



Schallschutz mit CLT von Stora Enso

Inhalt

1.	Grundsätzliches	3
2.	Bestimmung der Schalldämmung	3
2.1	Messung der Schalldämmung	3
2.2	Schalltechnische Kenngrößen	4
2.2.1	Kenngrößen Luftschall:	4
2.2.2	Kenngrößen Trittschall:	4
2.3	Bewertung von Messkurven	5
2.4	Spektrum Anpassungswerte	5
2.5	Schallschutz bei tiefen Frequenzen	6
2.6	Kenngrößen und Anforderungen in europäischen Ländern	6
3.	Schalldämmung von Bauteilen	7
3.1	Einschalige Bauteile	7
3.2	Masseformel für CLT von Stora Enso	7
3.3	Einschalige orthotrope Bauteile	8
3.4	Mehrschalige Bauteile	8
3.5	Berechnungsmodell für das Schalldämm-Maß von CLT-Wänden mit WDVS	9
3.6	Schalldämmung zusammengesetzter Bauteile	10
4.	Schalldämmung von CLT Bauteilen	11
4.1	Deckenaufbauten	11
4.1.1	Beispiele für Deckenaufbauten:	12
4.2	Wandaufbauten	12
4.2.1	Beispiele für Trennwandaufbauten	13
4.2.2	Beispiele für Außenwandaufbauten	15
4.2.3	Beispiele für Innenwandaufbauten	17
5.	Schallübertragung in Gebäuden	18
	Literaturverzeichnis	19
	Anhang A: Vergleich von Mindestanforderungen in 35 europäischen Ländern [1]	20
	Anhang B: Konstruktive Grundsätze hinsichtlich des Erfordernisses elastischer Lager [2]	22

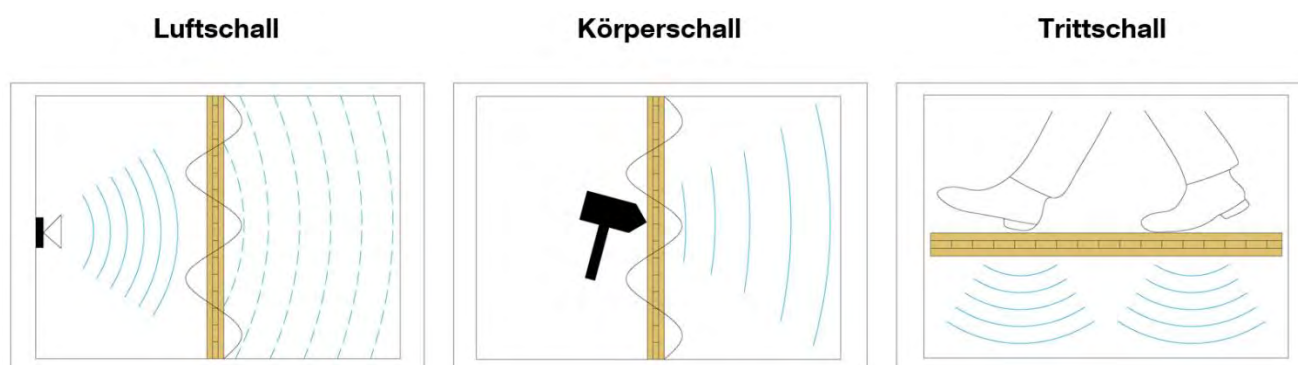
HAFTUNGSAUSSCHLUSS: Es wird darauf hingewiesen, dass dieses Informationsblatt zum Thema Schallschutz lediglich den Benutzer unterstützen soll. Stora Enso Wood Products übernimmt keine Verantwortung für die Richtigkeit oder Vollständigkeit dieses Dokuments.

1. Grundsätzliches

Ein guter Schutz gegen Lärm (störenden Schall) ist eine wichtige Voraussetzung für das Wohlbefinden in einem Gebäude, weshalb der Schallschutz einen hohen Stellenwert bei der Planung von Gebäuden einnehmen sollte. Definiert ist Schall als mechanische Bewegungsenergie, welche sich durch Druck- und Dichteschwankungen in elastischen Medien ausbreitet. Schall ist also die hörbare Schwingung von Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern. Nach der Quelle des Schalls, durch welche ein Bauteil angeregt wird, wird in der Bauakustik zwischen Luftschall und Körperschall unterschieden.

- **Luftschall** – Bauteile werden durch Luftschallwellen, angeregt und geben diese in angrenzenden Räumen wieder ab. Quellen für den Luftschall sind z.B. Verkehr, Sprache oder Musik.
- **Körperschall** – wird durch Gehen, Klopfen, das Verrücken von Stühlen usw. in Bauteile eingeleitet und in benachbarten Räumen als Luftschall abgestrahlt. Für die Bauakustik relevant ist vor allem der **Trittschall**.

Normative Anforderungen an den Schallschutz sollen sicherstellen, dass normal empfindende Menschen ausreichenden Schutz vor Lärm von außen, aus anderen Nutzungseinheiten desselben Gebäudes sowie aus angrenzenden Gebäuden erhalten. Die Aufgabe der Bauakustik besteht nun darin, durch rechnerische und messtechnische Bestimmung der Schalldämmung von Bauteilen, den im Gebäude anfallenden Lärm, auf ein definiertes Maß zu reduzieren.



2. Bestimmung der Schalldämmung

2.1 Messung der Schalldämmung

Zur Bestimmung der Schalldämmung wird im Senderaum (im Prüfstand oder einem Gebäude) ein Bauteil mit einer Schallquelle angeregt und im Empfangsraum der ankommende Schall gemessen.

Bei Luftschallmessungen ist die Schallquelle ein Lautsprecher und aus der Pegeldifferenz zwischen Sende- und Empfangsraum, ergibt sich das Schalldämm-Maß R eines Bauteiles (je Größer der Wert, desto besser die Schalldämmung).

Bei Trittschallmessungen hingegen ist die Schallquelle ein genormtes Hammerwerk und der im Empfangsraum gemessene Trittschallpegel L beschreibt die Schalldämmung der Konstruktion (je kleiner der Pegel, desto besser die Schalldämmung).

Gemessen wird in der Regel der erweiterte Frequenzbereich (von 50Hz bis 5000Hz), jedoch nur der Bereich von 100Hz bis 3150Hz (Bauakustischer Bereich) fließt derzeit in die Bildung des Einzahlwertes ein. Unterteilt wird dieser Bereich in 5 Oktaven (Frequenzverdoppelungen) bzw. in 16 Terzen (3 Terzen sind 1 Oktave).

2.2 Schalltechnische Kenngrößen

Die Größen zur Beschreibung des Schallschutzes sind in den einzelnen Teilen der ISO Normenreihe 140 angeführt (diese wird schrittweise durch ISO 10140 und ISO 16283 ersetzt) und die Verfahren zur Einzahlbildung sind in den Normen ISO 717-1 und 717-2 beschrieben:

2.2.1 Kenngrößen Luftschall:

- **Schalldämm-Maß R**

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2}$$

Zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der auf ein Prüfobjekt treffenden Schalleistung W_1 zur Schalleistung W_2 , die durch das Prüfobjekt übertragen wird.

Wenn der Schalldruck gemessen wird, ist das Schalldämm-Maß wie folgt zu berechnen:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

- **Bau-Schalldämm-Maß R'**

Ein Apostroph " ' " zeigt an, dass es sich um einen im Gebäude gemessenen Wert inklusive Schallübertragung über flankierende Bauteile handelt.

- **Norm Schallpegeldifferenz D_n**

$$D_n = L_S - L_E - 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ auf Bezugs-Absorptionsfläche von } 10\text{m}^2 \text{ bezogen}$$

- **Standard Schallpegeldifferenz D_{nT}**

$$D_{nT} = L_S - L_E + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ auf Bezugs-Nachhallzeit von } 0,5\text{s} \text{ bezogen}$$

- **Schallpegeldifferenzen Stehen mit dem Bau-Schalldämm-Maß in folgender Beziehung:**

$$D_n = R' + 10 \lg \frac{10}{S}$$

$$D_{nT} = R' + 10 \lg \frac{0,32 V}{S}$$

2.2.2 Kenngrößen Trittschall:

- **Norm-Trittschallpegel L_n**

$$L_n = L + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ auf Bezugs-Absorptionsfläche von } 10\text{m}^2 \text{ bezogen}$$

Analog zum Schalldämm-Maß kann auch der Norm-Trittschallpegel als Baustellenwert ($L'_{n,w}$) angegeben werden.

- **Standard-Trittschallpegel $L'_{n,T}$**

$$L_{nT} = L - 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ auf Bezugs-Nachhallzeit von } 0,5\text{s} \text{ bezogen}$$

- **Standard- und Normtrittschallpegel stehen in folgender Beziehung:**

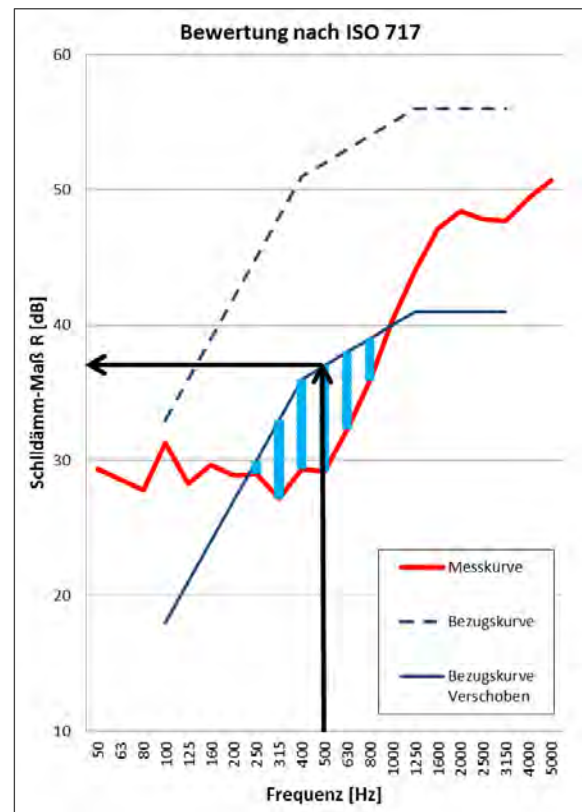
$$L_{nT} = L_n - 10 \log 0,032 * V$$

2.3 Bewertung von Messkurven

Zur besseren Vergleichbarkeit der in Terzbändern ermittelten Schallwerte, werden aus den aufgezeichneten Messkurven mit Hilfe einer genormten Bewertungskurve Einzahlwerte abgeleitet.

Bei dieser Bewertung nach EN ISO 717 (Teil 1 für den Luftschall und Teil 2 für den Trittschall) wird die Bezugskurve so lange gegen die Messkurve verschoben, bis die Summe der negativen Abweichungen so groß wie möglich, jedoch weniger als 32dB (im Mittel höchstens 2dB pro Terz) beträgt. Günstige Abweichungen bleiben dabei unberücksichtigt. Der an der verschobenen Bezugskurve, bei 500Hz abgelesene Wert ergibt dann den Einzahlwert.

Der Zusatz "w" für „weighted“ (z.B. R_w oder $D_{nT,w}$) sagt aus, dass es sich um eine nach EN ISO 717-1 bewerteten Einzahlangabe handelt.



2.4 Spektrum Anpassungswerte

Da die Einzahlangabe alleine die schalltechnischen Stärken und Schwächen von Bauteilen oft nur unzureichend beschreibt (unterschiedliche Kurvenverläufe können den gleichen Einzahlwert ergeben, siehe Abbildung) und wohnüblicher Lärm oder Verkehrslärm zu wenig berücksichtigt werden, wurden in EN ISO 717:1996 sogenannte Spektrum-Anpassungswerte als zusätzliche Einzahlangaben eingeführt und finden in einigen europäischen Ländern bereits Anwendung. Durch diese ergänzende Angabe können spezielle Schallspektren besser berücksichtigt werden:

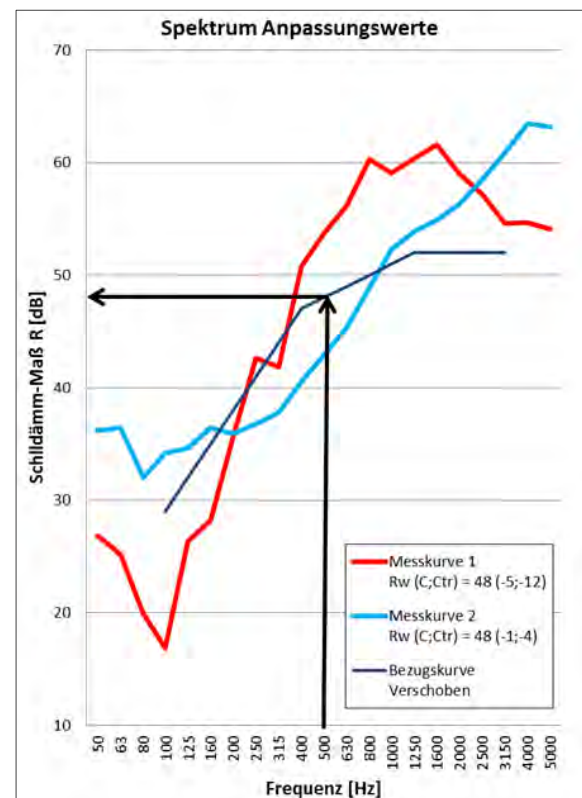
Luftschall:

- C für übliche Wohngeräusche
- C_{tr} für Verkehrsgeräusche

Trittschall:

- C_l für Gehgeräusche

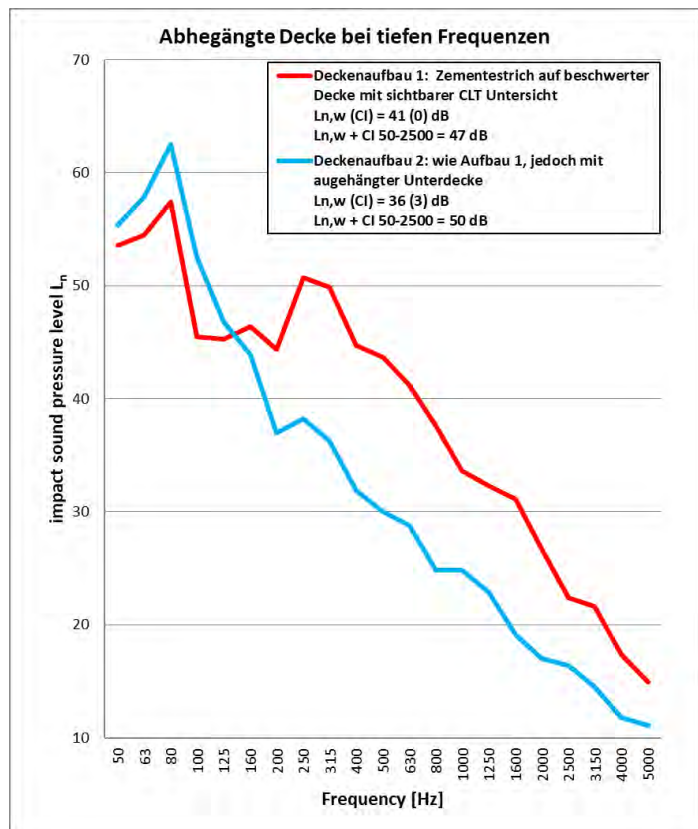
Es können auch Spektrum-Anpassungswerte für spezielle Frequenzbereiche kleiner 100Hz und größer 3150Hz ausgewiesen werden (z.B. $C_{50-5000}$, oder $C_{tr, 50-3150}$)



2.5 Schallschutz bei tiefen Frequenzen

In einigen Ländern wird die Betrachtung der Schallübertragung ab 50 Hz normativ verlangt, was neue Ansätze bei der Konstruktion von Holzholzbauten bedingt. Gängige Maßnahmen zur Verbesserung der Schalldämmung, wie eine abgehängte Decke oder eine Vorsatzschale, führen nicht unbedingt zu einer besseren Schalldämmung bei tiefen Frequenzen und können die Schalldämmung eines Bauteils sogar reduzieren. Der Grund für diese Verringerung ist die Luft-Feder-Resonanz zwischen der tragenden Struktur und der zusätzlichen Schicht, die häufig im Bereich zwischen 50 Hz und 100 Hz liegt und dort zu einer höheren Schallübertragung führt.

Das Grafik rechts zeigt den Vergleich der Trittschallpegel zweier CLT-Deckenaufbauten: Aufbau 1 mit sichtbarer CLT-Unteransicht (rote Linie) und der Aufbau 2 mit einer abgehängten Decke (blaue Linie). Während die abgehängte Decke bei mittleren und hohen Frequenzen Vorteile bringt, zeigt die Schalldämmung bei tiefen Frequenzen einen Einbruch. In diesem Fall verringert die abgehängte Decke den Trittschallpegel $L_{n,w}$ um 5 dB (von 41 auf 36 dB), aber bei Betrachtung des Spektrums ab 50 Hz verschlechtert sich der Gesamtwert $L_{n,w}+CI_{50-2500}$ um 3 dB von 47 dB auf 50 dB.



Um bei der tieffrequenten Schalldämmung bessere Ergebnisse zu erzielen, sollten abgehängte Decken stets elastisch angebunden werden und einen lichten Abstand zwischen CLT und Beplankung von ca. 20 cm aufweisen. Wenn keine Holzuntersicht gewünscht ist, können Gipswerkstoffplatten auch direkt (also ohne Zwischenlattung) am CLT angebracht werden und weisen so keine weitere Resonanz auf.

2.6 Kenngrößen und Anforderungen in europäischen Ländern

Da die entsprechenden Normen diverse Ausdrucksweisen zur Beschreibung der Güte der Schalldämmung zulassen, sind derzeit in 35 europäischen Ländern 7 unterschiedliche Kenngrößen zur Beschreibung des Luftschallschutzes sowie 5 Kenngrößen zur Beschreibung des Trittschallschutzes in Geberauch. In 8 Ländern sind Spektrum Anpassungswerte eingeführt, in 1 Land Spektrum Anpassungswerte ab 50 Hz. Der Unterschied zwischen den Mindestanforderungen für Wohngebäude liegt im Luftschall bei 10dB im Trittschall bei 20dB. Die strengsten Anforderungen gibt es in Schottland und Österreich, in 5 Ländern gibt es derzeit keine normativen Anforderungen an den Schallschutz. [1]

Einzahlwerte aus EN ISO 717: 2013			
	Luftschall	Trittschall	
Schallschutz von Bauteilen	R_w	$L_{n,w}$	Zeigt die Prüfstands-Situation Schallübertragung nur durch das Trennbauteil
Schallschutz zwischen Räumen	R'_w $D_{n,w}$ $D_{nT,w}$	$L'_{n,w}$ $L'_{nT,w}$	Zeigt die Baustellen-Situation; Schallübertragung durch das trennende Bauteil und über flankierende Bauteile
Spektrum Anpassungswerte	C C_{tr}	C_l	Spektrum C: Wohngeräusche Spektrum C_{tr}: Verkehrsgeräusche Spektrum C_l: Trittschallgeräusche

Die COST Action TU0901 „Integrating and Harmonizing Sound insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions“ befasst sich mit der Harmonisierung der unterschiedlichen Bewertungsverfahren der einzelnen europäischen Länder sowie der Einführung einheitlicher Qualitäts-Klassen zur Beschreibung des Schallschutzes. Ein Vergleich von Mindestanforderungen an Luft- und Trittschall für Wohngebäude und Reihenhäuser von 35 Europäischen Ländern wurde in [1] publiziert und findet sich in tabellarischer Form im Anhang. Detaillierte Anforderungen und Sonderregelungen sind den jeweils gültigen Nationalen Normen und Bauvorschriften zu entnehmen.

3. Schalldämmung von Bauteilen

3.1 Einschalige Bauteile

3.1.1 Massegesetz nach Berger

Die Schalldämmung von einschaligen massiven Bauteilen wird in erster Linie durch ihre Masse bestimmt. Als bauakustisch einschalig können Bauteile bezeichnet werden, deren Massepunkte bei Schwingung des Bauteiles ihren Abstand zueinander nicht verändern (sie schwingen als Ganzes). Das Schalldämm-Maß solcher Konstruktionen kann näherungsweise nach dem Bergerschen Massegesetz berechnet werden.

$$R = 20 \lg \frac{f * m'}{130} [dB]$$

Demnach ist die Schalldämmung von der flächenbezogenen Masse m' und der Frequenz f abhängig. Eine Verdoppelung der Masse führt zum Anstieg der Schalldämmung um 6 dB. Da höhere Frequenzen stärker gedämmt werden als tiefe, klingt ein Geräusch, welches ein Bauteil durchdringt dumpfer als die Schallquelle selbst.

3.1.2 Koinzidenzeffekt

Im Bereich der Koinzidenz- oder Spuranpassungsfrequenz tritt gegenüber dem Massegesetz nach Berger eine Verschlechterung der Schalldämmung auf. In dem Frequenzbereich, in welchem die Wellenlänge der Plattenschwingung mit der Spurlängende der sie anregenden Schallwelle übereinstimmt (sie schwingen koinzident), kommt es zu einer erhöhten Schallabstrahlung und damit zu einer Verschlechterung der Schalldämmung. Die kleinste Frequenz, bei welcher dieser Effekt auftreten kann wird Koinzidenzgrenzfrequenz genannt und kann vereinfacht nach folgender Gleichung berechnet werden [2].

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

Dieser Effekt führt zu einer größeren Schallabstrahlung des Bauteiles und somit zu einem Einbruch in der Schalldämmung im entsprechenden Frequenzbereich. Eine gute Schalldämmung weisen Bauteile auf, deren Grenzfrequenz entweder deutlich unterhalb oder oberhalb des bauakustisch relevanten Frequenzbereiches liegt. Bauteile mit einer niedrigen Koinzidenzgrenzfrequenz werden als biegesteif, dünne Beplankungen (Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) mit einer hohen Grenzfrequenz (Lt. DIN >2000Hz; lt. ÖNORM >2500Hz) hingegen als biegeweich bezeichnet.

3.2 Masseformel für CLT von Stora Enso

Eine gängige Methode zur Abschätzung des Schalldämm-Maßes von Bauteilen sind Masseformeln. Die Masse der Platte wird aus der Dicke und ihrer Dichte in kg / m^3 berechnet und ist die Grundlage für die Gleichungen zur Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maß R_w der CLT-Platte. Messungen haben gezeigt, dass neben der Masse auch der Installationswinkel Auswirkungen auf R_w hat, weshalb in [3] zwei getrennte Gleichungen, eine für Wände und eine für Decken, entwickelt wurden.

Dieses "Massengesetze für CLT" wurden aus Durchschnittswerten verfügbarer Messergebnisse abgeleitet, wobei besondere Ausreißer ausgeschlossen wurden. Die Ergebnisse werden in separaten Gleichungen für

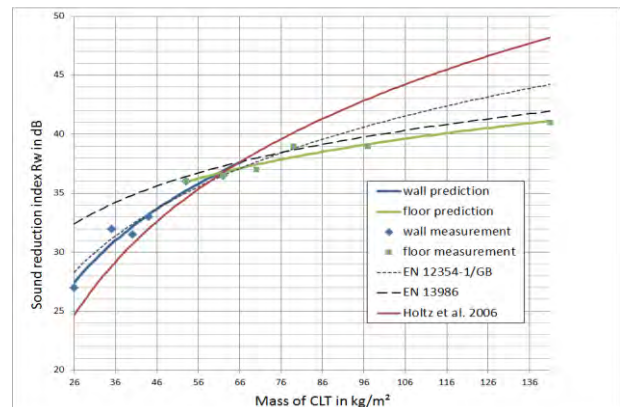
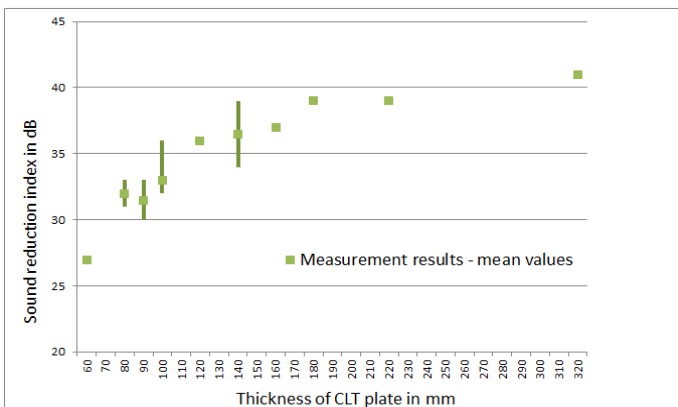
CLT-Wände und CLT-Decken mit den jeweiligen Dicken angegeben, auf die die Gleichung angewendet werden kann.

$$R_{w,CLT,wall} = 25 \lg m'_{CLT} - 8 \text{ in dB}$$

Anwendbar für CLT Wände von 60 bis 150 mm Stärke

$$R_{w,CLT,floor} = 12,2 \lg m'_{CLT} + 15 \text{ in dB}$$

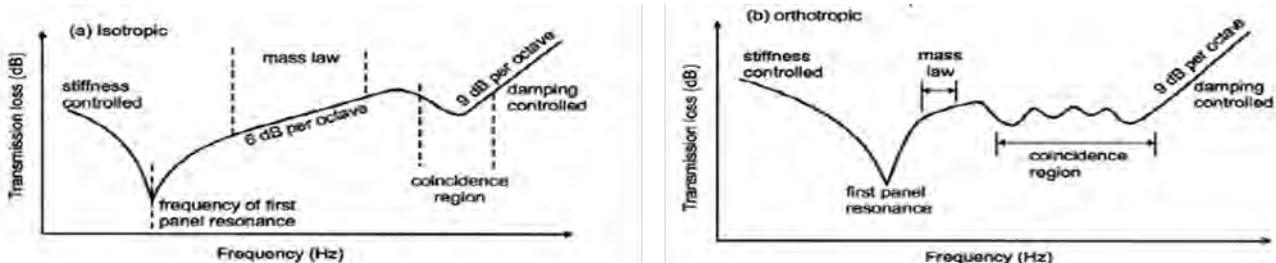
Anwendbar für CLT Decken von 120 bis 320 mm Stärke



Das Linke Diagramm zeigt Messergebnisse (Mittelwerte und Abweichungen) für das Schalldämm-Maß von CLT Elemente. Im rechten Diagramm werden die beiden „Massekurven für CLT“ als Grafen gezeichnet und mit Messwerten (Punkte) und verfügbaren Massekurven aus Normen und der Literatur vergleichend dargestellt.

3.3 Einschalige orthotrope Bauteile

Aufgrund der kreuzweisen Anordnung der einzelnen Lagen und der unterschiedlichen Festigkeitswerte von Holz in Faserrichtung bzw. normal dazu, hat auch CLT unterschiedliche Festigkeitswerte entlang beider primärer Achsen und kann als orthotrope Platte (also orthogonal-anisotrop) betrachtet werden. Orthotrope Materialien unterscheiden sich von isotropen massiven Bauteilen nun darin, dass sie aufgrund unterschiedlicher Biegesteifigkeiten entlang der primären Achsen (B_i und B_j) auch unterschiedliche koinzidenzbedingte Einbrüche der Schalldämmung in unterschiedlichen Frequenzbereichen ($f_{c,i}$ und $f_{c,j}$) aufweisen. Es zeigt sich an der Schallkurve einer CLT-Platte ohne Beplankung kein einzelner starker Einbruch in einem schmalen Frequenzbereich, sondern eine Bereich mit erhöhter Schallübertragung zwischen $f_{c,i}$ und $f_{c,j}$. In Abhängigkeit vom Verhältnis der beiden Steifigkeiten zueinander, welche von der Stärke und Anordnung der einzelnen Lamellen abhängt, kann sich dieser Bereich von einigen Terzbändern bis zu über einige Oktavbänder erstrecken und führt zu einer erhöhten Schallübertragung in diesem Bereich. Die Tatsache, dass der Koinzidenz-Bereich von CLT mit üblichen Stärken im bauakustisch relevanten Bereich liegt muss bei der Planung von Aufbauten berücksichtigt werden.



Die Abbildung zeigt das unterschiedliche Verhalten von Isotropen und orthotropen einschaligen Bauteilen. [4]

3.4 Mehrschalige Bauteile

Das schalltechnische Verhalten mehrschaliger Bauteile kann durch ein Masse-Feder-System beschrieben werden. Die Massen der Schalen und die dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht, bestimmen die Lage der Resonanzfrequenz welche maßgeblich die Schalldämmung bestimmt.

Liegt die Resonanzfrequenz f_0 (auch Eigenfrequenz) genügend tief (<100 Hz), so wird mit solchen Bauteilen, mit deutlich weniger Masse eine höhere Schalldämmung erreicht als mit einschaligen. Die Resonanzfrequenz f_0 von zwei Massen mit einer federnden Zwischenschicht lässt sich nach [ÖNorm B 8115-4] wie folgt berechnen:

$$f_0 = 160 * \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ [Hz]}$$

f_0 Resonanzfrequenz in Hz
 m'_1, m'_2 flächenbezogene Massen der Schalen in kg/m^2
 s' dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht (Dämmstoff oder Luft) in MN/m^3

Die dynamische Steifigkeit s' einer Luftschicht errechnet sich aus:

$$s' = \frac{0,14}{d} \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

Die dynamische Steifigkeit s' einer schallabsorbierenden Einlage errechnet sich aus:

$$s' = \frac{0,111}{d} \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

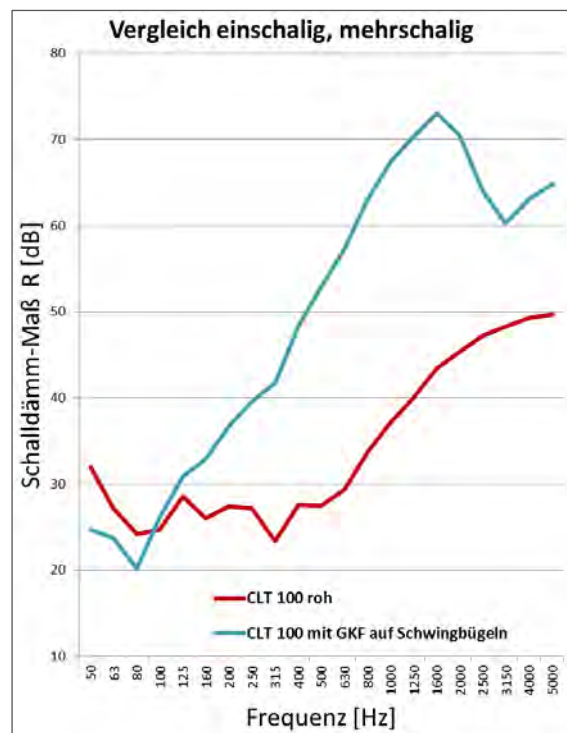
d ... Abstand zwischen den Schalen in m

Rote Kurve: $R_w = 34$ dB
 CLT 100 3s (als Rohbauteil)

Einschaliger Aufbau mit Koinzidenz-Bereich ($f_{c,i}$ bis $f_{c,j}$) der CLT-Platte zwischen ca. 125Hz und ca.400Hz. der mittlere Frequenzbereich wird durch die Masse und Dämpfung bestimmt und zeigt einen Anstieg der Schalldämmung um ca. 9dB pro Oktave. Der Kurvenverlauf im tieffrequenten Bereich ist durch geometriebedingte Eigenschwingungen der Platte, bzw. durch ein nicht diffuses Schallfeld in diesem Bereich beeinflusst.

Blaue Kurve: $R_w = 51$ dB
 CLT 100 3s mit Gipskartonplatte montiert auf Schwingbügeln

Zweischaliger Aufbau mit Resonanzfrequenz f_0 bei 80Hz, danach Anstieg der Schalldämmung um ca. 18dB pro Oktave, und Koinzidenzgrenzfrequenz der 12,5mm starken Gipskartonplatte bei ca. 2800Hz. Die Koinzidenzfrequenz der CLT-Platte hat aufgrund der entkoppelten Vorsatzschale nur einen geringen Einfluss. Hohlraumresonanzen wurden durch das Einlegen von Mineralwolle minimiert.



3.5 Berechnungsmodell für das Schalldämm-Maß von CLT-Wänden mit WDVS

Umfangreiche, über Jahre erworbene, Messungen von Außenwänden mit CLT und WDVS lieferten die Grundlage für dieses von Stora Enso in Zusammenarbeit mit dem IBO (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie) entwickelte Modell zur Berechnung der Schalldämmung von CLT Wänden mit WDVS (Wärmedämm-Verbundsystem).

Da auf Messungen zurückgegriffen werden konnte, bei welchen die dynamische Steifigkeit s' des Dämmstoffes tatsächlich gemessen wurde, und nicht auf Literatur- oder Herstellerangaben beruht, liegt die Genauigkeit des

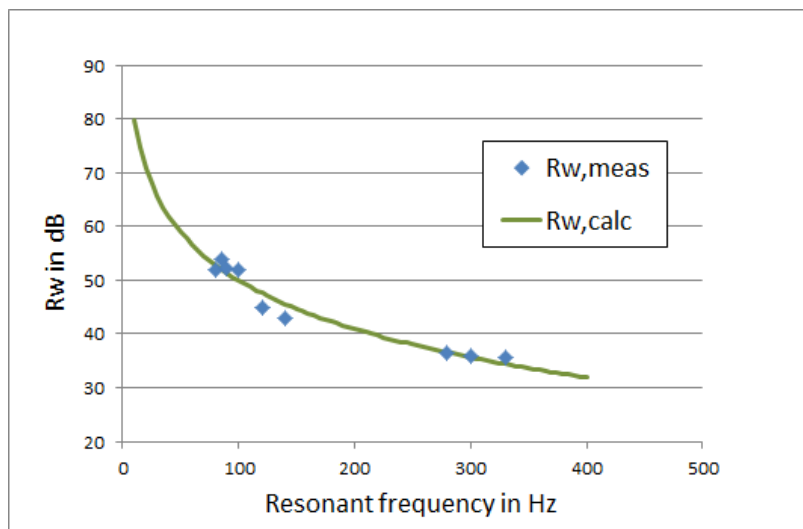
Modells, mit einer Standardabweichung von 1,6 und maximalen Abweichungen von +2,0 und -2,6 dB innerhalb der üblichen Genauigkeit von Bauakustikanwendungen [3].

Ausgehend von der Resonanzfrequenz f_R des Schwingensystems, bestehend aus CLT als erste Masse, Dämmplatte als Feder und dem Putz als zweite Masse, wird das bewertete Schalldämm-Maß R_w nach folgender Gleichung berechnet.

$$f_R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' * \left(\frac{1}{m'_{CLT}} + \frac{1}{m'_{Putz}} \right)} \text{ in Hz}$$

Abhängig von der Resonanzfrequenz berechnet sich dann das Schalldämm-Maß der Wand nach folgender Formel:

$$R_w = -30 \lg f_R + 110 \text{ in dB}$$



Die Grafik zeigt einen Vergleich von gemessenen und berechneten Werten.

Es ist zu beachten, dass die dynamische Steifigkeit des Dämmstoffs entscheidenden Einfluss auf die Resonanzfrequenz und damit auf die Schalldämmung der gesamten Außenwandkonstruktion hat. Da die dynamische Steifigkeit auch innerhalb einer Materialgruppe stark variieren kann, birgt die Verwendung von Literaturwerten das Risiko einer Über- bzw. Unterschätzung der Schalldämmung. Für die Berechnung sollten Herstellerangaben bzw. gemessene Werte des einzusetzenden Produktes herangezogen werden.

3.6 Schalldämmung zusammengesetzter Bauteile

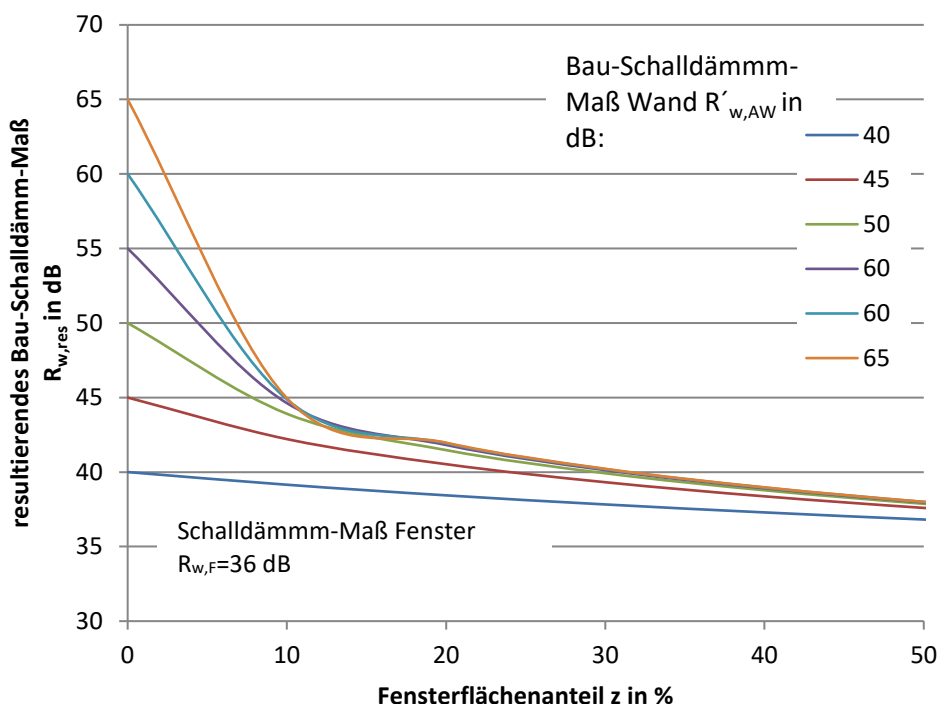
Sobald in eine Außenwand ein Fenster oder eine Tür eingebaut ist, wird die Schalldämmung dieses Bauteiles durch das bewertete resultierende Bauschalldämm-Maß $R'_{res,w}$ beschrieben.

Zur Bestimmung der Gesamtschalldämmung sind die Schalldämm-Maße der einzelnen Bauteil-Flächen (Fenster, Tür, Wand) sowie der jeweilige Flächenanteil zu berücksichtigen.

Die Berechnung des erforderlichen bewerteten Schalldämm-Maßes eines Fensters $R_{w,F,erf}$ erfolgt nach:

$$R_{w,F,erf} = R'_{w,AW} - 10 * \log \left[1 + \frac{S_g}{S_F} * \left(10^{\frac{R'_{w,AW} - R'_{res,w}}{10}} - 1 \right) \right]$$

Mit bewertetes Bau-Schalldämm-Maß der Außenwand ($R'_{w,AW}$), erforderliches resultierendes bewertetes Bau-Schalldämm-Maß ($R'_{res,w}$) und der gesamten Wand- (S_g) und Fensterfläche (S_F).



Das Diagramm zeigt das resultierende Bau-Schalldämm-Maß $R'_{res,w}$ in Abhängigkeit von der Fensterfläche beim Einbau eines Fensters mit $R_{w,F} = 36$ dB.

4. Schalldämmung von CLT Bauteilen

Schallwerte wurden aus Labor- und Baustellenmessungen entnommen. Details zur Knotenausbildung gibt es auf Anfrage.

Schallwerte von diversen Wand- Decken- und Dachaufbauten finden sich im Bauphysikteil des StoraEnso Technikordners, zu finden als Download auf www.clt.info. Auch die öffentlich zugänglichen Bauteildatenbanken Dataholz (www.dataholz.at) oder der Lignum Bauteilkatalog (<http://bauteilkatalog.lignum.ch/>) beinhalten eine Vielzahl geprüfter Aufbauten.

4.1 Deckenaufbauten

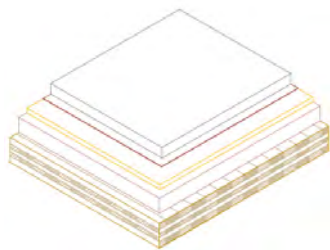
Eine Verbesserung des Schallschutzes von Deckenkonstruktionen kann entweder durch die Erhöhung von Masse, oder durch die Verbesserung der Entkopplung erreicht werden. Durch die zusätzliche Masse, als Rohdeckenbeschwerung oder Beschwerung der Unterdecke, wird durch die Reduzierung der Anregbarkeit eine geringere Schallabstrahlung erreicht. Oberhalb ihrer Resonanzfrequenz wird die Übertragung der Bauteilschwingung innerhalb der Konstruktion reduziert. Die Resonanzfrequenz ist dabei möglichst tief (<80Hz) abzustimmen.

Für die Praxis bedeutet das: ein relativ schwerer Estrich (5-7cm Zementestrich; wichtig: Randdämmstreifen wird erst nach dem Verlegen des Bodenbelages abgeschnitten) auf einer weichen Trittschalldämmplatte ($s' \leq 10$) und darunter zusätzliche Masse in Form einer Splittschüttung. Bei Decken ohne Abhängung ist die Dicke der Schüttung auf ca. 10cm zu erhöhen, und lose Schüttungen sind aufgrund ihrer höheren Dämpfung gebundenen vorzuziehen, wobei der Einsatz loser Schüttungen und ganz weicher Trittschalldämmplatten im Vorfeld mit dem Estrichleger besprochen werden sollte.

Eine Alternative zu losen Schüttungen bilden elastisch gebundene Schüttungen, welche mit einem Latexbindemittel versetzt werden und dadurch ihre dämpfende Wirkung behalten. Deckenverkleidungen wirken schallschutztechnisch am günstigsten, wenn sie entkoppelt (auf Schwingbügeln oder Federschienen)

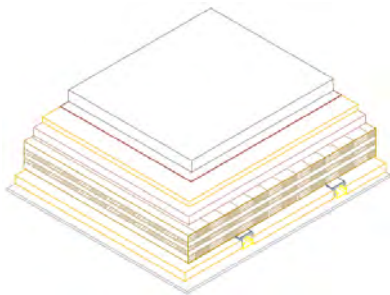
montiert werden. Auch auf eine Hohlraumdämpfung mit Mineralwolle sollte zur Vermeidung von Hohlraumresonanzen nicht verzichtet werden. [2]

4.1.1 Beispiele für Deckenaufbauten:



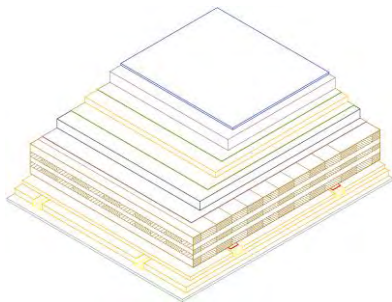
70mm Zementestrich (2200kg/m³)
 0,2mm PE-Folie
 30mm Trittschalldämmplatte ($s' < 10\text{MN/m}^3$)
 100mm Splittschüttung (elastisch gebunden)
 140mm **CLT von Stora Enso**

$R_w(C;C_{tr}) = 63 (-2;-5) \text{ dB}$
 $L_{n,w}(C_I) = 43 (-3) \text{ dB}$



70mm Zementestrich (2200kg/m³)
 0,2mm PE-Folie
 30mm Trittschalldämmplatte ($s' < 10\text{MN/m}^3$)
 50mm Splittschüttung (lose eingebracht)
 140mm **CLT von Stora Enso**
 70mm Abhängung, dazwischen 60mm Mineralwolle
 15mm Gipskartonplatte

$R_w(C;C_{tr}) = 63 (-2;-6) \text{ dB}$
 $L_{n,w}(C_I) = 46 (1) \text{ dB}$



10 mm Teppich
 60 mm Zementestrich
 0,2mm PE-Folie
 30mm Trittschalldämmplatte
 50 mm Splittschüttung
 0,2mm Rieselschutz
 165mm **CLT von Stora Enso**
 70mm Abhängung, dazwischen 50mm Mineralwolle
 12,5mm Gipskartonplatte

$D_{nT,w}(C;C_{tr}) = 62 (-3;-9) \text{ dB}$
 $L'_{nT,w}(C_I) = 39 (7) \text{ dB}$

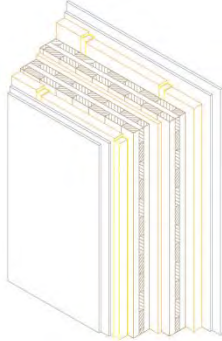
4.2 Wandaufbauten

Während die Schalldämmung von einschaligen Bauteilen durch ihre flächenbezogene Masse und die Biegesteifigkeit bestimmt ist, lässt sich mit mehrschaligen Bauteilen mit geringerer Masse eine höhere Schalldämmung erreichen. Um eine gute Schalldämmung zu erreichen ist die Resonanzfrequenz von Vorsatzschalen möglichst tief ($\leq 100\text{Hz}$) abzustimmen. Verringern lässt sich die Resonanzfrequenz durch die Vergrößerung des Schalenabstandes, die Erhöhung der Masse der einzelnen Schalen sowie durch eine möglichst elastische Anbindung der Vorsatzschale an die tragende Wand. Zur Vermeidung von Hohlraumresonanzen sind Vorsatzschalen mit faserigen Dämmstoffen auszdämmen.

4.2.1 Beispiele für Trenwandaufbauten

Details zur Knotenausbildung gibt es auf Anfrage.

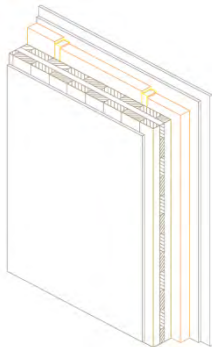
Zweischalig, Vorsatzschale



- 12,5mm Gipskartonplatte
- 12,5mm Gipskartonplatte
- 50mm freistehende Vorsatzschale incl. 50 mm Mineralwolle
- 5mm Vorlegeband
- 100mm **CLT von Stora Enso**
- 40mm Mineralwolle
- 100mm **CLT von Stora Enso**
- 5mm Vorlegeband
- 50mm freistehende Vorsatzschale incl. 50 mm Mineralwolle
- 12,5mm Gipskartonplatte
- 12,5mm Gipskartonplatte

$D_{nT,w} (C;C_{tr})$: 67 (-1;-4) dB

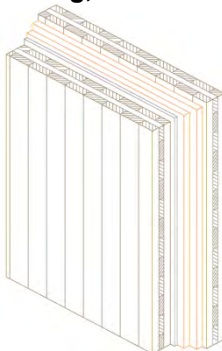
Einschalig, Vorsatzschale



- 12,5mm Gipskartonplatte
- 100mm **CLT von Stora Enso**
- 5mm Vorlegeband
- 50mm freistehende Vorsatzschale CW-Profil, incl. 50 mm Mineralwolle
- 12,5mm Gipskartonplatte
- 12,5mm Gipskartonplatte

$R'_w (C;C_{tr})$: 59 (-2;-8) dB

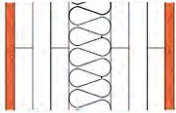
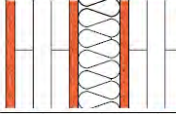
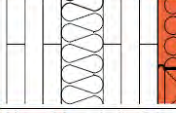
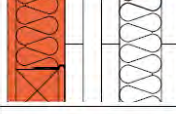
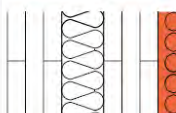
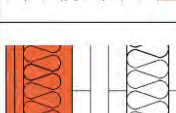
Zweischalig, CLT Sichtbar



- 100mm **CLT von Stora Enso**
- 12,5mm Gipskartonplatte
- 30mm Mineralwolle
- 30mm Mineralwolle
- 5mm Luftschicht
- 100mm **CLT von Stora Enso**

$R'_w (C;C_{tr})$: 59 (-3;-10) dB

4.2.1.1 Verbesserung durch Vorsatzschale/Installationsebene [2]

	Ausführung der Innenbekleidung	Verbesserung
	einseitige Bekleidung durch 1 x 12,5 mm Gipskartonplatten	1 dB
	zweiseitige Bekleidung durch 1 x 12,5 mm Gipskartonplatten	2 dB
	einseitige gedämmte Vorsatzschale auf Schwingbügel	< 7 dB
	beidseitige gedämmte Vorsatzschale auf Schwingbügel	< 10 dB
	einseitige Vorsatzschale, vollständig entkoppelt ¹⁾ mit 85 mm Hohlraum mit Hohlraumdämpfung 50 mm Mineralwolle zw. CW-Profil und mit 2 Lagen Gipskartonplatte bekleidet	< 11 dB
	zweiseitige Vorsatzschale, vollständig entkoppelt ¹⁾ mit 85 mm Hohlraum mit Hohlraumdämpfung 50 mm Mineralwolle zw. CW-Profil und mit 2 Lage Gipskartonplatte bekleidet	< 15 dB

¹⁾: Befestigung ausschließlich an der Decke und dem Boden

Abbildung 1: Verbesserung der Luftschalldämmung durch unterschiedliche Art der Innenwandbekleidung (in rot), bei zweischaliger CLT-Wand mit Hohlraumdämmung (60mm Mineralfaser) [2].

4.2.2 Beispiele für Außenwandaufbauten

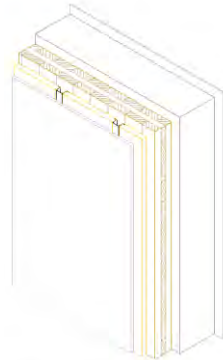
Wärmedämmverbundsystem und CLT Sichtoberfläche



7mm Putzsystem
 140 -220 mm Var. Dämmstoff
 100mm **CLT von Stora Enso**

Dämmstoff	dyn. Steifigkeit s'	Schalldämm-Maß R_w (C,Ctr)
Hanffaser	3 MN/m ³	51 (-3, -10) dB
Mineralwolle	5 MN/m ³	44 (-2, -8) dB
EPS	6 MN/m ³	43 (-5, -10) dB
Holzweichfaser	8 MN/m ³	40 (-2, -6) dB

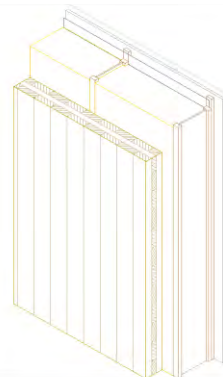
Wärmedämmverbundsystem und GKF auf Federschiene



5mm Putzsystem
 240mm EPS Hartschaumdämmung
 90mm **CLT von Stora Enso**
 27mm Mineralfaserdämmung zwischen Federschiene
 15mm GKF

R_w (C;C_{tr}): 48 (-3;-10) dB

Hinterlüftete Fassade

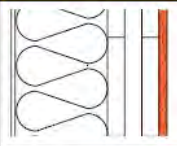
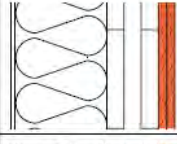

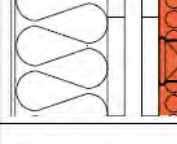
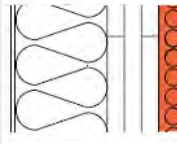
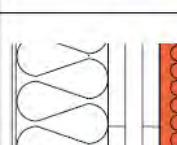


5mm Mineralischer Putz
 12,5mm Zementgebundene Leichtbeton-Bauplatte
 30mm Sparschalung
 <1mm Unterspannbahn
 200mm Holz-/Holzwerkstoff-Stegträger,
 dazwischen 200mm Holzweichfaserdämmung
 80mm **CLT von Stora Enso**

R_w (C;C_{tr}): 43 (-2;-7) dB

4.2.2.1 Verbesserung durch Vorsatzschale/Installationsebene:

In den folgenden Abbildungen wird die schalltechnische Wirkung einer Vorsatzschale in Form einer Installationsebene quantitativ angeführt. Die Verbesserung in dB ist ein Richtwert und bezieht sich auf den direkten Schallübertragungsweg. [2]

	Ausführung der Innenbekleidung	Verbesserung
	1-lagige Bekleidung durch 12,5 mm Gipskartonplatten	0 - 1 dB
	2-lagige Bekleidung durch 12,5 mm Gipskartonplatten	1 - 2 dB
	mit Mineralwolle gedämmte Vorsatzschale direkt auf Rohwand befestigt und mit 1 x 12,5 mm Gipskartonplatte bekleidet	< 6 dB
	mit Mineralwolle gedämmte Vorsatzschale mit Lattung auf Schwingbügel befestigt und mit 1 x 12,5 mm Gipskartonplatte bekleidet	< 15 dB
	mit Mineralfaser gedämmte Vorsatzschale vollständig entkoppelt ¹⁾ : mit 85 mm Hohlraum mit Hohlraumdämpfung \geq 50 mm Mineralfaser zw. CW-Profil und mit 1 x 12,5 mm Gipskartonplatte bekleidet	< 22 dB
	mit Mineralfaser gedämmte Vorsatzschale vollständig entkoppelt ¹⁾ : mit 85 mm Hohlraum mit Hohlraumdämpfung \geq 50 mm Mineralfaser zw. CW-Profil und mit 2 x 12,5 mm Gipskartonplatte bekleidet	< 23 dB

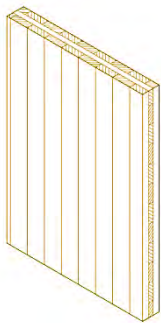
¹⁾ Befestigung ausschließlich an der Decke und dem Boden

Abbildung 2: Verbesserung der Luftschalldämmung durch unterschiedliche Art der Innenwandbekleidung (in rot), auf Basis einer Grundwand bestehend aus: CLT Element und Wärmedämmverbundsystem [2].

4.2.3 Beispiele für Innenwandaufbauten

Auch wenn innerhalb einer Nutzungseinheit keine Schallschutzanforderungen gelten, sollte zur Vermeidung von Schallbelästigung beim Entwurf von Gebäuden auf eine schalltechnisch günstige Raumzuordnung geachtet werden. Maßnahmen zur schalltechnischen Verbesserungen von Innenwänden, wie das Anbringen von Vorsatzschalen, sollten immer im lauten Raum erfolgen, da dadurch das Einleiten von Schall in die Konstruktion, und damit der Anteil des Flankenschalls geringer ist. Bei einer Messserie am Labor für Bauphysik der TU-Graz wurde die Schalldämmung einer 100mm starken CLT-Wand mit verschiedenen Verkleidungen untersucht.

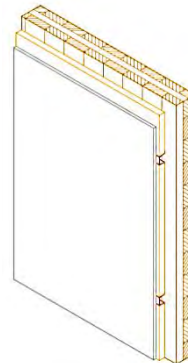
CLT Rohwand



100mm **StoraEnso CLT**

$R_w (C;C_{tr}): 34 (-1;-3) \text{ dB}$

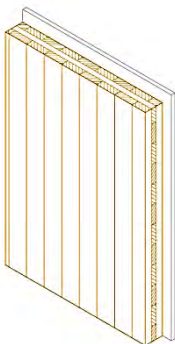
Federschiene



100mm **StoraEnso CLT**
27mm Federschiene
12,5mm GKF

$R_w (C;C_{tr}): 48 (-5;-12) \text{ dB}$

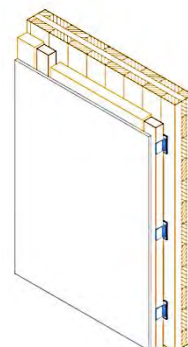
GKF einseitig



100mm **StoraEnso CLT**
12,5mm GKF

$R_w (C;C_{tr}): 37 (-1;-3) \text{ dB}$

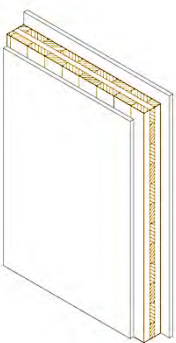
Schwingbügel



100mm **StoraEnso CLT**
3mm Anschlussdichtband
50mm Schwingbügel dazwischen
Mineralwolle
12,5mm GKF

$R_w (C;C_{tr}): 51 (-2;-8) \text{ dB}$

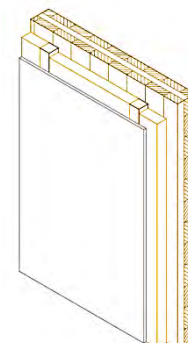
GKF beidseitig



2,5mm GKF
100mm **StoraEnso CLT**
12,5mm GKF

$R_w (C;C_{tr}): 37 (-1;-3) \text{ dB}$

Holzstaffeln



100mm **StoraEnso CLT**
50mm Holzlattung dazwischen
Mineralwolle
12,5mm GKF

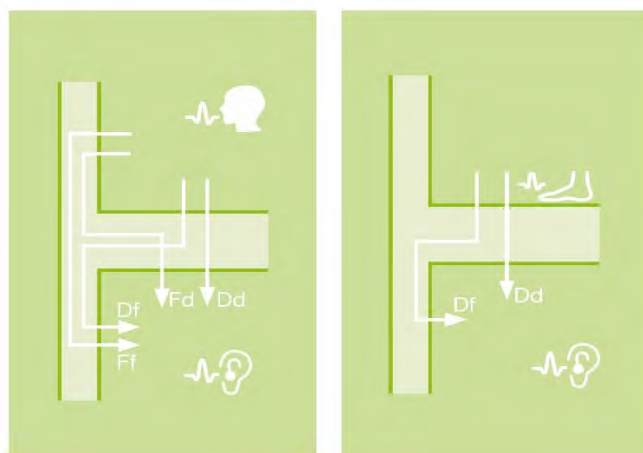
$R_w (C;C_{tr}): 45 (-1;-5) \text{ dB}$

5. Schallübertragung in Gebäuden

Neben dem Schallweg direkt über das Trennbauteil existieren je nach Ausführung mehrere Schallnebenwege die als Flanken bezeichnet werden.

Da die Anforderung an den Schallschutz der einzelnen Länder die Schalldämmung inklusive der Nebenwege beinhaltet, müssen neben dem Trennbauteil auch die flankierenden Bauteile betrachtet werden. Dabei gilt: je hochwertiger das Trennbauteil, desto gewichtiger wird der Anteil des Flankenschalls an der gesamten Schallübertragung. Gemindert wird der Flankenschall durch eine Entkoppelung der Bauteile (z.B. mittels Elastomeren) oder das Anbringen biegeweicher Vorsatzschalen.

Konstruktive Grundsätze hinsichtlich des Erfordernisses elastischer Lager wurden von der Holzforschung Austria in [2] publiziert und sind auszugsweise im Anhang dieses Dokuments beschrieben.



Schallübertragungswege zwischen zwei Räumen

- F Flanke angeregt
- D direkt angeregt
- f Flanke abgestrahlt
- d direkt abgestrahlt

Prinzipiell kann die Nachweisführung des Schallschutzes entweder rechnerisch anhand der Berechnungsmethode nach EN 12354 oder messtechnisch anhand von Baustellenmessungen erfolgen. Trotz reger Forschung und erster Publikationen, gibt es für das relativ junge Produkt Brettsperrholz, bislang keine hinreichend genauen Eingangswerte für eine Berechnung nach EN 12354. Vereinfachte Berechnungsansätze für die Schallübertragung im Massivholzbau können unter anderem den Publikationen vom Informationsdienst Holz [5] oder der Holzforschung Austria [6] entnommen werden.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an gut dokumentierten Baustellenmessungen, auf welche als Hilfestellung bei der Nachweisführung auf Anfrage zurückgegriffen werden kann.

Literaturverzeichnis

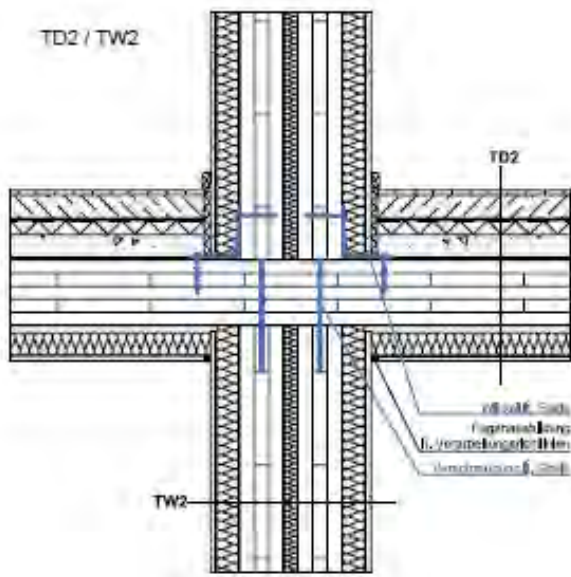
- [1] B. Rasmussen und M. Machimbarrena, „Existing sound insulation performance requirements and classification schemes for housing across Europe,“ in *COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe*, 2014.
- [2] M. Teibinger, I. Matzinger und F. Dolezal, Bauen mit Brettsper Holz im Geschoßbau - Focus Bauphysik, Planungsbroschüre, Holzforschung Austria, Wien, 2013.
- [3] F. Dolezal und N. Kumer, Semiempirical model for prediction of weighted sound reduction index of cross laminated timber walls with external thermal insulation composite systems, Zagreb: AAAA, 2018.
- [4] D. Bies und C. Hansen, Engineering noise control - Theory and Practice, 2003.
- [5] F. Holtz, J. Hessinger, H. P. Buschbacher und A. Rabold, „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken,“ in *Informationsdienst Holz - Holzbauhandbuch Reihe 3 Teil 3 Folge 3*, München, Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH), 1999.
- [6] M. Teibinger, F. Dolezal und I. Matzinger, Deckenkonstruktionen für den mehrgeschoßigen Holzbau - Schall- und Brandschutzl, Wien: Holzforschung Austria, 2009.

Anhang A: Vergleich von Mindestanforderungen in 35 europäischen Ländern [1]

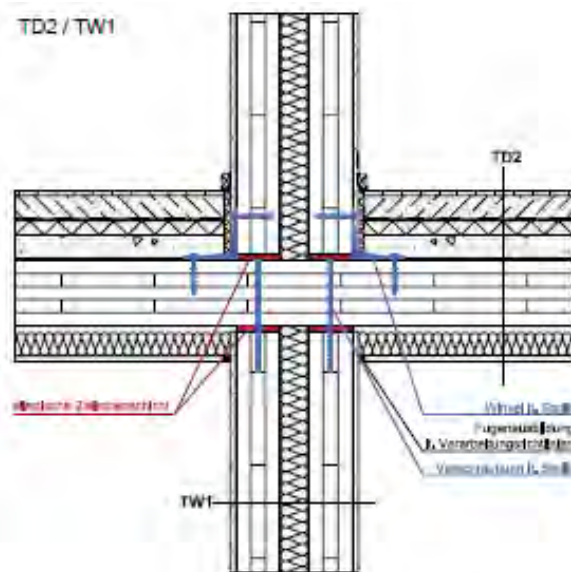
Airborne Sound (Status June 2013)		Multi-storey housing	Row housing
Country	Descriptor	Req. [dB]	Req. [dB]
Austria	DnT,w	≥ 55	≥ 60
Belgium	DnT,w	≥ 54	≥ 58
Bulgaria	R'w	≥ 53	≥ 53
Croatia	R'w	≥ 52	≥ 52
Cyprus	N/A	N/A	N/A
Czech Rep.	R'w	≥ 53	≥ 57
Denmark	R'w	≥ 55	≥ 55
England & Wales	DnT,w + Ctr	≥ 45	≥ 45
Estonia	R'w	≥ 55	≥ 55
Finland	R'w	≥ 55	≥ 55
France	DnT,w + C	≥ 53	≥ 53
Germany	R'w	≥ 53	≥ 57
Greece	R'w	≥ 50	≥ 50
Hungary	R'w + C	≥ 51	≥ 56
Iceland	R'w	≥ 55	≥ 55
Ireland	DnT,w	≥ 53	≥ 53
Italy	R'w	≥ 50	≥ 50
Latvia	R'w	≥ 54	≥ 54
Lithuania	DnT,w or R'w	≥ 55	≥ 55
Luxembourg	N/A	N/A	N/A
Macedonia FYR	N/A	N/A	N/A
Malta	N/A	N/A	N/A
Netherlands	R'w + C	≥ 52	≥ 52
Norway	R'w	≥ 55	≥ 55
Poland	R'w + C	≥ 50	≥ 52
Portugal	DnT,w	≥ 50	≥ 50
Romania	R'w	≥ 51	≥ 51
Scotland	DnT,w	≥ 56	≥ 56
Serbia	R'w	≥ 52	≥ 52
Slovakia	R'w or DnT,w	≥ 53	≥ 57
Slovenia	R'w	≥ 52	≥ 52
Spain	DnT,A ≈ DnT,w + C	≥ 50	≥ 50
Sweden	R'w + C50-3150	≥ 53	≥ 53
Switzerland	DnT,w + C	≥ 52	≥ 55
Turkey	N/A	N/A	N/A

Impact Sound (Status June 2013)		Multi-storey housing	Row housing
Country	Descriptor	Req. [dB]	Req. [dB]
Austria	L'nT,w	≤ 48	≤ 43
Belgium	L'nT,w	≤ 58	≤ 50
Bulgaria	L'n,w	≤ 53	≤ 53
Croatia	L'w	≤ 68	≤ 68
Cyprus	N/A	N/A	N/A
Czech Rep.	L'n,w	≤ 55	≤ 48
Denmark	L'n,w	≤ 53	≤ 53
England & Wales	L'nT,w	≤ 62	None
Estonia	L'n,w	≤ 53	≤ 53
Finland	L'n,w	≤ 53	≤ 53
France	L'nT,w	≤ 58	≤ 58
Germany	L'n,w	≤ 53	≤ 48
Greece	L'n,w	≤ 60	≤ 60 Info
Hungary	L'n,w	≤ 55	≤ 45
Iceland	L'n,w	≤ 53	≤ 53
Ireland	L'nT,w	≤ 62	None
Italy	L'n,w	≤ 63	≤ 63
Latvia	L'n,w	≤ 54	≤ 54
Lithuania	L'n,w	≤ 53	≤ 53
Luxembourg	N/A	N/A	N/A
Macedonia FYR	N/A	N/A	N/A
Malta	N/A	N/A	N/A
Netherlands	L'nT,w + CI	≤ 54	≤ 54
Norway	L'n,w	≤ 53	≤ 53
Poland	L'n,w	≤ 58	≤ 53
Portugal	L'nT,w	≤ 60	≤ 60
Romania	L'n,w	≤ 59	≤ 59
Scotland	L'nT,w	≤ 56	None
Serbia	L'n,w	≤ 68	≤ 68
Slovakia	L'n,w or L'nT,w	≤ 55	≤ 48
Slovenia	L'n,w	≤ 58	≤ 58
Spain	L'nT,w	≤ 65	≤ 65
Sweden	L'n,w + CI,50-2500	≤ 56	≤ 56
Switzerland	L'nT,w + CI	≤ 53	≤ 50
Turkey	N/A	N/A	N/A

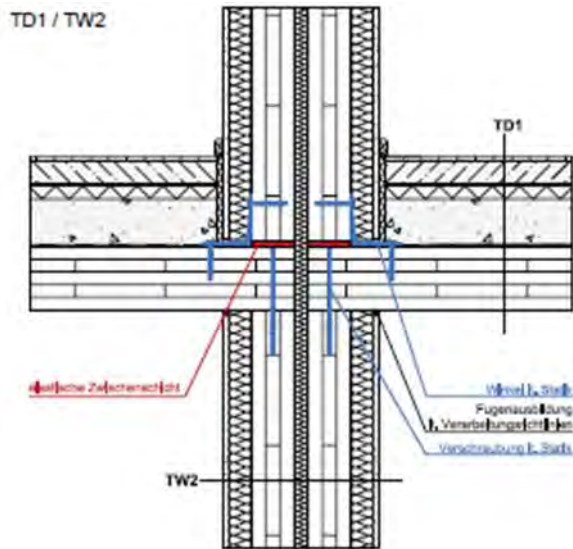
Anhang B: Konstruktive Grundsätze hinsichtlich des Erfordernisses elastischer Lager [2]



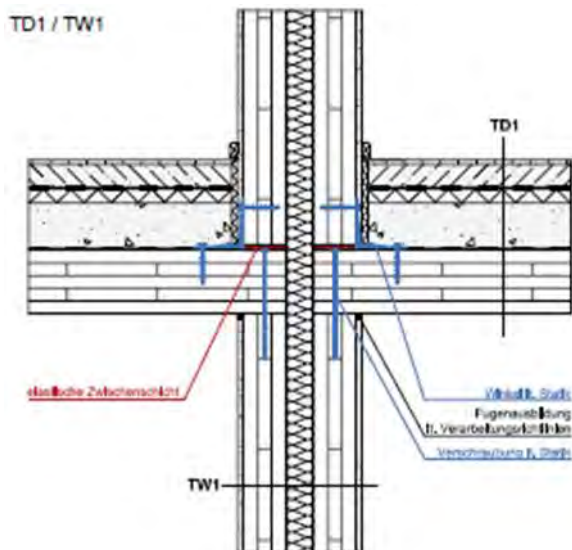
Bei abgehängter Untersicht der Decke und entkoppelten Vorsatzschalen sind **keine Lager** erforderlich.



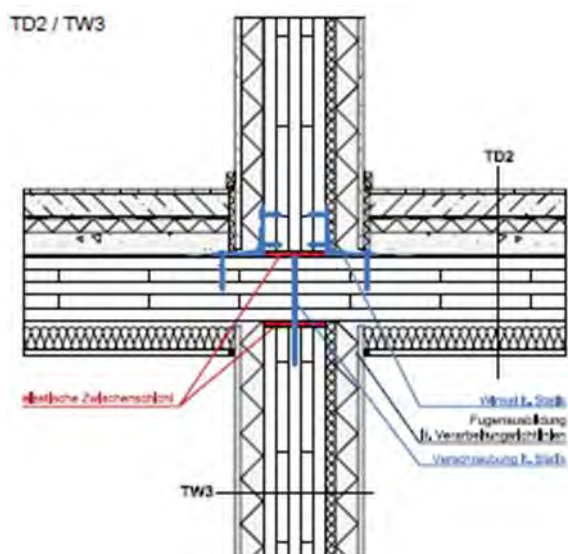
Bei abgehängter Untersicht an der Decke und keinen entkoppelten Vorsatzschalen an den Wänden sind **sowohl oberhalb als auch unterhalb der Decke elastische Lager** erforderlich.



Bei Brettsperrholzdecken mit Holunterseite (ohne abgehängter Untersicht) und entkoppelten Vorsatzschalen an den Wänden sind **oberhalb der Decke elastische Lager** erforderlich.



Bei Brettsperrholzdecken mit Holunterseite (ohne abgehängter Untersicht) und keinen entkoppelten Vorsatzschalen an den Wänden sind **oberhalb der Decke elastische Lager** erforderlich.



Durchlaufdecken über unterschiedliche Nutzungseinheiten benötigen immer **entkoppelte Vorsatzschalen, abgehängte Untersichten und elastische Lager oberhalb und unterhalb der Decke.**



Stora Enso
Division Wood Products

Building Solutions
E-Mail: buildingsolutions@storaenso.com
www.storaenso.com
www.clt.info
facebook.com/storaensolvingroom