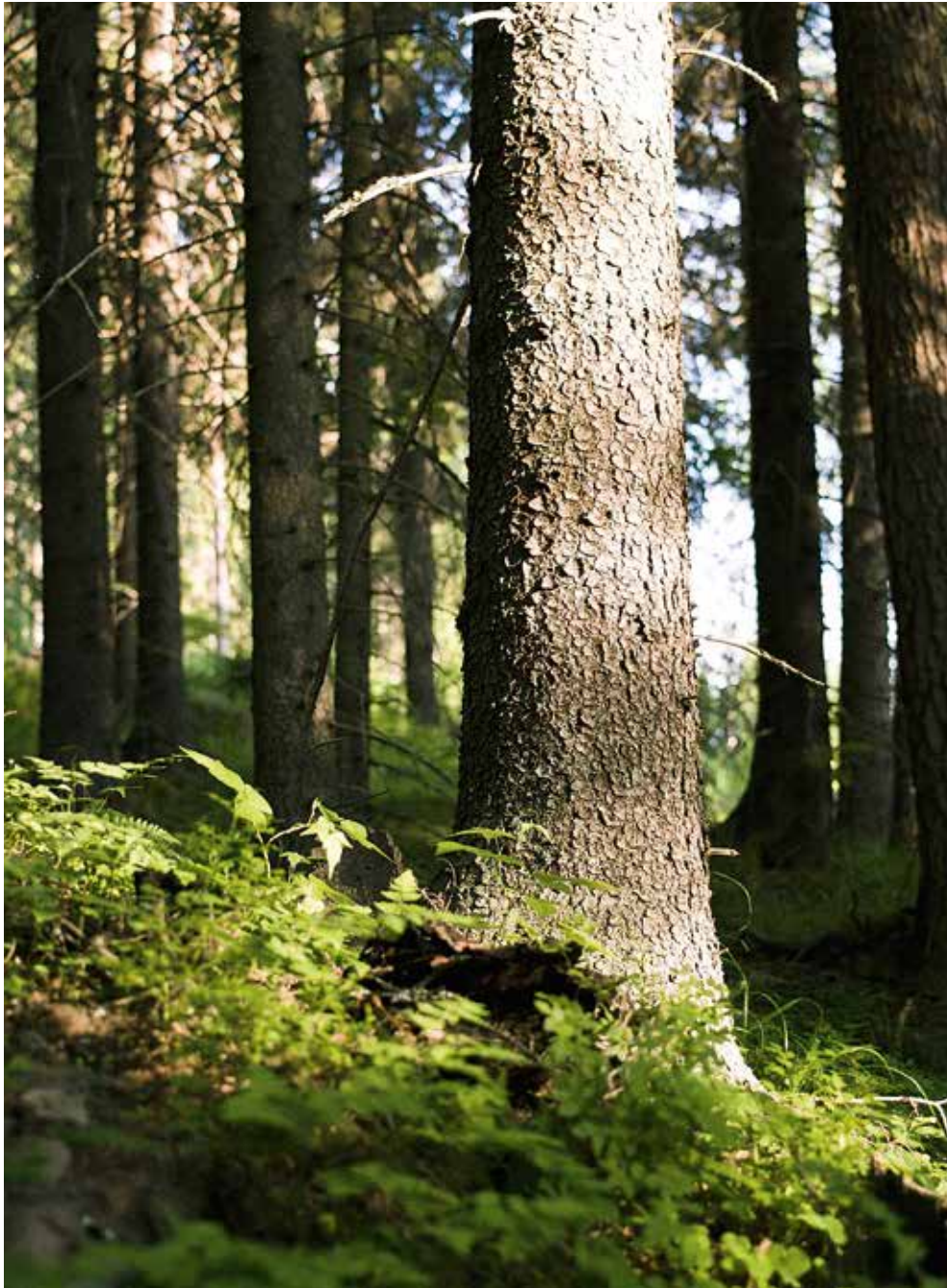


CLT by Stora Enso

Technische Broschüre





Stora Enso

Das Unternehmen für erneuerbare Materialien

Als ein Teil der ökologischen Wirtschaft ist Stora Enso ein führender Anbieter von erneuerbaren Lösungen in den Bereichen Verpackung, Biomaterialien, Holzbau und Papier auf den Weltmärkten.

Wir sind überzeugt, dass alles, was heute noch aus Materialien auf fossiler Basis hergestellt wird, morgen aus einem Baum gemacht werden kann. Unsere Materialien sind erneuerbar, wiederverwendbar und wiederverwertbar und bilden die Bausteine für eine Palette von innovativen Lösungen, die dazu beitragen können, Produkte auf der Basis fossiler Brennstoffe und anderer nicht erneuerbarer Materialien zu ersetzen.

Durch die Bindung von Kohlenstoff im Holz bieten die Produkte ein wirklich nachhaltiges Mittel zur Bekämpfung des Klimawandels.

Die Produkte von Stora Enso werden vollständig aus erneuerbarem Holz hergestellt, das aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammt. Die Holzlieferketten zu den Wood Products Werken von Stora Enso werden durch ein extern zertifiziertes Rückverfolgungssystem für Holz abgedeckt.

Inhaltsverzeichnis

1. CLT – Cross Laminated Timber	4
Kenndaten	4
Standardausführungen	5
Plattenaufbau	6
Oberflächenqualitäten	7
Qualitätsbezeichnungen	8
2. Konstruktion	10
3. Bauphysik	12
Wärmedämmung	12
Luftdichtheit	14
Feuchtigkeit	16
Schalldämmung mit CLT	18
CLT und Brandschutz	21
4. Baustatik	24
Allgemeines	24
Berechnung und Dimensionierung von CLT	25
Dimensionierung von CLT mit der CLT-Entwurfssoftware von Stora Enso	26
Vorbemessungstabellen	26
5. Projektabwicklung	28

Diese Broschüre ist eine Kurzfassung der technischen Broschüre für CLT. Weitere Informationen rund um die Quellen finden Sie in der Broschüre.

Siehe auch: storaenso.com/woodproducts/clt

Stora Enso Wood Products GmbH übernimmt keine Haftung für die Vollständigkeit oder Richtigkeit der hierin enthaltenen Informationen.

1. CLT

Cross Laminated Timber

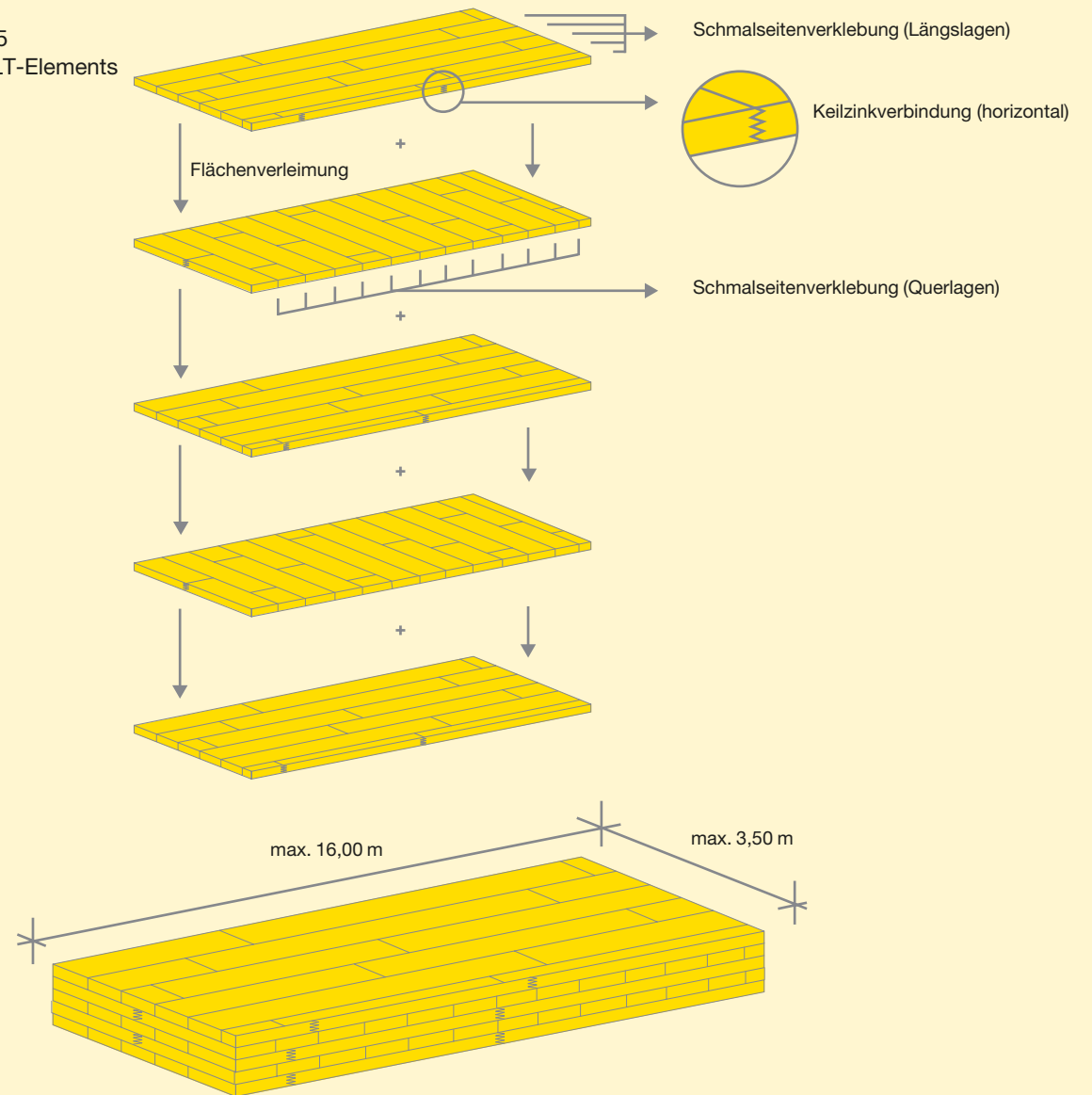
Kenndaten

Anwendung	Konstruktive Wand, Decken- und Dachelemente
Maximale Elementabmessungen	Länge: 16 m / Breite: 3,45 m / Dicke: 0,35 m
In Rechnung gestellte Breiten	2,25 m / 2,45 m / 2,75 m / 2,95 m / 3,25 m / 3,45 m (auf Anfrage bis 3,90 m)
Plattenaufbau	3, 5, 7 oder mehr Lagen je nach statischer Erfordernis
Holzarten	Fichte (Kiefer, Tanne, Weißtanne, Zirbe, Lärche und weitere auf Anfrage)
Festigkeitsklasse	C 24 nach EN 338, maximal 10% C16 zulässig (andere Festigkeitsklasse siehe ETA 14/0349)
Holzfeuchte	12% ± 2% bei Lieferung
Verklebung	Formaldehydfreier PUR-Klebstoff für Keilzinkenverbindungen und Flächenverleimungen, zugelassen für tragende und nicht-tragende Bauteile im Innen- und Außenbereich nach EN 15425; Formaldehydfreier EPI-Klebstoff für Schmalseitenverleimungen
Oberflächenqualitäten	Nichtsicht (NVI), Industriesicht (IVI) und Wohnsicht (VI) Die Oberflächen werden immer auf beiden Seiten geschliffen
Gewicht	5,0 kN/m ³ gemäß DIN 1055-2002 für statische Berechnungen 470 kg/m ³ für Bestimmung des Transportgewichtes
Brandverhalten	In Übereinstimmung mit der Entscheidung 2003/43/EG der Kommission: • Holzbauteile (außer Böden) ➔ Euroklasse D-s2, d0 • Böden ➔ Euroklasse Dfl-s1
Wärmeleitfähigkeit	0,12 W/(mK)
Luftdichtheit	CLT-Elemente bestehen aus mindestens drei Lagen von Einschichtplatten und sind daher extrem luftdicht. Die Luftdichtheit eines 3 schichtigen CLT-Elements wurde gemäß EN 12 114 getestet.
Dauerhaftigkeit	Nutzungsklasse 1 und 2 nach EN 1995-1-1

Plattenaufbau

CLT-Elemente bestehen aus mindestens drei rechtwinklig zueinander angeordneter Lagen tragend verklebter Einschichtplatten. Die max. Elementabmessungen betragen 3,5 x 16 m.

Beispiel:
Entwurf eines 5
schichtigen CLT-Elements



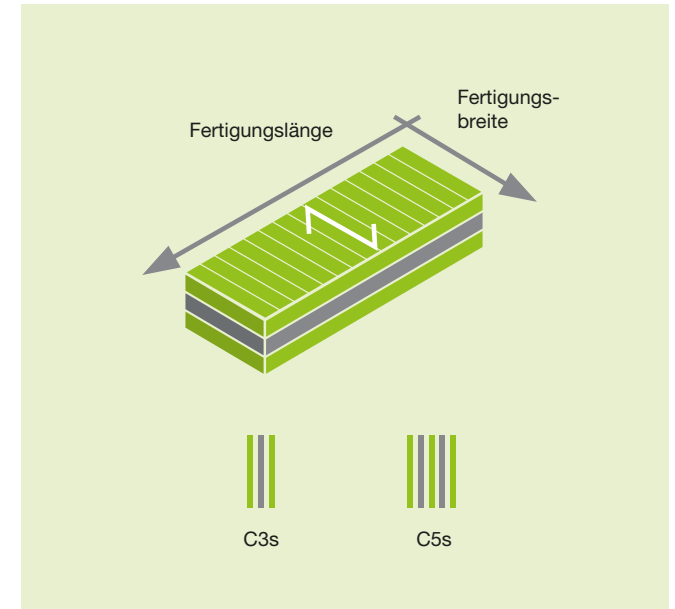
* Ab fünf Lagen können auch Mittellagen (Querlagen) ohne Schmalseitenverleimung verarbeitet werden.

Standardauslegung

C-Platten

Die Faserrichtung der Decklagen ist immer parallel zu den Fertigungsbreiten.

Stärke [mm]	Plattentyp [–]	Lagen [–]	Plattenaufbau [mm]						
			C***	L	C***	L	C***	L	C***
60	C3s	3	20	20	20				
80	C3s	3	20	40	20				
90	C3s	3	30	30	30				
100	C3s	3	30	40	30				
120	C3s	3	40	40	40				
100	C5s	5	20	20	20	20	20		
120	C5s	5	30	20	20	20	30		
140	C5s	5	40	20	20	20	40		
160	C5s	5	40	20	40	20	40		



* Decklagen bestehen aus zwei Längslagen

** Decklagen und Innenlage bestehen aus zwei Längslagen

**** Bei C-Platten ist die Schleifrichtung rechtwinklig zur Faser

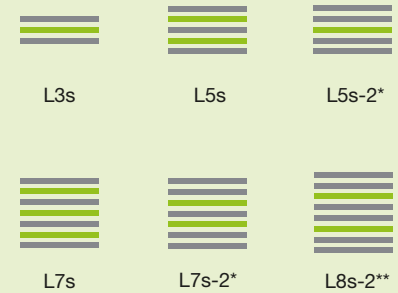
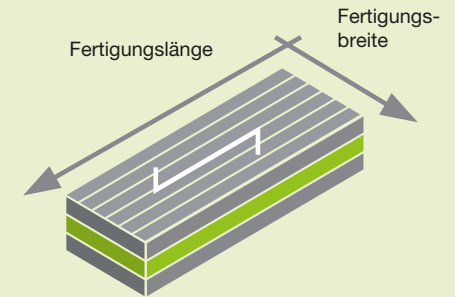
Fertigungsbreiten: 225 cm, 245 cm, 275 cm, 295 cm, 325 cm, 345 cm

Fertigungslängen: Min. 8 m pro Verrechnungsbreite bis max. 16 m (in 10 cm Schritten)

L-Platten

Die Faserrichtung der Decklagen ist immer rechtwinklig zu den Fertigungsbreiten.

Stärke [mm]	Plattentyp [—]	Lagen [—]	Plattenaufbau [mm]						
			L	C	L	C	L	C	L
60	L3s	3	20	20	20				
80	L3s	3	20	40	20				
90	L3s	3	30	30	30				
100	L3s	3	30	40	30				
120	L3s	3	40	40	40				
100	L5s	5	20	20	20	20	20		
120	L5s	5	30	20	20	20	30		
140	L5s	5	40	20	20	20	40		
160	L5s	5	40	20	40	20	40		
180	L5s	5	40	30	40	30	40		
200	L5s	5	40	40	40	40	40		
160	L5s-2*	5	60	40	60				
180	L7s	7	30	20	30	20	30	20	30
200	L7s	7	20	40	20	40	20	40	20
240	L7s	7	30	40	30	40	30	40	30
220	L7s-2*	7	60	30	40	30	60		
240	L7s-2*	7	80	20	40	20	80		
260	L7s-2*	7	80	30	40	30	80		
280	L7s-2*	7	80	40	40	40	80		
300	L8s-2**	8	80	30	80	30	80		
320	L8s-2**	8	80	40	80	40	80		



Oberflächen- qualitäten

Oberflächenqualität - CLT Erscheinungsklasse der Oberflächenqualität				
Merkmale		VI	IVI	NVI
Oberfläche	geschliffen	geschliffen	≤ 10 % der Fläche ungeschliffen	
Holzart	eine Holzart	eine Holzart	Beimengen von anderen Holzarten möglich	
Holzfeuchte	≤ 11 %	≤ 15 %	≤ 15 %	
Verklebung (Schmalseite)	vereinzelt offene Fugen zulässig ≤ 1 mm	vereinzelt offene Fugen zulässig ≤ 2 mm	offene Fugen zulässig ≤ 3 mm	
Verfärbung	leichte Verfärbung zulässig ≤ 1 %	leichte Verfärbung zulässig ≤ 3 %	zulässig	
Äste – gesund	zulässig	zulässig	zulässig	
Äste – schwarz	vereinzelt zulässig ≤ 15 mm Ø	vereinzelt zulässig ≤ 30 mm Ø	zulässig	
Durchfalläste, Astausbrüche	vereinzelt zulässig ≤ 10 mm Ø	zulässig ≤ 20 mm Ø	zulässig	
Harzgallen	vereinzelt zulässig ≤ 5 x 50 mm	vereinzelt zulässig ≤ 10 x 90 mm	zulässig	
Rindeneinwuchs	vereinzelt zulässig	vereinzelt zulässig	zulässig	
Waldkante	nicht zulässig	nicht zulässig	zulässig ≤ 20 × 500 mm	
Markröhre	vereinzelt zulässig ≤ 400 mm Länge	zulässig	zulässig	
Risse und Fugen (bei einer Holzbezugsfeuchte von 11%)	vereinzelt zulässig ≤ 1 mm	vereinzelt zulässig ≤ 2 mm	vereinzelt zulässig ≤ 3 mm	
Inaktiver Insektenbefall	nicht zulässig	nicht zulässig	vereinzelt zulässig	
Qualität der Oberflächenbearbeitung	vereinzelt kleine Fehlstellen zulässig	vereinzelt Fehlstellen zulässig	vereinzelt Fehlstellen zulässig	
Fehlstellen an Schnittkanten	vereinzelt kleine Fehlstellen zulässig	vereinzelt Fehlstellen zulässig	vereinzelt Fehlstellen zulässig	
Schnittkanten- nachbearbeitung mit Handschleifpapier	ja	nein	nein	
Kosmetisierung der Oberfläche (Astdübel, -füller, Leisten, etc.)	zulässig	zulässig	zulässig	
Fase an L-Platten in Faserrichtung	ja	ja	nein	
Schleifspuren bzw. Schleifrichtung	Bei L-Platten verläuft die Schleifspur entlang der Faserrichtung des Holzes, bei C-Platten quer zur Faserrichtung.			
Werkzeuge bei VI Abbund	Der CNC Abbund von VI Oberflächen wird ausschließlich mit Fräs- und Schneidewerkzeugen durchgeführt, die keine Verschmutzung mit Kettenöl verursachen.			
Rissbildung	Riss- und Fugenbildungen aufgrund des Quell- und Schwindverhalten des Holzes auf die spätere Ausgleichsfeuchte im Nutzungszustand entsprechen dem natürlichen Verhalten des Holzes und sind nicht zu verhindern.			
Gültigkeitsbereich	Die Qualitätsbeschreibungen zu den angeführten Oberflächen gelten: • bei Auslieferung • nicht für die Schnittkanten von CLT • Ausschließlich für die Decklage Für die Schnittkanten gelten ausschließlich die Kriterien der NVI Qualität.			



Qualitätsbezeichnungen

Stora Enso bietet drei verschiedene CLT-Oberflächenqualitäten

NVI	Nichtsicht-Qualität
IVI	Industriesicht-Qualität
VI	Sichtqualität

Die von Stora Enso erhältlichen CLT-Qualitäten basieren auf drei verschiedenen Oberflächenqualitäten

Qualitätsbezeichnung	NVI	VI	BVI	INV	IBI	IVI
Decklage	NVI	VI	VI	IVI	IVI	VI
Mittellage	NVI	NVI	NVI	NVI	NVI	NVI
Decklage	NVI	NVI	VI	NVI	IVI	IVI



Fichte
VI (Sichtqualität)



Fichte
IVI (Industriesicht-Qualität)



Fichte und Kiefer
NVI (Nichtsicht-Qualität)



2. Konstruktion

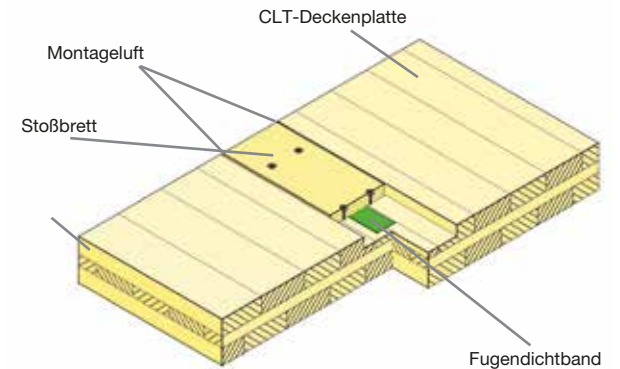


Beispiele für Konstruktionsdetails und Bauteilkonzepte

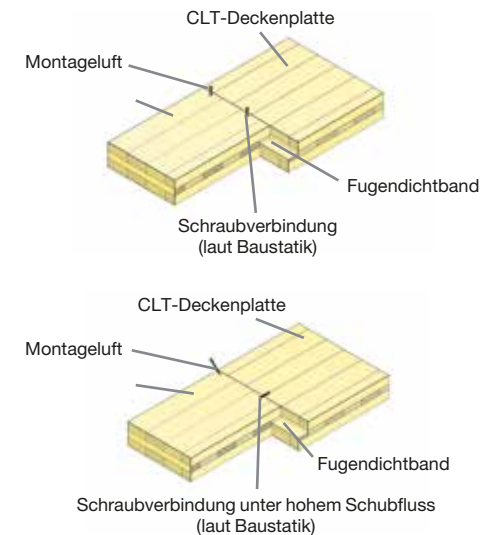
CLT-Elemente haben ein breites Anwendungsspektrum. So übernehmen sie beispielsweise bei der Verwendung an Außen-, Innen- und Trennwänden aufgrund ihrer Struktur, die aus rechtwinklig zueinander angeordneten verleimten Brettern besteht, sowohl eine tragende als auch eine aussteifende Funktion im Gebäude.

Der hohe Vorfertigungsgrad und die damit verbundenen kurzen Montagezeiten sind vor allem beim Einsatz von CLT-Platten als Dachelemente ein großer Vorteil, da Gebäude in kurzer Zeit regensicher gemacht werden können. Dank CLT können Dächer und Decken mit Standard-Spannweiten wirtschaftlich konzipiert und Bauanforderungen voll erfüllt werden. Mit der richtigen Auswahl der Strukturkomponenten kann dies leicht erreicht werden, und gleichzeitig kann CLT mit praktisch jedem Baumaterial kombiniert werden.

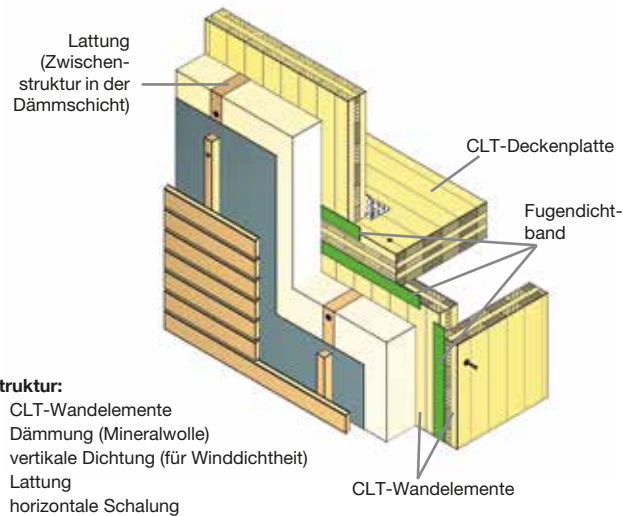
Decke
Deckenfuge (Stoßbrett)



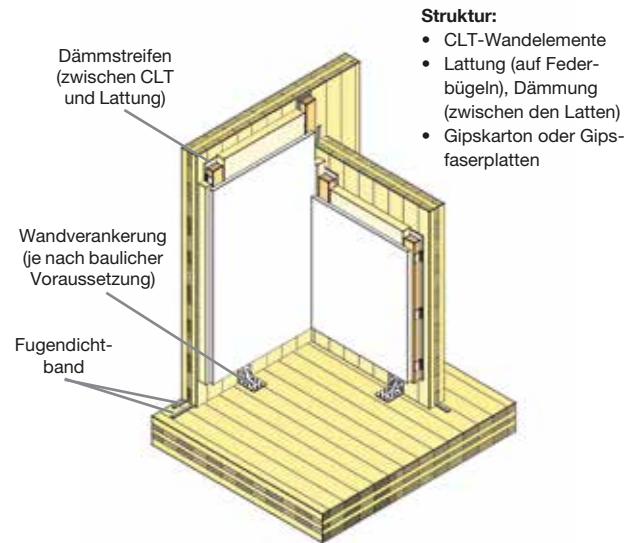
Decke
Deckenfuge (Stufenfalz)



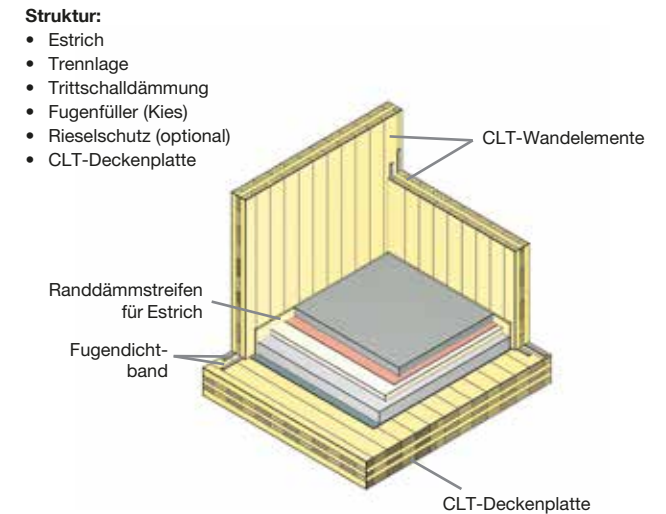
Außenwand Dämmung mit Mineralwolle



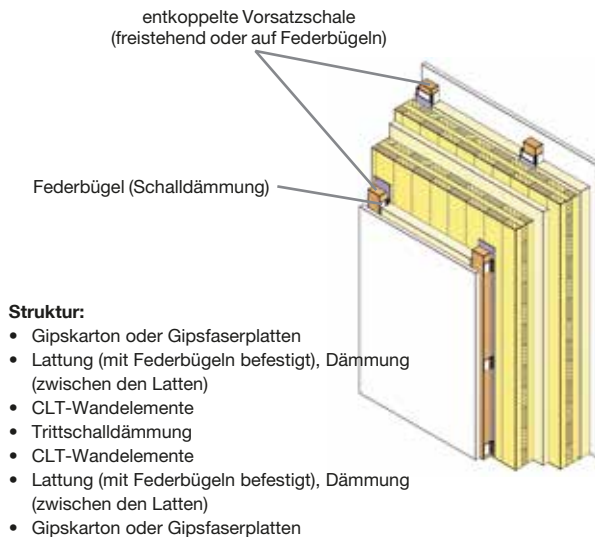
Innenwand Vorsatzschale (Federbügel)



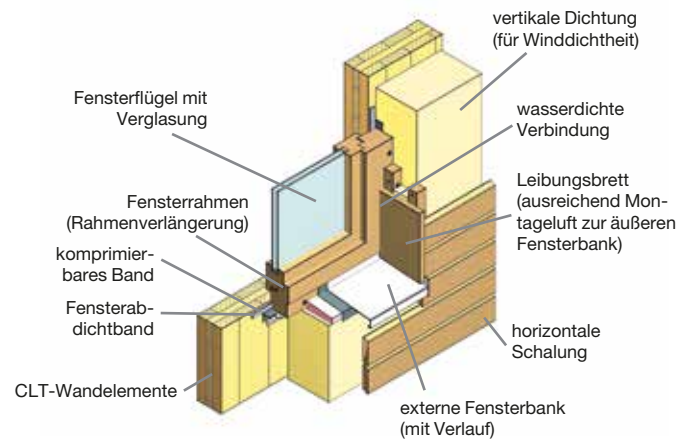
Bodenstruktur Nassestrich



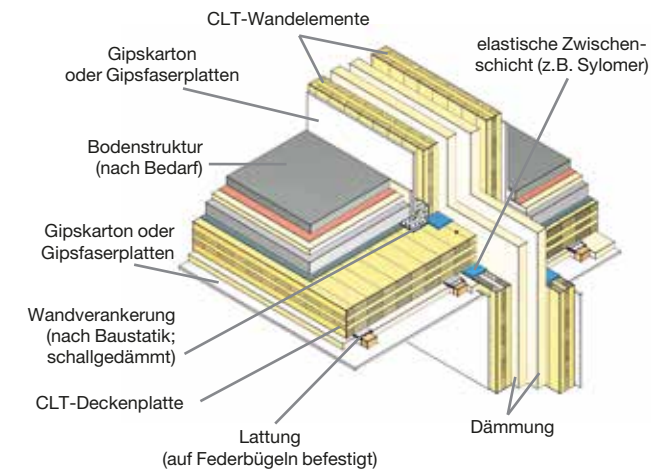
Brandmauer System mit doppelwandiger CLT-Anordnung



Fensterverbindung Installation mit expandierendem Schaumstoffband



Mehrgeschossige Wohngebäude Wand im Erdgeschoss – Decke – Wand im Obergeschoss



3. Bauphysik

Wärmedämmung

Einführung

Der Begriff „Wärmedämmung von Gebäuden“ umfasst alle Maßnahmen zur Verringerung des Heizbedarfs¹ im Winter und des Kühlbedarfs² im Sommer. Ziel der Wärmedämmung ist es also, den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten und dabei die Funktionalität der verschiedenen Gebäudekomponenten und ihre Dämmeigenschaften zu berücksichtigen, gleichzeitig den Komfort zu gewährleisten und ein angenehmes Raumklima zu schaffen.

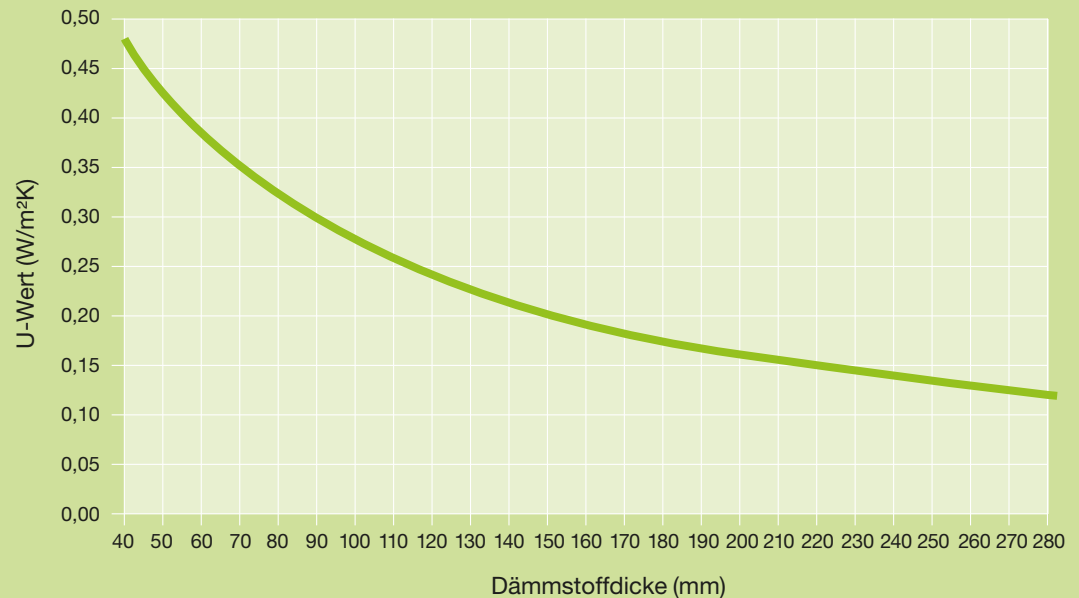
Wärmedämmung mit CLT

Die thermische Leistung eines Bauteils wird durch seinen U-Wert oder die Rate der Wärmeübertragung (auch als Wärmedurchgangskoeffizient bezeichnet) bestimmt. Für die Berechnung dieses Wertes müssen die Position im Gebäude sowie die Struktur, die Wärmeleitfähigkeit und die Abmessungen der einzelnen enthaltenen Materialien bekannt sein. Die Wärmeleitfähigkeit von Holz wird im Wesentlichen durch seine Rohdichte und Holzfeuchte bestimmt und kann für CLT mit einem Wert von $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ berechnet werden.

Die folgende Abbildung zeigt eine Grafik, auf der die U-Werte von gedämmten CLT-Platten mit einer Dicke von 100 mm über der Dicke des Dämmstoffs (Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 040) aufgetragen sind.

U-Wert von CLT 100 mm

Mit variabler Dämmstoffdicke

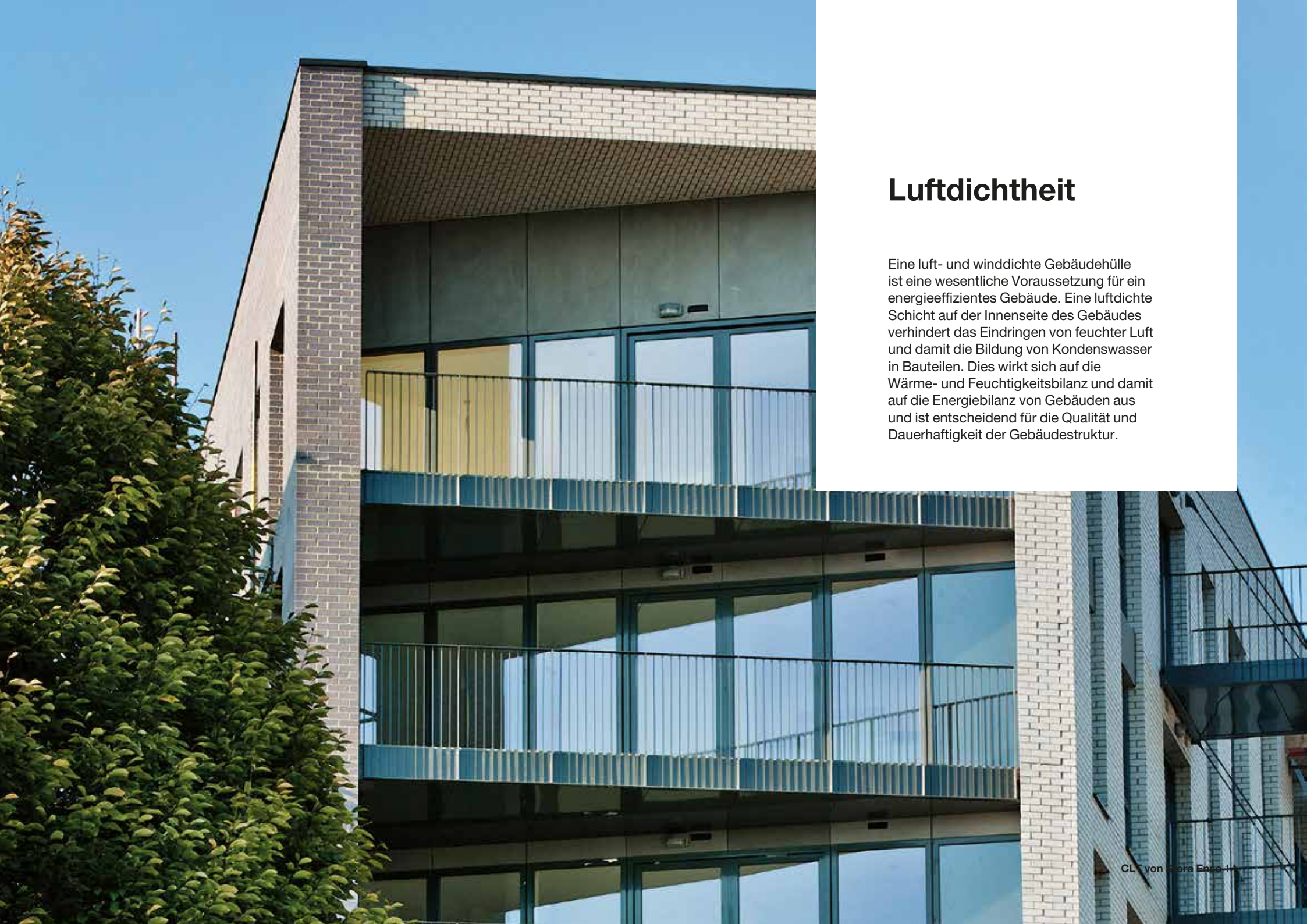


Wärmedämmfaktoren und -prinzipien im Winter

- Vermeidung von exponierten Standorten
- Bevorzugung einer kompakten Bauweise
- Optimale Gebäudeausrichtung, insbesondere im Hinblick auf die Fenster
- Ausreichend gedämmte Gebäudehülle
- Vermeidung von Wärmebrücken
- Ausreichende Luftdichtheit der Gebäudehülle
- Energietransmissionsgrad und Überschattung von Fenstern
- Gesamtoberfläche, Ausrichtung und Neigungswinkel der Fenster
- Wärmedämmeigenschaften undurchsichtiger Außenbauteile
- Interne Wärmelasten (Menschen, elektrische Geräte usw.)
- Grundriss oder Raumgeometrie
- Belüftung von Wohnräumen
- Wärmespeicherkapazität von konstruktiven Elementen in Wohnräumen

¹⁾ Wärmemenge, die dem Gebäude im Laufe eines Jahres zugeführt werden muss, um eine Raummindesttemperatur einzuhalten.

²⁾ Wärmemenge, die aus dem Gebäude im Laufe eines Jahres abgeführt werden muss, um eine Raumhöchsttemperatur nicht zu überschreiten.



Luftdichtheit

Eine luft- und winddichte Gebäudehülle ist eine wesentliche Voraussetzung für ein energieeffizientes Gebäude. Eine luftdichte Schicht auf der Innenseite des Gebäudes verhindert das Eindringen von feuchter Luft und damit die Bildung von Kondenswasser in Bauteilen. Dies wirkt sich auf die Wärme- und Feuchtigkeitsbilanz und damit auf die Energiebilanz von Gebäuden aus und ist entscheidend für die Qualität und Dauerhaftigkeit der Gebäudestruktur.

Aus drei Lagen gefertigt ist CLT luftdicht

Unzureichende Luftdichtheit kann bedeuten, dass Luft von innen nach außen durch die Struktur strömt.

Die Winddichtheit einer Gebäudehülle ist ebenso relevant wie ihre Luftdichtheit. Die winddichte Schicht an der Außenseite des Gebäudes verhindert das Eindringen von Außenluft in die Bauteile. Dadurch wird die Wärmedämmschicht geschützt, und die Dämmeigenschaften der Bauteile werden nicht beeinträchtigt. Im Allgemeinen wird die Winddichtheit nicht durch das CLT-Element gewährleistet, sondern bei einer verputzten Fassade durch Putz oder bei Holzfassaden durch eine durchlässige Thermofolie hinter der Hinterlüftungsebene.

Die Luftdichtheit von Stora Enso CLT wurde von Holzforschung Austria geprüft.

Ergebnis:

„Die Elementfugen und das CLT-Element selbst weisen eine hohe Luftdichtheit auf. Die Volumenströme durch die beiden Fugenvarianten und durch die ungestörte Oberfläche lagen aufgrund der hohen Undurchlässigkeit außerhalb des messbaren Bereichs.“

Diese Luftdichtheitsprüfung an CLT wurde in Anlehnung an die ÖNORM EN 12114:2000 durchgeführt und umfasste das Element selbst, einen Stufenfalz und eine Elementfuge mit einer Fugenplatte.



CLT bleibt auch während seiner gesamten Lebensdauer luftdicht

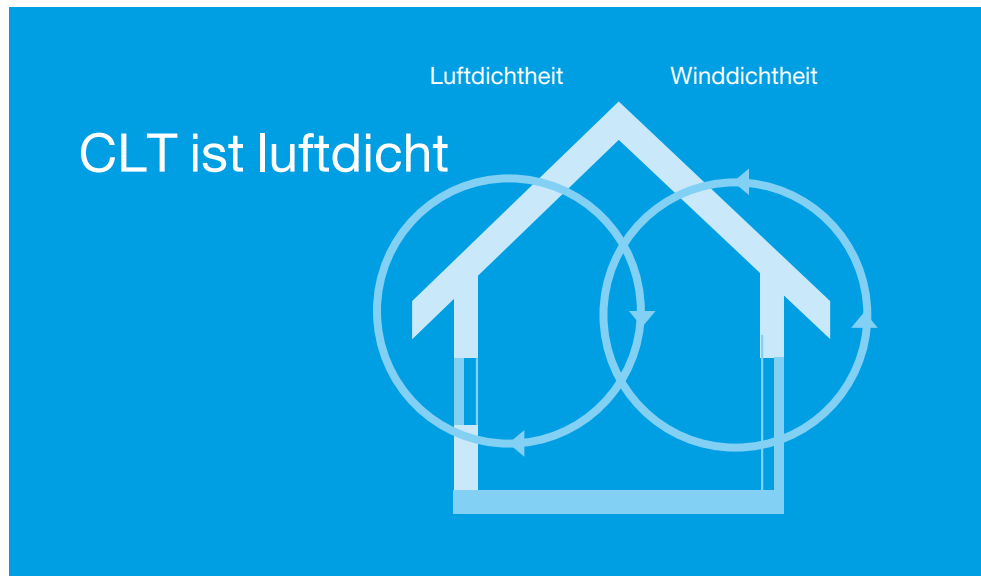
Im Laufe seiner Lebensdauer ist CLT unterschiedlichen Feuchtigkeitsbedingungen ausgesetzt. Es wird mit einer relativen Holzfeuchte von $12\% \pm 2\%$, abhängig von der Oberflächenqualität, hergestellt.

Während der Bauphase nimmt es Baufeuchte auf, z.B. aus Schüttungen, Estrich oder Putz, wodurch die Holzfeuchte steigt. Die Lebensdauer ist auch durch jahreszeitliche Schwankungen der Holzfeuchte gekennzeichnet. Auch die Wohnungslüftung kann CLT in den Wintermonaten austrocknen. Diese Feuchtigkeitsgehaltsschwankungen von CLT sind mit Formveränderungen des Holzes (Quellen oder Schwinden) verbunden, die sich im Extremfall durch Risse in der Oberfläche

(zu trocken) oder durch eine wellige Oberfläche (zu feucht) äußern können.

Tests im Labor für Bauphysik der Technischen Universität Graz zeigten, dass CLT auch langfristig luftdicht bleibt. Die üblichen Schwankungen des Holzfeuchtegehalts wurden im Klimaschrank simuliert, und CLT wurde vier unterschiedlichen Feuchtigkeitsbedingungen ausgesetzt, um seine Luftdurchlässigkeit zu testen.

Der Test wurde an einem 3-schichtigen, 100 mm dicken CLT-Element in Nichtsicht-Qualität (CLT 100 3s NVI) mit den Abmessungen $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ durchgeführt, das einmal mit einem Stufenfalz und einmal mit einer Stoßfuge vertikal verbunden wurde.



Feuchte

Ziel des Feuchtigkeitsschutzes ist es, die verschiedenen Auswirkungen von Feuchtigkeit auf Baukonstruktionen so weit zu begrenzen, dass Schäden – zum Beispiel Verminderung der Wärmeleistung, Festigkeitsverlust von Baustoffen, Schimmel und Fäulnis – verhindert werden. Zu den verschiedenen Auswirkungen von Feuchtigkeit gehören insbesondere Kondensation, Luftfeuchtigkeit und aufsteigende Feuchtigkeit. Darüber hinaus kann es während der Bauphase zu einem erhöhten Feuchtigkeitsgehalt von Baustoffen kommen, z.B. durch die Aufnahme von Baufeuchte aus Estrich oder Putz.

Hygrothermische Prinzipien

Bei Holz, und damit auch bei CLT, unterscheiden wir grundsätzlich drei Feuchtetransportmechanismen:

- Dampfdiffusion
- Sorption
- Kapillartransport

Zusätzlich zu diesen grundlegenden Feuchtetransportmechanismen sollten bei der Betrachtung des Feuchtigkeitsschutzes von Holz auch mögliche konvektive Prozesse berücksichtigt werden. Aufgrund seiner Struktur, die aus rechtwinklig zueinander vollflächig verleimten Holzlagen besteht, verhindert CLT an sich schon das Auftreten jeglicher Konvektionserscheinungen. Anschlüsse, Befestigungen und Installationen sollten jedoch auf Undichtigkeiten überprüft werden.

Dampfdiffusionsverhalten von CLT

Der Leimanteil in CLT variiert je nach Lamellenstruktur, bleibt jedoch unter 1 %. Dennoch haben die Klebfugen der Flächenverleimung eine andere Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl als die umgebenden Holzlamellen und müssen bei der Bestimmung des s_d -Wertes berücksichtigt werden.

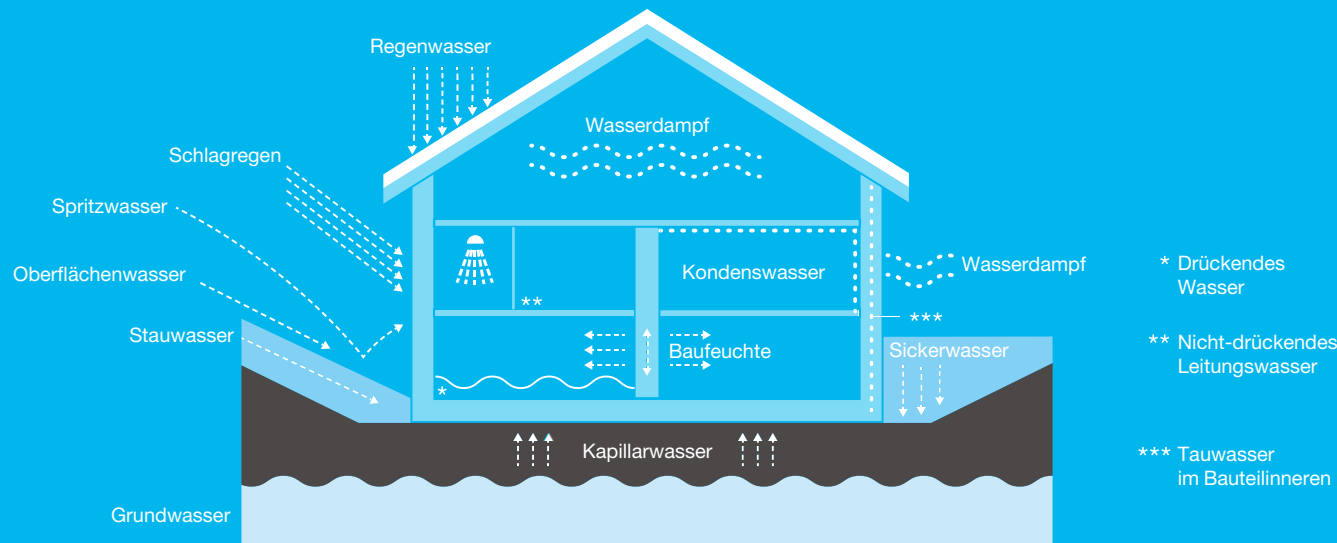
Es ist auch zu bedenken, dass CLT im Laufe seiner Lebensdauer schwankenden Feuchtigkeitsbedingungen ausgesetzt ist, die auf Restfeuchtigkeit aus der Konstruktion des Gebäudes, Feuchtigkeit während der Heizperiode und feuchte Luft im Sommer zurückzuführen sind. Diese schwankenden Feuchtigkeitsbedingungen können dazu führen, dass die Holzfeuchte zwischen 8 % und 14 % variiert, was sich auf das Dampfdiffusionsverhalten von CLT auswirkt.

Tests zur Bestimmung der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (μ) von Klebfugen in CLT-Elementen lieferten folgende Ergebnisse:

- Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl hängt von der Luftfeuchtigkeit ab, und unter feuchten Testbedingungen wurde ein deutlich reduzierter μ -Wert der verleimten Verbindungen beobachtet.
- In trockenem Klima (23 °C und 26,5 % mittlere relative Feuchte) hat die CLT-Klebfuge die gleiche durchlässigkeitsäquivalente Luftschichtdicke wie eine Fichtenlamelle mit einer Dicke von 6 mm $\pm$ 4 mm. In feuchtem Klima (23 °C und 71,5 % mittlere relative Feuchte) hat die Klebfuge die gleiche durchlässigkeitsäquivalente Luftschichtdicke wie eine Fichtenlamelle mit einer Dicke von 13 mm $\pm$ 6 mm.
- So hat ein 3-schichtiges CLT-Element (mit zwei flachen Klebfugen) im Mittel eine durchlässigkeitsäquivalente Luftschichtdicke, die der einer Fichtenlamelle gleicher Dicke plus 12 mm in trockenem Klima und plus 26 mm in feuchtem Klima entspricht.

Darüber hinaus wurden im Rahmen einer Masterarbeit am Thünen-Institut für Holzforschung in Hamburg CLT-Prüfkörper getestet und deren feuchtigkeitsabhängige Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen bestimmt:

- Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von CLT steigt in etwa linear mit der Anzahl der Klebfugen (die mit der Dicke des CLT-Elements zunimmt). Dieses Ergebnis ermöglicht es, eine durchschnittliche Anzahl von Klebfugen pro cm CLT-Dicke zu definieren.
- Unter Berücksichtigung dieser durchschnittlichen Anzahl von Klebfugen wurden die folgenden Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen für unterschiedliche Holzfeuchtegehalte ermittelt:
 - 11.3% Holzfeuchte $\ominus \mu = 52 \pm 10$
 - 14.7% Holzfeuchte $\ominus \mu = 33 \pm 7$
 - 8.0% Holzfeuchte $\ominus \mu \approx 105$ (erhalten durch Interpolation)



CLT als feuchtigkeitsvariable Dampfsperre

Mit 3 Lagen und mehr sind CLT-Elemente „luftdicht“, aber nicht dampfdicht. CLT ist durchlässig, und die Verleimungen bilden Dampfsperren für die Dämmungsebene.

Somit reagiert CLT wie eine variable Dampfsperre. Während der Heizperiode, wenn die relative Luftfeuchtigkeit im Gebäudeinneren abnimmt, verliert CLT seine Fähigkeit, Feuchtigkeit zu transportieren, und setzt der Diffusion mehr Widerstand entgegen. Andererseits wird CLT während des Sommers, wenn die Luftfeuchtigkeit im Gebäudeinneren wieder ansteigt, diffusionsoffener. Diese natürliche Eigenschaft des Holzes ist am Bau von Vorteil, da sie es ermöglicht, Bauwerke zu konzipieren und zu bauen, die nachhaltig funktionsfähig bleiben und dem bauphysikalischen Bauprinzip der von innen nach außen zunehmenden Durchlässigkeit Rechnung tragen.

Somit trägt CLT auch zur Regulierung der Umgebungsluft bei. Bei höherer Umgebungsfuchte nimmt CLT Feuchtigkeit auf und gibt sie wieder ab, wenn die Luftfeuchtigkeit abnimmt.

Beurteilung des Feuchtigkeitsschutzes

In der Vergangenheit wurde der Feuchtigkeitsschutz von Bauteilen hauptsächlich nach der Glaser-Methode beurteilt. Diese Methode erlaubt jedoch nur eine grobe Beurteilung der Feuchtigkeitseigenschaften von Bauteilen. Mit der Entwicklung von hygrothermischen Simulationsprogrammen wurden neue Möglichkeiten zur realitätsnahen und detaillierten Berechnung der hygrothermischen Transport- und Speicherprozesse in Komponenten unter tatsächlichen klimatischen Bedingungen eröffnet.

Eine solche realistische Berechnung erhöht jedoch die Komplexität und Anzahl der erforderlichen Baustoffkennwerte. Diese notwendigen Materialspezifikationen wurden für CLT an der Universität Hamburg für das WUFI-Simulationsprogramm (WUFI: „Transiente Wärme und Feuchte“), entwickelt vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), bestimmt. Darüber hinaus wurde zum ersten Mal ein Experiment zur Validierung der hygrothermischen Simulation eines Brettsperreholzelements durchgeführt. Es ergab eine gute Korrelation zwischen experimentellen Feldversuchen und numerischen Simulationen.

Stora Enso CLT wurde vom Fraunhofer-Institut positiv auf Plausibilität geprüft und in die WUFI-Materialdatenbank aufgenommen. Damit können wir unseren Kunden und Projektmanagern ein wertvolles neues Planungsinstrument für CLT-Bauwerke anbieten. Dieses äußerst vielversprechende Instrument wird sich bei hohen Feuchtebelastungen innerhalb von Gebäuden oder beim Einsatz von Holzbauteilen in Regionen mit extremen klimatischen Bedingungen als unverzichtbar erweisen.

Schalldämmung mit CLT

Die Gewährleistung eines angemessenen Schutzes vor Lärmbelästigung ist ein wichtiger Faktor für das Wohlbefinden in Gebäuden. Daher sollte die Schalldämmung in der Planungsphase oberste Priorität haben.

Schall ist definiert als mechanische kinetische Energie, die durch Druck- und Dichteschwankungen durch elastische Medien übertragen wird. Schall ist also die hörbare Schwingung von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen. Nach der Identifizierung der Geräuschquelle, der ein Bauteil ausgesetzt ist, wird beim akustischen Design zwischen Luft- und Körperschall unterschieden.

Luftschall: Luftschallwellen versetzen Bauteile in Schwingungen, die sich auf angrenzende Räume im Gebäude übertragen. Quellen für Luftschall sind Verkehr, Stimmen oder Musik.

Körperschall – der Schall beim Gehen, Klopfen, Schaben von Möbeln usw. – wird auf Bauteile übertragen und als Luftschall in angrenzende Räume abgestrahlt. **Trittschall** ist für die akustische Gestaltung besonders relevant.

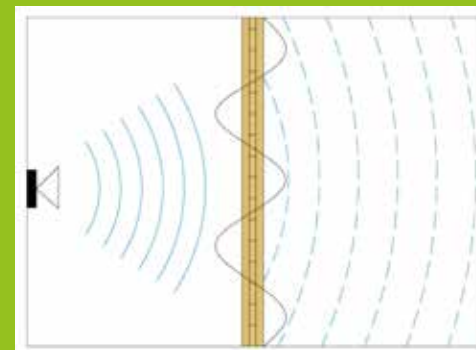
Bestimmung der Qualität der Schalldämmung

Um die Qualität der Schalldämmung zu bestimmen, wird ein Bauteil in einem Quellenraum (in der Versuchsanlage oder in einem Gebäude) platziert, wo es einer Geräuschquelle ausgesetzt ist. Der eingehende Schall wird dann in einem Empfangsraum gemessen.

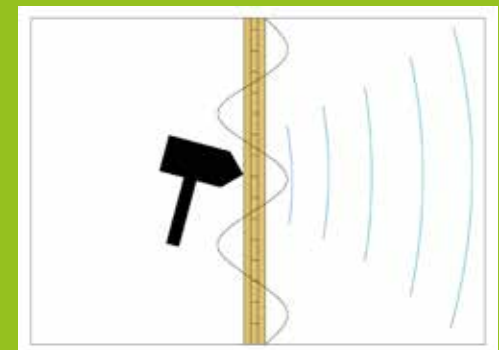
Da Lärmpegel meist in Terzbändern gemessen werden, werden Messkurven zur Bestimmung von Einzelwerten verwendet, um den Vergleich der Daten zu verbessern. Diese Einzelwerte werden auf der Grundlage von Wichtungskurven nach EN

ISO 717 (Teil 1 für Luftschall und Teil 2 für Trittschall) berechnet. Diese gewichteten Kurven werden aus den „Kurven gleicher Lautstärke“ (das menschliche Ohr nimmt Schall mit gleichem Lautstärkepegel, aber unterschiedlichen Frequenzen wahr) abgeleitet und berücksichtigen somit die frequenzbezogene Wahrnehmung von Schallpegeln durch das menschliche Ohr. Es wird ein breiter Frequenzbereich (von 50 Hz bis 5.000 Hz) gemessen, wobei jedoch nur der Bereich zwischen 100 Hz und 3.150 Hz zur Berechnung der Einzelwerte berücksichtigt wird.

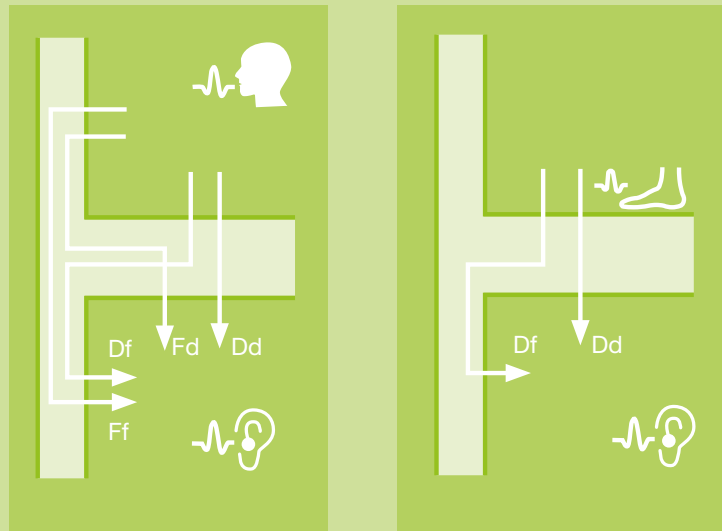
Normative Schalldämmungsanforderungen stellen sicher, dass Personen mit normaler Empfindlichkeit einen ausreichenden Schutz vor Lärm von außerhalb des Gebäudes, von anderen Teilen desselben Gebäudes und von benachbarten Gebäuden erhalten. Die Rolle des akustischen Konzepts besteht darin, störenden Lärm im Gebäude auf ein definiertes Maß zu reduzieren.



Luftschall

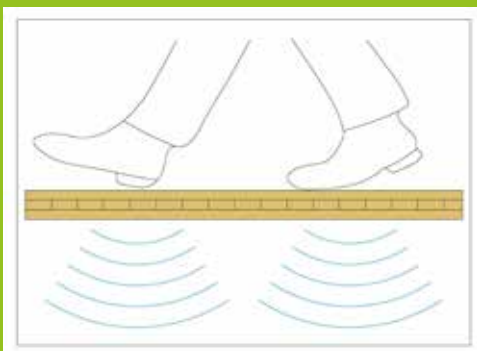


Körperschall



Schallübertragungswege zwischen zwei Räumen

F ... Flankenübertragung (indirekt)
D ... Direktübertragung
f Flankenstrahlung (indirekt)
d ... Direktstrahlung



Trittschall

Deskriptoren und Anforderungen in europäischen Ländern

Einzelzahlwerte aus EN ISO 717: 2013			
	Luftschall	Trittschall	
Schalldämmung von Komponenten	R_w	$L_{n,w}$	Zeigt die Situation auf dem Prüfstand. Schallübertragung nur durch die Trennwandanordnung.
Schalldämmung zwischen Räumen	R'_w $D_{n,w}$ $D_{nT,w}$	$L'_{n,w}$ $L_{nT,w}$	Zeigt die Situation am Bau. Schallübertragung durch das trennende Bauteil und flankierende Bauteile.
Spektrum-Anpassungswerte	C C_{tr}	C_i	Spektrum C: Wohngeräusche Spektrum C_{tr}: Verkehrslärm Spektrum C_i: Trittschall

Massenformel für CLT von Stora Enso

Für eine erste Abschätzung kann das Schalldämmmaß eines CLT-Elements aus seiner Masse berechnet werden. Die Masse der Platte wird aus der Dicke und ihrer Dichte in kg/m^2 berechnet und ist die Grundlage für die Gleichungen des gewichteten Schalldämmmaßes R_w der CLT-Platte. Messungen haben gezeigt, dass der Installationswinkel einen Einfluss auf R_w hat, daher wurden zwei Gleichungen entwickelt (eine für Wände und eine für Böden), wobei die übliche Dicke der jeweiligen Anwendung berücksichtigt wurde.

Die „Massengesetze für CLT“ werden aus den Mittelwerten der verfügbaren Messergebnisse abgeleitet, wobei besondere Ausreißer aus-

geschlossen werden. Die Ergebnisse werden in separaten Gleichungen für CLT-Wände und CLT-Böden mit den jeweils genannten Dicken angegeben, auf die die Gleichung angewendet werden kann.

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

anwendbar für CLT-Wände von 60 bis 150 mm

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

anwendbar für CLT-Böden von 120 bis 320 mm

Schalldämmung von CLT-Bauteilen

Deckenkonstruktionen

Die Schalldämmung von Deckenkonstruktionen kann entweder durch Erhöhung der Masse oder durch Verbesserung der akustischen Entkopplung von Bauteilen verbessert werden. Das Hinzufügen von Masse durch Beschwerung einer Rohdecke oder abgehängten Decke reduziert Vibrationen und damit Lärmemissionen. Oberhalb ihrer Resonanzfrequenz wird die Übertragung von Bauteilschwingungen innerhalb der Struktur reduziert. Daher sollte die Resonanzfrequenz so niedrig wie möglich liegen (< 80 Hz).

In der Praxis bedeutet dies die Verlegung von relativ schwerem Estrich – 5–7 cm Zementestrich (Achtung: der Rand-

dämmstreifen wird erst nach der Verlegung des Bodenbelags abgeschnitten) – auf einer weichen Trittschalldämmplatte ($s' \leq 10$)¹ mit Hinterfüllung oder Schüttung, um darunter zusätzliche Masse zu erhalten. Bei nicht abgehängten Decken muss die Dicke der Schüttung auf ca. 10 cm erhöht werden, und diese sollte wegen des hohen Schalldämmvermögens vorzugsweise verleimt werden. Im Hinblick auf die Schalldämmung sind Deckenverkleidungen am effektivsten, wenn sie entkoppelt sind (auf Federbügeln oder Federschienen montiert). Hohlräume sollten mit Mineralwolle gedämmt werden, um Hohlraumresonanz zu verhindern.

¹) s' = dynamische Steifigkeit (MN/m³)

Wandelemente

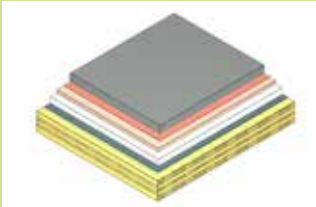
Die Schalldämmung von einschaligen Bauteilen wird durch ihre flächenbezogene Masse und Biegesteifigkeit definiert. Nach dem Berger'schen Massengesetz erhöht eine Verdopplung der Masse die Schalldämmung um 6 dB und erhöht damit proportional die Wirksamkeit der Schalldämmung. Die kritische Koinzidenzfrequenz ist der Schwachpunkt der Schalldämmung. Bei mehrschaligen Platten mit Verblendung kann mit weniger Masse eine höhere Schalldämmung erreicht werden.

In solchen Masse-Feder-Systemen nimmt die Schalldämmung unterhalb der Resonanzfrequenz f_0 um 6 dB pro Oktave zu, oberhalb von f_0 jedoch um 18 dB pro Oktave. Um eine gute Schalldämmung zu erreichen, muss die Resonanzfrequenz möglichst tief sein (≤ 100 Hz). Die Resonanzfrequenz kann gesenkt werden, indem die Lücken zwischen den Lagen vergrößert, die Masse erhöht und sichergestellt wird, dass die Dämmplatten so flexibel wie möglich an der tragenden Wand befestigt werden. Um Hohlraumresonanz zu vermeiden, sollten die Dämmplatten mit schallabsorbierendem Dämmstoff gefüllt werden.

Deckenkonstruktionen

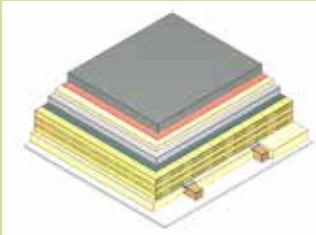
Lärmpegel aus Labor- und Baustellenmessungen.

Einzelheiten über die Knotenbildung sind auf Anfrage erhältlich.



70 mm	Zementestrich (2200 kg/m ³)
0,2 mm	PE-Folie
30 mm	weiche Trittschalldämmung ($s' < 10$ MN/m ³)
100 mm	Kies (lose oder elastisch gebunden)
140 mm	CLT von Stora Enso

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



70 mm	Zementestrich (2200 kg/m ³)
0,2 mm	PE-Folie
30 mm	weiche Trittschalldämmung ($s' < 10$ MN/m ³)
50 mm	Kies (lose oder elastisch gebunden)
140 mm	CLT von Stora Enso
70 mm	Aufhängung; 60 mm Mineralwolle-Zwischenschicht
15 mm	Gipskarton

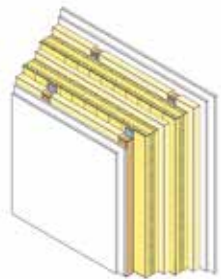
$$R_w(C;C_w) = 63 \text{ (-2;-6) dB}$$
$$L_{n,w}(C_i) = 46 \text{ (1) dB}$$

Außenwände

Lärmpegel aus Labor- und Baustellenmessungen. Einzelheiten über die Knotenbildung sind auf Anfrage erhältlich.

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

Doppelschalige Vorsatzschale



- 12,5 mm Gipskarton
- 12,5 mm Gipskarton
- 50 mm separate Vorsatzschale (CW-Profil einschließlich 50 mm Mineralwolle)
- 5 mm Vorlegeband
- 100 mm Stora Enso CLT
- 40 mm Mineralwolle
- 100 mm Stora Enso CLT
- 5 mm Vorlegeband
- 50 mm separate Vorsatzschale einschließlich 50 mm Mineralwolle
- 12,5 mm Gipskarton
- 12,5 mm Gipskarton

$D_{nT,w} (C; C_{tr})$: 60 (-2; -8) dB

Einschalige Vorsatzschale



- 12,5 mm Gipskarton
- 100 mm Stora Enso CLT
- 5 mm Vorlegeband
- 50 mm separate Vorsatzschale (CW-Profil einschließlich 50 mm Mineralwolle)
- 12,5 mm Gipskarton
- 12,5 mm Gipskarton

$D_{nT,w} (C; C_{tr})$: 61 (-3; -10) dB

Doppelschalige sichtbare CLT-Platte



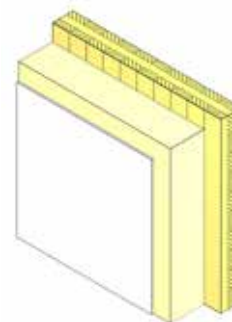
- 100 mm Stora Enso CLT
- 12,5 mm Gipskarton
- 30 mm Mineralwolle
- 30 mm Mineralwolle
- 5 mm Luftsicht
- 100 mm Stora Enso CLT

Vorhersagemodell für die Luftschalldämmung von CLT-Wänden mit WDVS

Das beschriebene Vorhersagemodell für R_w basiert auf einem semi-empirischen Ansatz mit einer begrenzten Anzahl zuverlässiger Messungen. Daher sollte es verbessert und erweitert werden, indem zusätzliche Messungen hinzugefügt werden und die Gleichung verfeinert wird. Nichtsdestotrotz scheint die Genauigkeit des Modells unter Berücksichtigung einer Standardabweichung σ von 1,6 und maximalen Abweichungen von +2,0 und -2,6 dB innerhalb der üblichen Präzision von bauakustischen Anwendungen zu liegen.

Es ist zu beachten, dass die Verwendung von Materialdaten aus der Literatur zu einer Über- oder Unterschätzung der Schalldämmung führen kann, da insbesondere die dynamische Steifigkeit von Dämmstoffen auch innerhalb eines Materialtyps erheblich schwanken kann. Daher sollten für die Berechnung immer Messdaten oder vom Hersteller zur Verfügung gestellte Daten verwendet werden.

Wärmedämmsystem und CLT-Sichtfläche



- 7 mm Putzsystem
- 140–220 mm Var. Dämmung
- 100 mm CLT von Stora Enso

Dämmstoff	Dynamische Steifigkeit s'	Schalldämmmaß $R_w (C, C_{tr})$
Hanf-Faser	3 MN/m ³	51 (-3, -10) dB
Mineralwolle	5 MN/m ³	44 (-2, -8) dB
Polystyrol	6 MN/m ³	43 (-5, -10) dB
Holzfaser	8 MN/m ³	40 (-2, -6) dB

Die Resonanzfrequenz f_R wird unter Berücksichtigung der beiden Massen von CLT und dem Putz sowie der Feder (definiert durch s') des Dämmstoffs berechnet.

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

Auf der Grundlage von f_R wird der R_w der Wand gemäß der folgenden Gleichung berechnet:

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

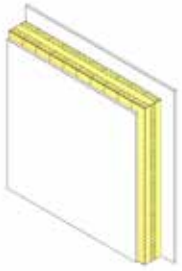
Innenwände

Lärmpegel aus Labor- und Baustellenmessungen.

Einzelheiten über die Knotenbildung sind auf Anfrage erhältlich.

Auch wenn es keine spezifischen Schallschutzanforderungen für einzelne Räume innerhalb einer Wohnung gibt, sollte bei der Planung von Gebäuden zum Schutz vor Lärm dennoch auf Schalldämmung geachtet werden. Verbesserungen der Schalldämmung von Innenwänden, wie z.B. das Anbringen von Vorsatzschalen, sollten in lauten Bereichen vorgenommen werden, da dies dazu beiträgt, die Schallübertragung in den Baukörper zu reduzieren und den Anteil des flankierenden Schalls zu verringern.

Die Schalldämmung einer 100 mm dicken CLT-Wand mit verschiedenen Verkleidungsarten wurde in einer Messreihe im Labor für Bauphysik der Technischen Universität Graz getestet.

CLT unverblendete Wand	$R_w / C; C_{tr}$: 34 (-1;-3) dB 100 mm CLT von Stora Enso
	
Brandschutz-Gipskarton auf einer Seite	$R_w / C; C_{tr}$: 37 (-1;-3) dBI 100 mm Stora Enso CLT 12,5 mm Brandschutz-Gipskarton
	
Beidseitig Brandschutz-Gipskarton	$R_w / C; C_{tr}$: 37 (-1;-3) dB 12,5 mm Brandschutz-Gipskarton 100 mm Stora Enso CLT 12,5 mm Brandschutz-Gipskarton
	

Federbügel	$R_w / C; C_{tr}$: 48 (-5;-12) dB 100 mm CLT von Stora Enso 27 mm Federbügel 12,5 mm Brandschutz-Gipskarton
	
Federschienen	$R_w / C; C_{tr}$: 51 (-2;-8) dB 100 mm Stora Enso CLT 3 mm Fugendichtband 50 mm Federbügel mit einer Zwischenschicht aus Mineralwolle 12,5 mm Brandschutz-Gipskarton
	
Lattung	$R_w / C; C_{tr}$: 45 (-1;-5) dB 100 mm Stora Enso CLT 50 mm Holzlatte (Zwischenschicht aus Mineralwolle) 12,5 mm Brandschutz-Gipskarton
	

Weitere Informationen über Schalldämmung mit CLT:

- storaenso.com
- dataholz.com
- lignumdata.ch

CLT und Brandschutz

CLT im Brandfall

Stora Enso CLT hat einen Feuchtigkeitsgehalt von ca. 12%. Wird CLT einem Feuer und damit einer erhöhten Energiezufuhr ausgesetzt, steigt seine Temperatur an, und die eingebetteten Wassermoleküle beginnen bei ca. 100 °C zu verdampfen. Bei 200–300 °C zersetzen sich diese chemischen Verbindungen in einem als „Pyrolyse“ bezeichneten Vorgang (wobei die Gasemissionen aus den brennbaren Bestandteilen des Holzes in Flammen aufgehen), breiten sich allmählich entlang des Holzes aus und hinterlassen eine Verkohlungszone. Diese Verkohlungsschicht bildet sich aus den kohlenstoffreichen Rückständen der Pyrolyse, die mit Glut verbrennt. Die Eigenschaften dieser Schicht – insbesondere die geringe Dichte und hohe Durchlässigkeit – wirken als Hitzeisolation und schützen das darunterliegende unbeschädigte Holz.

Dadurch entsteht die Schutzwirkung der Verkohlungsschicht gegenüber den inneren, noch nicht vom Feuer betroffenen CLT-Lagen, so dass – im Gegensatz zu Stahl- oder Betonkonstruktionen – die Vollholzkonstruktionen zwar an der Oberfläche verkohlen, der Pyrolysevorgang und das Verhalten von Holz im Brandfall aber tatsächlich vorhersagbar sind.

Anders als z.B. Stahlbauten, die zusätzliche Brandschutzmaßnahmen erfordern, ist Holz bereits von Natur aus durch Eigenschaften wie Pyrolyse und die Fähigkeit, eine Verkohlungsschicht zu bilden, geschützt. Holz ist ein wirklich ökologisches Baumaterial und zeigt im Brandfall ein einzigartiges Verhalten, was den CLT-Bauelementen ihre ausgezeichnete Feuerbeständigkeit verleiht.

Um diese Aussage zu untermauern, bat Stora Enso ein akkreditiertes Institut, den Feuerwiderstand von CLT zu testen. Die Ergebnisse sprechen für sich und belegen die hohe Feuerbeständigkeit von CLT-Komponenten.



Querschnittsfläche einer Verkohlungsschicht eines 80 mm dicken CLT-Elements, ursprünglich mit Brandschutz-Gipskarton verkleidet, nach einem groß angelegten Brandversuch: Es ist leicht, die verschiedenen Schichten auf diesem Querschnitt zu erkennen: der verkohlte Bereich (schwarzer Bereich), gefolgt vom Pyrolysebereich (brauner Bereich) – verursacht durch das sich ausbreitende Feuer oder die Pyrolyse – und das unbeschädigte Holz.

Das Brandverhalten von Stora Enso CLT wird als D-s2, d0 klassifiziert

Der Nachweis des Feuerwiderstandes von Holzbauteilen kann entweder auf Klassifikationsberichten nach EN 13501-2 auf der Grundlage von Großbrandversuchen oder auf Berechnungen nach EN 1995-1-2 in Verbindung mit den jeweiligen nationalen Anwendungsdokumenten beruhen.

CLT-Außenwandstrukturen

Innenverkleidung	Installationsebene	CLT-Element		Äußere Verkleidung	Prüflast	Klassifizierung i↔o
		Bezeichnung	Lamellenstruktur [mm]		[kN/m]	
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	—	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm Holzwoolplatte, 15 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	—	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm Steinfaser, 4 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	50 mm Holzwoolplatte, 15 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	80 mm Steinfaser, 4 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	40 mm Mineralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm Holzwoolplatte, 15 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	40 mm Mineralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm Steinfaser, 4 mm Putz	35	REI 90

Klassifikationen der getesteten Komponenten

CLT-Wandstrukturen

Verkleidung	Installationsebene	CLT-Element		Prüflast	Klassifizierung i↔o
		Bezeichnung	Lamellenstruktur [mm]	[kN/m]	
—	—	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 60
—	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 60
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	—	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	40 mm Mineralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90
35 mm ProCrea-Lehmplatte, 5 mm ProCrea-Lehmunterputz mit Armierungsgewebe, 5 mm ProCrea-Lehmoberputz	—	CLT 140 C5s	40–20–20–20–40	280	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	40 mm Mineralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 120

Klassifikationen der getesteten Komponenten

CLT-Deckenkonstruktionen

Verkleidung	Abgehängte Decke	CLT-Element		Prüflast	Klassifizierung $i \leftrightarrow o$
		Bezeichnung	Lamellenstruktur [mm]	[kN/m ²]	
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton (auf der nicht exponierten Seite) oder Bodenstruktur	—	CLT 100 L3s	30-40-30	0,6	REI 60
—	—	CLT 140 L5s	40-20-20-20-40	5	REI 60
—	—	CLT 160 L5s	40-20-40-20-40	6	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	—	CLT 140 L5s	40-20-20-20-40	5	REI 90
35 mm Heraklith EPV	—	CLT 140 L5s	40-20-20-20-40	5	REI 90
12,5 mm Brandschutz-Gipskarton	40 mm Mineralwolle	CLT 140 L5s	40-20-20-20-40	5	REI 90

Klassifikationen der getesteten Komponenten

Nachweis des Feuerwiderstandes von CLT-Elementen auf der Grundlage von Berechnungen nach EN 1995-1-2:2011 (Eurocode 5)

Bestimmung der Tragfähigkeit (R) von CLT-Elementen nach EN 1995-1-2:2011

Bei der Bestimmung der Tragfähigkeit (R) von Holzbauteilen im Brandfall oder bei der Berechnung von Querschnittswerten ist neben der Bestimmung der Verkohlungszone auch die darunter liegende hitzebeeinflusste Fläche zu berücksichtigen, da die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Holz mit steigender Temperatur abnehmen.

Alternativ zu der in EN 1995-1-2, Anhang B, angegebenen Berechnungsmöglichkeit können die Querschnittswerte auch nach zwei vereinfachten Verfahren berechnet werden.

Wir empfehlen die erste Methode:

- Methode mit reduziertem Querschnitt
- Methode mit reduzierten Eigenschaften

Bestimmung der Integrität (E) und Dämmung (I) von CLT-Elementen

Für den Nachweis der Integrität (E) und der Dämmung (I) gibt es die folgenden Optionen:

- Berechnungsverfahren nach EN 1995-1-2:2011, Anhang E
- Modell nach ÖNORM B 1995-1-2:2011, 14.3 oder in der europäischen technischen Richtlinie „Brandschutz im Holzbau“ oder der Dissertation von Vanessa Schleifer „Zum Verhalten von raumabschließenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall“ (2009)
- Konstruktionen nach ÖNORM B 1995-1-2:2011 sind ohne weitere Analyse möglich.

Der Nachweis der Integrität und der Dämmung von CLT-Elementen kann mit dem in der ÖNORM B 1995-1-2:2011 oder in der europäischen technischen Richtlinie „Brandschutz im Holzbau“ festgelegten Modell durchgeführt werden, die den gleichen Ansatz haben oder die gleiche Theorie unterstützen.

Vergleicht man dieses Modell mit dem in EN 1995-1-2:2011, Anhang E, festgelegten Berechnungsverfahren, so kann die Möglichkeit einer unbegrenzten Variation der Materialien und der Anzahl der Lagen als ein wesentlicher Vorteil angesehen werden.



4. Baustatik

Allgemeines

Konzeption und Dimensionierung von CLT-Bauwerken

Baustatik

Die Besonderheit bei der Analyse und Auslegung von CLT ist, dass die Querlagen eine geringe Schubsteifigkeit aufweisen. Infolgedessen kann die durch Schub verursachte Durchbiegung nicht mehr ignoriert werden. Es wurden verschiedene Analysemethoden entwickelt, um dieses Verhalten widerzuspiegeln. Diese Methoden werden im Folgenden kurz umrissen, und die Publikationen mit allen Einzelheiten werden aufgelistet. Brettspertholz kann nicht in der gleichen Weise wie Vollholz oder Brettschichtholz betrachtet und behandelt werden.

Analyse mittels Verbundtheorie

Mit Hilfe von „Plattenaufbaufaktoren“

Diese Analysemethode berücksichtigt nicht die Durchbiegung durch Schub und gilt daher nur für relativ große Spannweiten-Dicken-Verhältnisse (ca. > 30). Für symmetrische Plattenkonstruktionen sind in der technischen Broschüre für CLT Gleichungen zur Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit EI_{ef} in Platten und Scheiben angegeben.

Mit Hilfe des „Schubkorrekturbeiwerts“

Die Anwendung des entsprechenden Schubkorrekturbeiwerts bei der Analyse der Schubsteifigkeit eines CLT-Profiles ergibt die Schubverformung einer CLT-Platte (z.B.: Boden oder Dach). Diese Durchbiegung muss der elastischen Durchbiegung hinzugefügt werden, die auf der Euler-Bernoulli-Theorie basiert. Diese Zusammenstellung von Theorien wird auch als die Timoschenko-Balkentheorie bezeichnet. Moderne Software für den Hochbau ist imstande, Schubverformungen in den Entwurf einzubeziehen.

Da die Brettlagen rechtwinklig zueinander verleimt sind, wird die Last entlang zweier Hauptachsen übertragen – auch als zweiachsige Lastaufnahme bekannt. In der Vergangenheit war dies Stahlbetonkonstruktionen vorbehalten. Dies hat den Vorteil einer flexibleren Grundrissgestaltung; Entwürfe können auch vereinfacht werden, und es sind geringere Höhen von Stockwerk zu Stockwerk möglich. Über Eck

auskragende oder punktgestützte Bauwerke erfordern zwar mehr Planungsaufwand, sind aber durchaus machbar.

CLT-Platten haben eine besonders hohe Tragfähigkeit, da Punktlasten aufgrund der Querlagen in der Regel über die gesamte Plattenbreite verteilt werden. Die hohe Steifigkeit von CLT ist sehr vorteilhaft für die Aussteifung eines Gebäudes.

Analyse nach dem γ -Verfahren

Diese Methode wurde zur Analyse nachgiebig verbundener Trägerabschnitte entwickelt und kann auch auf CLT angewendet werden. Es ist für übliche Gebäudeabmessungen ausreichend genau und wird für die Verwendung von Brettsperrholz beschrieben.

Dieses Verfahren wird auch in verschiedenen Holzbaunormen erwähnt, z.B. in DIN 1052-1:1988, in DIN 1052:2008, in ÖNORM B 4100-2:2003 und in EN 1995-1-1 (Eurocode 5).

Analyse mit der Schubanalogiemethode

Die Schubanalogiemethode ist in DIN 1052-1:2008 Anhang D beschrieben und ist als präzises Verfahren zur Berechnung von Brettsperrholz mit beliebigen Schichtaufbauten bekannt. Die Anwendung ist jedoch unpraktisch und erfordert idealerweise Ingenieursoftware.

2D-Schalenanalyse von CLT

Analyse mit Balkengittermodellen

CLT-Platten für Böden und Dächer, die im Grundriss einer komplexeren Form folgen, können mit Hilfe von 2D-Rahmenprogrammen oder FEM-Software modelliert werden. In diesem Fall haben die repräsentativen Träger in X-Richtung eine Biegesteifigkeit von CLT entlang seiner X-Achse und umgekehrt für die Y-Richtung.

Analyse mit FEM-Software

Nahezu jeder CLT-Baukörper kann mit Hilfe von FEM-Software konzipiert werden. Wenn die Software ein Verbund- oder CLT-Designmodul enthält, wird das Design benutzerfreundlicher.

Verbinder-Design in CLT

Die allgemeinen Regeln aus EN 1995-1-1 gelten sowohl für CLT als auch für Brettschichtholz oder Vollholz. Detailliertere Informationen finden Sie in den technischen Bewertungsunterlagen des jeweiligen Verbinderherstellers.

Konzeption von CLT mit der technischen Software von Stora Enso

Stora Enso bietet Calculatis, ein Entwurfswerkzeug für den Holzbau, kostenlos unter calculatis.storaenso.com an. Es kann zur Analyse gängiger Bauelemente aus CLT und anderen Holzprodukten verwendet werden.

Die folgenden CLT-Elemente können mit dieser Software berechnet werden:

- Böden oder Dächer
- Rippenplatten
- Scherwände
- Tiefe Balken
- Kopfteile über Fenstern und Türen
- 2-Wege-Kragplatten
- unterstützt
- Lastverteilung an Scherwänden
- Verbinder
- Holz-Beton-Verbundplatten
- Grundlagen der Bauphysik

Vorbemessungstabellen

Die Bemessungstabellen sind als Hilfestellung für den Vorentwurf gedacht, können aber einen vollständigen Tragwerksentwurf nicht ersetzen.

Permanente Belastung (g _p)	Schneelast s _e	Spannweite CLT-Platte (Einfeld)													
		3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m					
1,00	1,00	80 L3s	90 L3s	90 L3s	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s					
	2,00	100 L3s		140 L5s		180 L5s		200 L5s							
	2,80	90 L3s	100 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s						
	3,50						180 L5s	200 L5s	220 L7s-2						
	4,00		120 L3s			140 L5s	160 L5s	200 L5s		220 L7s-2	240 L7s-2				
	5,00	100 L3s		140 L5s	160 L5s			200 L5s	220 L7s-2						
1,50	1,00	90 L3s	90 L3s	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s					
	2,00		100 L3s		140 L5s	160 L5s		180 L5s	200 L5s						
	2,80		120 L3s	140 L5s	140 L5s	160 L5s	160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2						
	3,50						180 L5s	200 L5s							
	4,00						180 L5s	200 L5s		220 L7s-2					
	5,00	100 L3s	160 L5s-2	160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2								
2,00	1,00	90 L3s	100 L3s	120 L3s	140 L5s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s					
	2,00		120 L3s		140 L5s	160 L5s	160 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2						
	2,80			180 L5s			200 L5s								
	3,50			140 L5s			160 L5s	180 L5s		200 L5s	220 L7s-2				
	4,00		180 L5s		200 L5s										
	5,00	100 L3s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2									
2,50	1,00	90 L3s	100 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2					
	2,00		120 L3s				140 L5s				160 L5s	180 L5s	220 L7s-2		
	2,80			140 L5s	160 L5s	180 L5s		200 L5s							
	3,50								180 L5s	200 L5s		220 L7s-2			
	4,00		180 L5s	200 L5s	220 L7s-2										
	5,00	120 L3s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2									
3,00	1,00	90 L3s	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2	220 L7s-2					
	2,00	120 L3s		140 L3s	160 L5s		180 L5s	200 L5s							
	2,80					160 L5s			180 L5s	200 L5s	220 L7s-2				
	3,50						180 L5s	200 L5s				220 L7s-2			
	4,00												180 L5s	200 L5s	220 L7s-2
	5,00														

Einfeldträger: Verformung

Tragfähigkeit:

Bemessung von Biegespannungen

Bemessung von Schubspannungen

$$k_{\text{mod}} = 0,9$$

Gebrauchstauglichkeit:

Anfangsdurchbiegung

$$w_{\text{inst}} < L/300$$

Netto-Enddurchbiegung

$$w_{\text{net fin}} < L/250$$

$$k_{\text{def}} = 0,8$$

* Das CLT-Eigengewicht ist in der Tabelle bereits mit $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ berücksichtigt.

Nutzungsklasse 1, Nutzlast

Schneelast ($\psi_0 = 0,5$;

$$\psi_1 = 0,2; \psi_2 = 0,0)$$

In Übereinstimmung mit ETA-14/0349 (03. Juni 2019)

EN 1995-1-1 (2014)

EN 1995-1-1: 2015 NA Österreich

R0	Feuerbeständig-
R30	keit:
R60	HFA 2011
R90	$\beta_{0,h} = 0,65 \text{ mm/min}$
	$\beta_{1,h} = 1,30 \text{ mm/min}$

Permanente Belastung (g _k)	Verkehrslast q _k	Spannweite eines Einfeldträgers								
		3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m
1,00	1,00									
	2,00									
	2,80						180 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2
	3,50	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	160 L5s				
	4,00									
1,50	5,00						200 L5s			
	1,00									
	2,00									
	2,80	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2
	3,50									
2,00	4,00									
	5,00									
	1,00									
	2,00									
	2,80	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s	180 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2	280 L7s-2
2,50	3,50									
	4,00									
	5,00			140 L5s						
	1,00									
	2,00			140 L5s						
3,00	2,80	120 L3s	120 L3s		160 L5s	200 L5s	220 L7s-2	240 L7s-2	260 L7s-2	280 L7s-2
	3,50									
	4,00									
	5,00									
	5,00			140 L5s						

Einfeldträger: Vibration

Tragfähigkeit:

- Bemessung von Biegespannungen
- Bemessung von Schubspannungen

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

Gebrauchstauglichkeit:

- Anfangsdurchbiegung
 $w_{\text{inst}} < L/300$
- Netto-Enddurchbiegung
 $w_{\text{net, fin}} < L/250$
- Schwingungen
Nach
ÖNORM B 1995-1-1:2014
Bodenklasse I
 $\zeta = 4\%$, 5 cm Zementestrich ($E = 26.000 \text{ N/mm}^2$), $b = 1,2 \text{ l}$

$$k_{\text{def}} = 0,8$$

- * Das CLT-Eigengewicht ist in der Tabelle bereits mit $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ berücksichtigt.

Nutzungsklasse 1,
Nutzlastkategorie A ($\psi_0 = 0,7; \psi_1 = 0,5 \psi_2 = 0,3$)

In Übereinstimmung mit ETA-14/0349 (02. Oktober 2014)
EN 1995-1-1 (2014)

R0	Feuerbeständigkeit: HFA 2011 $\beta_1 = 0,65 \text{ mm/min}$
R30	
R60	
R90	



5. Projekt- abwicklung Projektphasen

Angebotsphase

Gerne erstellen wir Ihnen auf der Grundlage Ihrer Unterlagen ein entsprechendes Angebot. Die Hauptelemente eines Angebots sind wie folgt:

- Mengen (Nettofläche, Bruttofläche, Fläche, die zur Ausführung des Sägemusters oder als Verschnittfläche benötigt wird)
- Plattendesign
- Qualität
- Bearbeitung
- Transportkosten
- zusätzliche Produkte oder Dienstleistungen

Wenn Sie uns genaue Informationen und Dokumente zukommen lassen, können wir Ihnen ein genaues Angebot unterbreiten. Planungsdokumente von guter Qualität tragen auch dazu bei, den Angebotsvorgang zu beschleunigen. Weitere Informationen zu den gebräuchlichsten Dateiformaten finden Sie weiter unten:

- Spezifikationen und Ausschreibungstexte: Generell empfehlen wir dringend, die Bruttoflächen einzubeziehen. Die zusätzliche Verschnittfläche hängt im Wesentlichen von

Verrechnungsabmessungen

Beispiel: 15.900 × 2.950 mm

Verrechnungsabmessungen: 2,95 × 15,90	46,91 m ²
Fläche der Platte (netto):	38,59 m ²
Schnittabfall:	8,32 m ²
Verrechnungsabmessungen:	46,91 m ²

Verrechnungslängen	8,00 m bis 16,00 m (in Schritten von je 10 cm)
Verrechnungsbreiten	2,45 m, 2,75 m, 2,95 m, 3,25 m, 3,45 m

der Gebäudegeometrie und damit von den abgeleiteten CLT-Komponenten ab.

- Pläne, die den Baubehörden vorgelegt werden: Diese Pläne ermöglichen es uns, mindestens ein 3D-Modell ohne Details (Durchbrüche oder Bearbeitungselemente) zu erstellen, so dass wir die Abmessungen schnell berechnen können. Wenn möglich, senden Sie uns die bei den Baubehörden eingereichten Pläne bitte immer im DWG- oder DXF-Dateiformat. PDF-Dateien sind meist von schlechter Qualität und benötigen mehr Zeit zur Bearbeitung.
- 3D-Modelle: In den meisten Fällen liegen bereits mehr oder weniger detaillierte 3D-Daten vor. Dies ermöglicht die schnelle Erstellung von Materiallisten (XLS- oder CSV-Dateien). Sollten wir für die Angebotserstellung dennoch 3D-Formate benötigen, bitten wir Sie, uns entsprechende 3D-DWG-, 3D-DXF-, SAT- (ACIS) und/oder IFC-Dateien zu senden, die mit den meisten CAD-Programmen erzeugt werden können.

Am liebsten erhalten wir bereits in der Angebotsphase möglichst detaillierte Ausführungspläne in 2D- oder 3D-Dateiformaten. Dies trägt dazu bei, etwaige Mengen- und Kostenunterschiede zwischen dem Angebot und dem endgültigen Vertrag zu verringern.

Ein Vorbemessungsplan, der eine einfache Dimensionierung der erforderlichen Plattendicken ermöglicht, kann kostenlos von storaenso.com/woodproducts/clt heruntergeladen werden. Wenn Sie unsere Unterstützung beim Vorentwurf benötigen, geben Sie uns bitte die folgenden Informationen:

- Nutzlast
- Ständige Lasten
- Schneelast

Auftragsphase

Wenn Stora Enso ein Angebot für Ihr Projekt vorlegt, wären wir Ihnen dankbar, wenn Sie es zur Bestätigung Ihrer Auftragserteilung unterschreiben an uns zurückschicken würden. Eine entsprechende Fertigungskapazität wird auf der Grundlage der verfügbaren Menge und des gewünschten Liefertermins sofort reserviert. Die definitiven Planungsunterlagen oder Projektdaten müssen uns 20 Arbeitstage vor dem Versanddatum (Datum, an dem der Lastwagen unser Werk verlässt) zugesandt werden. Andernfalls verschiebt sich das Lieferdatum automatisch um mindestens eine Woche. Um schnelle Bearbeitung Ihres Auftrags zu ermöglichen,

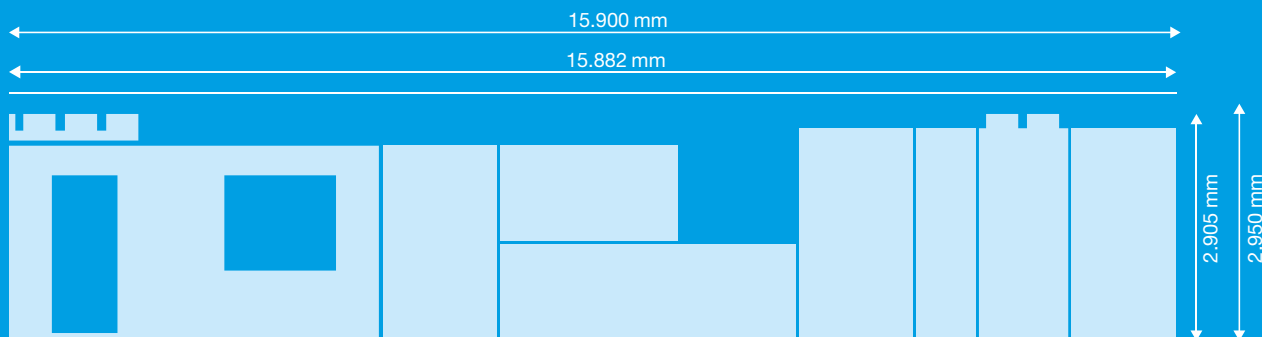
geben Sie bitte die folgenden Informationen deutlich auf Ihren 2D- und/oder 3D-Planungsunterlagen an:

- Bauteilgeometrie
- Bauteilbezeichnung
- Faserrichtung der Decklagen
- Plattendicke
- Plattendesign
- Oberflächenqualität
- Bauteilliste mit Spalten für: Name der Komponente, Anzahl der Elemente, Art der Platte (z.B. L3S), Qualität (z.B. INV), Dicke, Länge, Breite, Nettofläche, Nettovolumen

Ein CLT-Bestellformular steht auf unserer Website storaenso.com/woodproducts/clt zum Herunterladen zur Verfügung. Sie können auch gerne Ihr eigenes Formular verwenden, solange die erforderlichen Informationen klar angegeben und leicht verständlich sind. Ein entsprechendes Email-Formular kann ebenfalls verwendet werden. Bei Erstbestellungen empfehlen wir Ihnen, sich ca. vier bis fünf Wochen vor dem Liefertermin mit uns in Verbindung zu setzen, um den Austausch von CAD-Daten einzurichten oder zu testen, um unnötige Verzögerungen bei der Auftragsbestätigung und -bearbeitung zu vermeiden. Wir arbeiten mit AutoCAD Architecture und hsbCAD. Unsere bevorzugten Datenformate sind DWG, DXF, SAT-V7.0 und IFC.

Sobald die erforderlichen Projektunterlagen eingegangen sind, beginnt das Stora Enso CLT-Ingenieurteam mit der endgültigen Planung Ihres Projekts. Je nach zeitlichen Anforderungen senden wir Ihnen die entsprechenden Prüfdokumente zu, die Sie dann prüfen und freigeben müssen.

Nach der Freigabe wird Stora Enso mit der Fertigung Ihres CLT-Projekts beginnen. Bitte beachten Sie, dass Änderungswünsche grundsätzlich nur berücksichtigt werden, wenn sie vor den letzten 12 Arbeitstagen vor dem Versanddatum eingehen.



Versand

Liegendverladung

Ein Standard-Sattelaufleger kann bei Liegendverladung mit maximal 25 t beladen werden, bei einer maximalen Ladelänge von 13,60 m und einer maximalen Ladebreite von 2,95 m. Wenn es die Plattendicke zulässt, können CLT-Vollholzplatten mit einer maximalen Länge von 15,00 m auch mit einem Standard-Sattelaufleger transportiert werden. Zur Berechnung des Ladungsgewichts kann eine Dichte von 490 kg/m³ verwendet werden. Eine Standard-Versandmenge beträgt in der Regel ca. 50 m³. Die maximal zulässige Ladehöhe beträgt 2,60 m für einen Standard-Sattelaufleger.

Falls eine spezielle Ausrüstung erforderlich ist, unterbreiten wir Ihnen gerne ein entsprechendes Angebot. Bitte beachten Sie jedoch die folgenden Änderungen der maximalen Werte für Ladelänge, -breite und -gewicht:

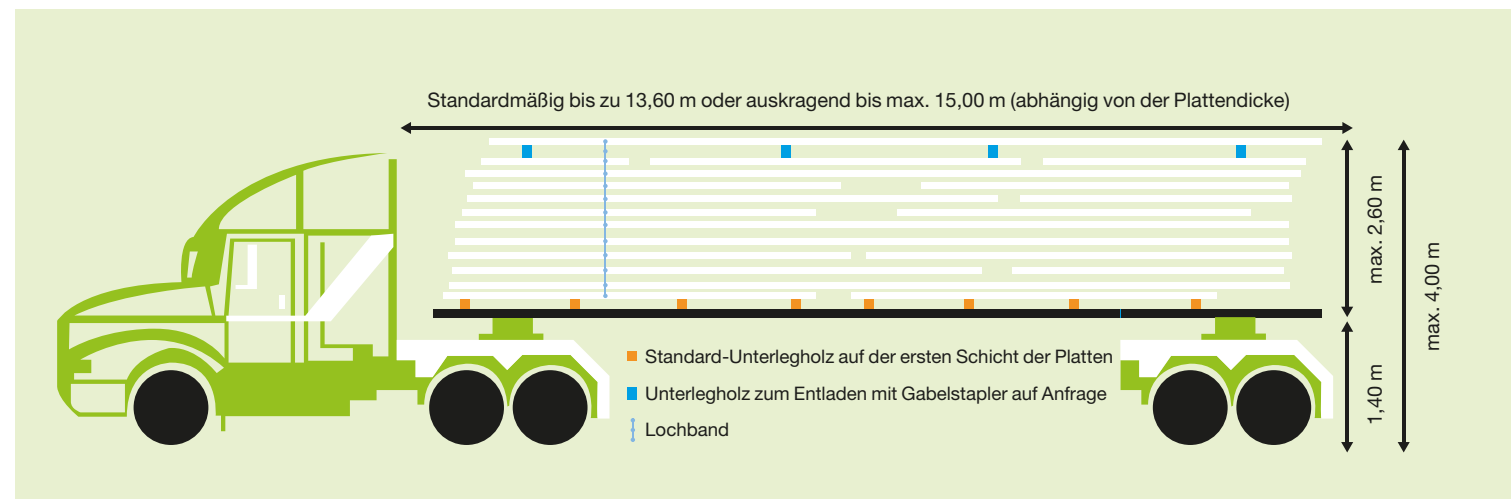
Wir schlagen die Platten in Folie ein (Elemente in Sichtqualität werden in UV-undurchlässige Folie eingewickelt) und decken sie mit einer LKW-Plane ab. Dies ist notwendig, um die Platten vor Umgebungseinflüssen zu schützen. Dann legen wir die Platten zwischen Zurrgurte und Pappkantenschützer, um sie weiter zu schützen.

Wir verwenden standardmäßig mindestens 8 Unterleghölzer (105 × 105 mm oder 95 × 95 mm) unter der ersten Schicht der auf den Auflieger geladenen Platten. Die Unterleghölzer sind mit rutschfesten Belägen ausgestattet. Danach wird jedoch jede nachfolgende Schicht horizontal direkt auf die vorhergehende Schicht gestapelt.

Bitte teilen Sie uns bei der Bestellung mit (und fügen Sie Diagramme bei), wenn Sie für die Entladung per Kran oder Gabelstapler Unterleghölzer benötigen. Die Unterleghölzer werden von der Speditionsfirma zurückgenommen. Wenn Sie die Kufen für Ihren eigenen Gebrauch behalten, werden wir sie Ihnen in Rechnung stellen.

Standardgeräte	Max. Beladung	Max. Länge der Last	Max. Breite der Last
Standard-Sattelaufleger	25 t	15,00 m	2,95 m

Spezialausrüstung	Max. Beladung	Max. Länge der Last	Max. Breite der Last
Ausziehbarer Auflieger	24 t	16,00 m	2,95 m
Lenkbarer Auflieger	20 t	15,00 m	2,95 m
Lenkbarer Auflieger mit Allradantrieb	auf Anfrage	auf Anfrage	

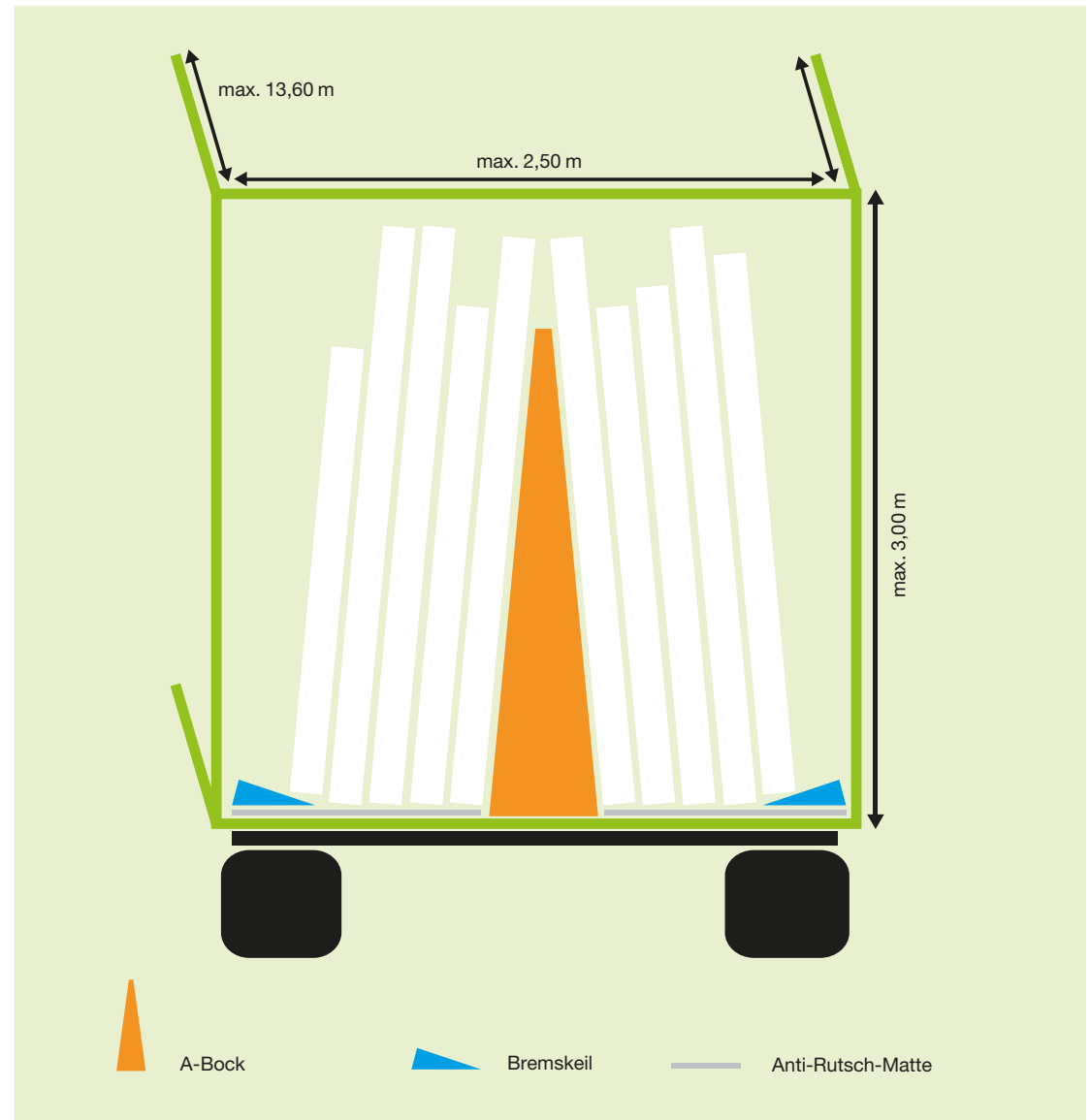


Stehendverladung

Ein Megatrailer kann bei Stehendverladung bis max. 24 t beladen werden, bei einer max. Ladelänge von 13,50 m und einer max. Ladehöhe von 2,95 m. Bitte beachten Sie, dass durch die A-Böcke die Gesamttragfähigkeit geringer ist als bei der Liegendverladung (max. ca. 45 m³, abhängig von den Plattenrandabmessungen und -dicken).

Zur Berechnung des Ladungsgewichts kann eine Dichte von 470 kg/m³ verwendet werden. Jeder Auflieger hat mindestens 6 A-Böcke, an welche die CLT-Vollholzplatten angelehnt und dann miteinander verschraubt werden können (Schraubpunkte sind farblich gekennzeichnet). Die Platten werden dann mit Zurrgurten an den Seiten der Regale weiter miteinander verbunden, und die gesamte Ladung wird dann ebenfalls fest zusammengeschnallt. Die Platten werden auch auf Bremskeile gelegt, die ein Verrutschen oder Kippen verhindern. Wie bei der Liegendverladung werden zwischen den Zurrgurten und den Platten Pappkanten-schützer angebracht.

Wenn Platten in Sichtqualität stehend geladen werden sollen, werden sie an den Schmalseiten mit Lochbändern befestigt, um Beschädigungen zu vermeiden. Werden die A-Böcke oder Keile nicht an uns zurückgeschickt, werden wir sie Ihnen in Rechnung stellen.





Für den Inhalt verantwortlicher Herausgeber:
Stora Enso Wood Products GmbH.
Gedruckt auf Stora Enso Multi/Art Seidenpapier.
Druck- oder Schreibfehler vorbehalten.
Gedruckt und veröffentlicht: 10/2017.

Stora Enso Division Wood Products

Business Line CLT

storaenso.com/woodproducts/clt
facebook.com/storaensolivingroom

THE RENEWABLE MATERIALS COMPANY