgebracht werden, da diese ohnehin eine höhere Masse besitzen. Die Verbesserung des Bodenaufbaus durch einen Estrich und eine Trittschalldämmung ist jedoch anzustreben. Zu beachten ist bei Massivholzdecken, dass

eine abgehängte Unterdecke zur Ausführung kommen sollte, diese auch einen Abstand von bestenfalls 30 cm zur Rohdecke aufweist, da ansonsten Verschlechterungen des Trittschallschutzes stattfinden können. Auf eine fachmännische Herstellung der Sanierungsmaßnahmen ist zu achten, da Einbaufehler starke Verschlechterungen beim Schallschutz bringen.

Zukünftig wird bei Berechnungen der Anforderungen für den Schallschutz die neue ÖNORM B 8115-2 heranzuziehen sein, da diese Erweiterungen bezüglich des Nutzerverhaltens beinhaltet. So können die Anforderungen der Nutzer im Vorhinein besser abgeklärt und bei der Planung berücksichtigt werden.

In weiteren Forschungen wäre es sinnvoll für Massivholzdecken mit verschiedenen Flankensituationen, also sowohl für den Holzbau als auch für den Massivbau Messungen hinsichtlich der Stoßstellendämm-Maße durchzuführen. Hier mangelt es derzeit noch an Werten, um einfache Prognoserechnungen durchführen zu können. Auch wäre ein einheitlicher und aktueller digitaler Bauteilkatalog für Holzdecken sinnvoll. Hier gibt es in den diversen Normenwerken, vor allem in Österreich, nur beschränkt Beispiele.

Um weitere Lücken zu schließen wäre ein Kosten-Nutzenvergleich von optimierten Deckenkonstruktionen sowohl für Holzbalkendecken als auch für Massivholzdecken sinnvoll [33]. So könnten Holzdecken nicht nur hinsichtlich der Schalloptimierung betrachtet werden, sondern zusätzlich auch über die Kosten der Deckenkonstruktionen.

Literatur

- [1] BARTOLOME Olin: Subjektive Wahrnehmung von Schall. 4. Holzbau Spezial Akustik & Brandschutz, Zürich Ausgabe 2013.
- [2] TEIBINGER M, MATZINGER I, DOLEZAL F.: Bauen mit Brettsper Holz im Geschößbau – Fokus Bauphysik. Planungsbroschüre. Holzforschung Austria, Wien, 2018.
- [3] MAYR Andreas: Bauteilkatalog Leichtbau nach DIN 4109, Rosenheim Ausgabe 2017.
- [4] JARON Ramona; PACHUR Jochen: Technik Aktuell – Schallschutz von Holzbalkendecken. Saint- Gobain Rigips GmbH Ausgabe Juni 2018.
- [5] FURRER Bernhard: Konstruktionen von Decken, Schweiz Ausgabe unbekannt.
- [6] HOLZ FRITZ, R.A.: Bauteilkatalog für Holzdecken. ift Rosenheim- Schallschutzzentrum Ausgabe unbekannt.
- [7] ÖNORM 8115-4: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Ausgabe September 2003.
- [8] DIN 4109-33: Schallschutz im Hochbau. Ausgabe Juli 2016.
- [9] STEFAN Gerhard: Verwertung Innerstädtischer Bestandsbauten. Graz, TU Graz, Masterarbeit, 2015.
- [10] SCHIRNHOFER Franz: Der Bauhandwerker – für zeigemäße Bauweisen. Shirnhof Franz, Pöllau, 2020.
- [11] STEINER H.: Baumeister Intensivkurs Modul 3, 2020.
- [12] KLH Massivholz GmbH: Prüfbericht Schall: HFA 2440/2017-BB, 20.5.5 Ausgabe 2017.
- [13] JUNG Pirmin: Der gedübelte Brettstapel. Ingenieure für Holzbau GmbH, Rain Ausgabe unbekannt.
- [14] SIA 181: Schallschutz im Hochbau. SIA 181, Ausgabe November 2020.
- [15] DIN 4109-1: Schallschutz im Hochbau. Ausgabe Juli 2016.
- [16] ÖNORM B 8115-2: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Ausgabe Dezember 2006.
- [17] ÖNORM EN ISO 12354-1: Bauakustik-Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Ausgabe März 2018.
- [18] ÖNORM EN ISO 12354-2: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von gebäuden aus den bauteileigenschaften. Ausgabe November 2017.
- [19] ÖNORM EN ISO 717-2: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen. Ausgabe Juni 2013.
- [20] ÖNORM EN ISO 10140-2: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand. Ausgabe November 2010.
- [21] RICHTER B., S.H.: Untersuchung von Gehgeräuschen, Stuttgart Ausgabe 2002.
- [22] HOLZBAU DEUTSCHLAND- INSTITUT e.V (Hrsg.): Schallschutz im Holzbau. Grundlagen und Vorbemessung, Heft 3,, Berlin, 2019.
- [23] WILLEMS WOLFGANG, E.A.: Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 2 – Schall- und Brandschutz, Fachwörterglossar deutsch- englisch, englisch-deutsch. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2006.
- [24] WILLEMS Wolfgang: Lehrbuch der Bauphysik – Schall- Wärme- Feuchte- Licht- Brand- Klima. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017.
- [25] KAUTSCH Peter: Bauphysik 2 – Schallschutz & Akustik. Graz, TU Graz, Skriptum, 2020.
- [26] BRANDSTÄTT Peter: Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzdecken durch optimierte Deckenauflagen. Fraunhofer IBP, Wien, 2018.
- [27] SAINT GOBAIN ISIVER AG: Akustik – Schall und Lärm im Griff dank ISOVER- Glaswolle,
https://www.isover.ch/sites/isover.ch/files/assets/documents/isover_akustikbroschue_de.pdf.
- [28] WEBER L.; KALTBEIZEL Bernd: Verbesserung der Trittschalldämmung durch optimierte Deckenauflagen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2017.
- [29] ÖNORM EN ISO 10140-5: Akustik- Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand. Ausgabe September 2014.

- [30] ÖNORM B8115-5: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Ausgabe April 2012.
- [31] ÖNORM B 8115-2: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Ausgabe Januar 2021.
- [32] KÖHNKE Ernst U.: Schallschutztechnische Ausführungen an Holzdecken, Uelsen Ausgabe 2013.
- [33] RABOLD Andreas: Optimierung von Holzdecken in Bezug auf die DIN 4109. Hochschule Rosenheim und ift Rosenheim, Rosenheim Ausgabe 2017.
- [34] DIN 4109-2: Schallschutz im Hochbau. Ausgabe Januar 2018.
- [35] HOLZBAU DEUTSCHLAND- INSTITUT e.V: Nachweis Luft- und Trittschalldämmung von Decken, Rosenheim Ausgabe März 2019.
- [36] OIB- Richtlinie 5: Schallschutz. OIB- Richtlinie 5, Ausgabe April 2019.
- [37] RABOLD, SCHANDA, KOLLMANNBERGER, RANK: Schallschutz im mehrgeschossigen Holzbau – Luft- und Trittschalldämmung von Trenndecken Ausgabe unbekannt.
- [38] KNAUF: Berechnung der Trittschalldämmung Ausgabe 2019, https://www.knauf.de/wmv/?id=15746_44_2602 [Zugriff am: 15.03.2021].
- [39] ÖNORM EN ISO 10848-1: Akustik — Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von Gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau. Ausgabe Januar 2018.
- [40] GRIMM Roland: Gebäudedecken: Von Holzbalken zum Holz- Beton- Verbund, 2016, https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/boden_und_wand/deckonstruktionen-von-holzbalken-zum-holz-beton-verbund-stahlbetondecke-verbunddecke-schallschutz-fuellungsdecke/.
- [41] RABOLD A., BACHER S., HESSINGER J.: Holzbalkendecken in der Albausanie rung, Rosenheim Ausgabe Januar 2008.
- [42] RABOLD Andreas: Schallschutz von Holzbalkendecken – Strategien für die Sanierung. ift Rosenheim, Rosenheim Ausgabe 2012.
- [43] LECHNER Peter: Holz- Beton- Verbunddecken. mündlich, 2020.
- [44] FERK Heinz: Holzdecken: Gebundene Beschüttung kann zu erhöhtem Trittschallpegel führen Ausgabe unbekannt.
- [45] ÖNORM B 2232: Erstricharbeiten. Ausgabe Dezember 2016.
- [46] ÖNORM B 8115-1 Beiblatt 1: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Ausgabe März 2004.
- [47] ÖNORM B 8115-7: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Ausgabe Januar 2012.

Anhang 1

Excel-Prognoseberechnung des Luft-und Trittschallschutzes von
Holzbalkendecken im Neubau

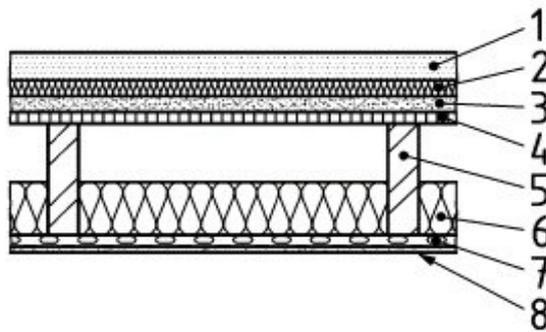
Prognoseblatt- Luftschallschutz Holzbalkendecke im Neubau

Datum: 17.12.2020 Nr.: 1

Aufbau:

Nr.:	Schicht	h [mm]	m' [kg/m ²]	s' [MN/m ³]	Notiz:
1	Zementestrich	50			
2	Mineralwolleämmplatte	15		10	
3	Schüttung	30	45		
4	Spanplatte, geschraubt	22			
5	Balken o. Stegträger	220			
6	Hohlraumbedämpfung	100			
7	Federschiene	27			
8	Gipsplatte	12,5			
Gesamthöhe:		476,5			

Grundriss:



l _{lab} [m]	4,5
l _{f,1} [m]	5,0
l _{f,2} [m]	5,0
l _{f,3} [m]	4,0
l _{f,4} [m]	4,0
h [m]	2,8
S _s [m ²]	20,0
A ₀ [m ²]	10,0

Eingangsparameter:

Bewertetes Schalldäm- Maß der Decke (gemessen)	R _w [dB]	68,0	
Bewertete Norm- Flankenschallpegeldifferenz	D _{n,f,w} [dB]	67,0	

Flankierende Parameter:

Flankierende Wand 1 und 2	R _{Ff,w1,2} [dB]	69,6	
Flankierende Wand 3 und 4	R _{Ff,w3,4} [dB]	70,5	

Norm Schallpegeldifferenz flankierender Bt.	D _{nT,Ff,w1,2} [dB]		69,0
Norm Schallpegeldifferenz flankierender Bt.	D _{nT,Ff,w3,4} [dB]		75,5
bewertete Standart- Schallpegeldifferenz direkt	D _{nT,DD,w} [dB]		72,1

Auswertung:

	DIN 4109-33	ÖNORM 8115	Differenz
Bewertetes Bau- Schalldämm- Maß	R' _w [dB]	62,5	64,8
bewertete Standard- Schallpegeldifferenz	D _{nT,w} [dB]	62,1	64,3
Nachweist nach Anforderung DIN 4109	R' _w - U _{prog}	≥	erf R' _w
	60,5	≥	54
Nachweist nach Anforderung ÖNORM B8115-4	D _{nT,w} - U _{prog}	≥	erf D _{nT,w}
	62,3	≥	50

Erstellt: Lechner

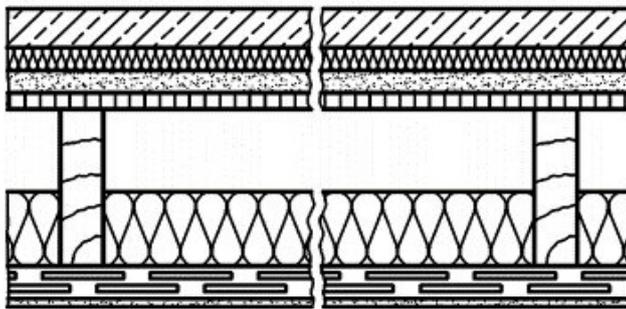
Prognoseblatt- Trittschallschutz Holzbalkendecke im Neubau

Datum: 17.12.2020 Nr.: 1

Aufbau:

Nr.:	Schicht	h [mm]	m' [kg/m ²]	s' [MN/m ³]	Notiz
1	Zementestrich	50			
2	Mineralwolledämmplatte	15		10	
3	Schüttung	30	45		
4	Spanplatte, geschraubt	22			
5	Balken o. Stegträger	220			
6	Hohlraumbedämpfung	100			
7	Federschiene	27			
8	Gipsplatte	12,5			
Gesamthöhe:		476,5			

Grundriss d. Raumes:



l _{ab} [m]	4,5
l _{f,1} [m]	5,0
l _{f,2} [m]	5,0
l _{f,3} [m]	4,0
l _{f,4} [m]	4,0
h [m]	2,8
S _s [m ²]	20,0
A ₀ [m ²]	10,0

Eingangsparameter:

Bewerteter Norm- Trittschallpegel (gemessen)	L _{n,w} [dB]	36,0		
--	-----------------------	------	--	--

Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Flankenübertragung:

Korrekturwert 1	K ₁ [dB]	3,0		
Zwischenergebnis L _{n,w} + K ₁ [dB]		39,0		
Korrekturwert 2	K ₂ [dB]	4,0		

Korrekturwerte bei massiven flankierenden Wänden:

Korrekturwert L	K _L [dB]	3,0		
-----------------	---------------------	-----	--	--

Auswertung:

bewerteter Norm- Trittschallpegel im Bau	L' _{n,w} [dB]	43,0		
--	------------------------	------	--	--

Nachweis nach Anforderung DIN 4109	L' _{n,w} + U _{prog}	≤	erf L' _{n,w}	NW erfüllt
	46,0	≤	50,0	Ja
Nachweis nach Knauf mit massiven Wänden	L' _{n,w} + U _{prog,m}	≤	erf L' _{n,w}	NW erfüllt
	43,0	≤	50,0	Ja
Nachweis nach Anforderung ÖNORM B8115-4	L' _{nT,w} + U _{prog}	≤	erf L' _{nT,w}	
	42,5	≤	48,0	Ja

Anhang 2

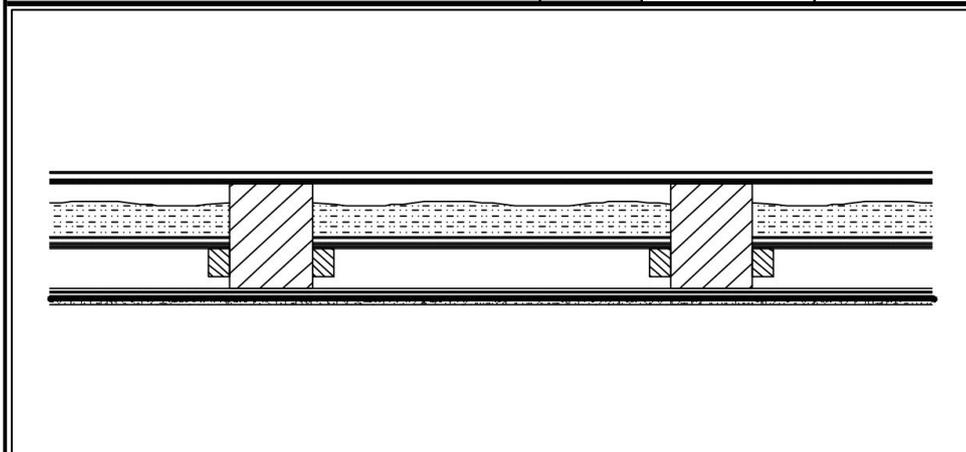
Excel-Prognoseberechnung des Trittschallschutzes von Holzbalken-und
Massivholzdecken im Altbau

Prognoseblatt- Trittschallschutz Holzbalkendecke im Albau

Datum: 14.2.2021 Nr.: 1

Aufbau der Referenz- Albaudecke

Nr.:	Schicht	h [mm]	m' [kg/m ²]	s' [MN/m ³]		
1	Dielung	24				
2	Balken	220				
3	Einschub		80			
4	Rohrputz		26			
5						
6						
7						
8						
Gesamthöhe:		244				



Grundriss d. Raumes:

l _{ab} [m]	4,5
l _{f,1} [m]	5,0
l _{f,2} [m]	5,0
l _{f,3} [m]	4,0
l _{f,4} [m]	4,0
h [m]	2,8
S _s [m ²]	20,0
A ₀ [m ²]	10,0

Eingangsparameter:

Bewerteter Norm- Trittschallpegel (gemessen)	L _{n,w} [dB]	65,00			L _{n,w} (CI,50-2500)
Spektrumanpassungswert (gemessen)	C _{1,50-2500} [dB]	0,00			65,0

Trittschallverbesserungen mit Estrich

flächenbez. Masse des Estrichs (Zement o. Calciums.)	m' [kg/m ²]	120,00		
flächenbez. Masse des Estrichs (Guss o. Trocken)	m' [kg/m ²]	12,00		
dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung	s' [MN/m ³]	6,00		
Verlustfaktor des Dämmmaterials	d [-]	0,06		
Resonanzfrequenz des Estrichs (Zement o. Calciums.)	f ₀ [Hz]	35,78		
Resonanzfrequenz des Estrichs (Guss o. Trocken)	f ₀ [Hz]	113,14		
bew. Trittschallm. für Guss o. Trockenestr.	ΔL _w [dB]	23,12		
bew. Trittschallm. für Zement- o. Calciums.	ΔL _w [dB]	24,83		

Sonstige Trittschallverbesserungen

Abgehängte Decke	ΔL _w [dB]			
Rohdeckenbeschwerung	ΔL _w [dB]			
Sonstige	ΔL _w [dB]			

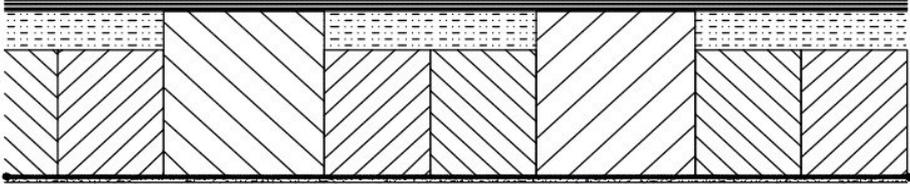
Berücksichtigung der Flanken (massive Wände)

Korrektursummand	K _A [dB]	1,0		
------------------	---------------------	-----	--	--

Nachweis gem. Anforderungen der Normen

Nachweist nach Anforderung DIN 4109	L' _{n,w} + U _{prog}	≤	erf L' _{n,w}	NW erfüllt
	43,2	≤	53,0	Ja
Nachweist nach Anforderung ÖNORM B8115-4	L' _{nT,w} + U _{prog}	≤	erf L' _{nT,w}	
	45,1		48,0	Ja

Prognoseblatt- Trittschallschutz Massivholzdecke im Albau

Datum:		14.2.2021		Nr.:		1	
Aufbau der Referenz- Albaudecke							
Nr.:	Schicht	h [mm]	m' [kg/m ²]	s' [MN/m ³]			
1	Dielung	24	14				
2	Balken	340	160				
3	Auffüllung		40				
4	Rohrputz		16				
5							
6							
7							
8							
Summen:		364	230				
					Grundriss d. Raumes:		
					l _{ab} [m]	4,5	
					l _{f,1} [m]	5,0	
					l _{f,2} [m]	5,0	
					l _{f,3} [m]	4,0	
					l _{f,4} [m]	4,0	
					h [m]	2,8	
					S _s [m ²]	20,0	
					A ₀ [m ²]	10,0	
Eingangsparameter:						L _{n,w} (CI,50-2500)	
Bewerteter Norm- Trittschallpegel (gerechnet)		L _{n,w} [dB]	81,34			74,3	
Spektrumanpassungswert (gemessen)		C _{1,50-2500} [dB]	-7,00				
Trittschallverbesserungen mit Estrich							
flächenbez. Masse des Estrichs (Zement o. Calciums.)		m' [kg/m ²]	120,00				
flächenbez. Masse des Estrichs (Guss o. Trocken)		m' [kg/m ²]	12,00				
dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung		s' [MN/m ³]	6,00				
Verlustfaktor des Dämmmaterials		d [-]	0,06				
Resonanzfrequenz des Estrichs (Zement o. Calciums.)		f ₀ [Hz]	35,78				
Resonanzfrequenz des Estrichs (Guss o. Trocken)		f ₀ [Hz]	113,14				
bew. Trittschallm. für Guss o. Trockenestr.		ΔL _w [dB]	23,12				
bew. Trittschallm. für Zement- o. Calciums.		ΔL _w [dB]	24,83				
Sonstige Trittschallverbesserungen							
Abgehängte Decke		ΔL _w [dB]					
Rohdeckenbeschwerung		ΔL _w [dB]					
Sonstige		ΔL _w [dB]					
Berücksichtigung der Flanken (massive Wände)							
Korrektursummand		K _A [dB]	1,0				
Nachweis gem. Anforderungen ÖNORM							
Nachweist nach Anforderung DIN 4109		L' _{n,w} + U _{prog}	≤	erf L' _{n,w}	NW erfüllt		
		52,5	≤	53,0	Ja		
Nachweist nach Anforderung ÖNORM B8115-4		L' _{nT,w} + U _{prog}	≤	erf L' _{nT,w}			
		54,4		48,0	Nein		