CLT - Cross Laminated Timber

Brandschutz

rethink.

storaenso

www.clt.info
www.storaenso.com

Brandschutz von CLT

INHALT

Version 01/2016 AG

Es ist zu beachten, dass es sich beim vorliegenden Merkblatt zum Thema Brandschutz lediglich um eine Hilfestellung für den Anwender handelt und Stora Enso Wood Products keinerlei Haftung für die Richtigkeit und Vollständigkeit dieses Dokumentes übernimmt.

1 Grundsätzliches ... 3

1.1 Brandschutz ... 3

1.2 Baustoff Holz unter Brandeinwirkung ... 3

2 Brandverhalten von Bauprodukten ... 5

3 Feuerwiderstand von Bauteilen ... 6

3.1 Klassifizierung ... 6

3.2 Brandschutzbekleidungen ... 7

3.3 Feuerwiderstand von CLT-Bauteilen ... 7

4 Nachweisführung des Feuerwiderstandes von CLT-Elementen anhand von Klassifizierungsberichten nach EN 13501-2 ... 8

4.1 CLT-Außenwandaufbauten ... 8

4.2 CLT-Wandaufbauten ... 9

4.3 CLT-Deckenaufbauten ... 10

5 Nachweisführung des Feuerwiderstandes von CLT-Elementen anhand von Bemessung nach EN 1995-1-2:2011 (Eurocode 5) ... 11

5.1 Nachweisverfahren für die Beanspruchungen im Brandfall nach EN 1995-1-2:2011 ... 11

5.2 Nachweisverfahren für die mechanische Beanspruchbarkeit im Brandfall nach EN 1995-1-2:2011 ... 13

5.3 Abbrandraten für Stora Enso CLT ... 14

5.3.1 Bemessungswert der Abbrandraten β_0 für CLT bei während der gesamten Branddauer ungeschützten Oberflächen ... 14

5.3.2 Bemessungswert der Abbrandraten β_0 für CLT bei anfänglich mittels Gipsplatten vor der Brandeinwirkung geschützten Oberflächen ... 16

5.4 Bemessung der Tragfähigkeit (R) von CLT-Elementen nach EN 1995-1-2:2011 22
5.5 Bemessung des Raumabschlusses (E) und der Wärmedämmung (I) von CLT-Elementen 24
5.5.1 Isolierende und schützende Schichten eines Bauteiles 25
5.5.2 Ermittlung der Grundzeiten einer Schicht 28
5.5.3 Berechnung der Positionsbeiwerte k_{pos} 29
5.5.4 Bestimmung des Fugenbeiwertes $k_{j,i}$ 32
5.5.5 Berechnungsmodell-Anwendung für CLT 32

6 Brandschutztechnische Detailausführung 33
6.1 Stoßverbindungen und Bauteilanschlüsse 33
6.2 Installationen und Einbauten 34
6.3 Brandabschottungen in der Brettsperrholz-Bauweise 34
6.4 Verbindungsmittel 35
6.5 Zweischalige Bauteilaufbauten 35

7 Literaturverzeichnis 36

Anhang 1 – Bemessungsbeispiele 40
A 1.1 Ermittlung des Abbrandes von Stora Enso CLT (ohne Beplankung) 40
A 1.2 Ermittlung des Abbrandes von Stora Enso CLT (mit Beplankung) 41
A 1.3 Ermittlung der ideellen Abbrandtiefe von Stora Enso CLT (ohne Beplankung) 42
A 1.4 Ermittlung des Raumabschlusses (EI) von Stora Enso CLT (mit Beplankung) 43

Anhang 2 – Angaben zum Restquerschnitt und Raumabschluss von Stora Enso CLT-Bauteilaufbauten 46
A 2.1 Rechnerisch ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten (unbeplankt) 47
A 2.2 Rechnerisch ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten mit einlagiger GKF-Beplankung (12,5 mm) auf der brandbeanspruchten Bauteilseite 48
A 2.3 Rechnerisch ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten mit Installationsebene (50 mm, Steinwolle) und einlagiger GKF-Beplankung (12,5 mm) auf der brandbeanspruchten Bauteilseite 49
A 2.4 Rechnerisch ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Deckenaufbauten (unbeplankt) 50

1 Grundsätzliches

1.1 Brandschutz

Brandschutz allumfassend gesehen ist ein komplexes System und gliedert sich in mehrere Bereiche:

- Vorbeugender Brandschutz
  - Organisatorischer Brandschutz
  - Anlagentechnischer Brandschutz
  - Baulicher Brandschutz
- Abwehrender Brandschutz

Das vorliegende Dokument behandelt ausschließlich das Thema der baustoff- und bauteilspezifischen Eigenschaften von CLT-Elementen, welche bezugnehmend auf die oben angeführte Gliederung des Brandschutzes als Teil des baulichen Brandschutzes zu sehen sind.

1.2 Baustoff Holz unter Brandeinwirkung

Wird der Baustoff Holz einer Brandbeanspruchung ausgesetzt und kommt es somit zu einer Energiezufuhr, steigt dessen Temperatur und die eingelagerten Wassermoleküle beginnen ab ca. 100° Celsius zu verdampfen. Die ab 200–300° Celsius stattfindende Aufspaltung der langkettigen Moleküle der Zellwände resultiert in gasförmigen und brennbaren Verbindungen, wobei das Gas in weiterer Folge an die Holzoberfläche tritt, dort mit dem in der Luft enthaltenem Sauerstoff reagiert und verbrennt. [1]

Die Zersetzung dieser chemischen Verbindungen – wobei es durch Ausgasung brennbarer Bestandteile des Holzes zur Verbrennung mit Flamme kommt – wird Pyrolyse genannt, welche schrittweise fortschreitet und hinter sich eine Verkohlungszone aufbaut. Diese Kohleschicht entsteht aus kohlenstoffhaltigen Rückständen der Pyrolyse, welche mit Glut verbrennen. Die Eigenschaften dieser Schicht – insbesondere die niedrige Dichte und hohe Permeabilität – wirken als wärmedämmend und schützend in Bezug auf das darunterliegende, unversehrte Holz.

Abb. 1: Schnittfläche eines ursprünglich mit GKF-Platten bekleideten 80 mm dicken CLT-Elementes nach einem Großbrandversuch

Abbildung 1 zeigt die Schnittfläche eines Trennschnittes eines mit GKF-Platten bekleideten CLT-Elementes nach einem Großbrandversuch. Anhand dieser Schnittfläche kann man die verschiedenen Schichten – die Verkohlungszone (schwarze Färbung), gefolgt von der Pyrolysezone (bräunliche Färbung) und dem unversehrtem Holz – die durch Fortschreiten des Brandes bzw. der Pyrolyse entstehen, erkennen.

Abb. 2: Kohleschicht eines ursprünglich mit GKF-Platten bekleideten 80 mm dicken CLT-Elementes nach einem Großbrandversuch

2 Brandverhalten von Bauprodukten

Das Brandverhalten von Bauprodukten wird nach EN 13501-1 klassifiziert:

- Brandverhalten: A1, A2, B, C, D, E, F
  (Kriterien: Entzündbarkeit, Flammenausbreitung, frei werdende Energie)
- Rauchentwicklung: s1, s2, s3 (s1 => geringste Rauchentwicklung)
- Brennendes Abtropfen/Abfallen: d0, d1, d2 (d0 => nicht tropfend)

Das Brandverhalten von Stora Enso CLT ist laut [26] als D-s2, d0 eingestuft.

Beim Einsatz von CLT für Rohböden (d. h. ohne Fußbodenaufbau) gilt: D_{fl}-s1.

Bei Anwendung von Flammschutzmitteln – welche die Entzündung von Holzwerkstoffen verzögern und die nachträgliche Energiefreisetzung minimieren können – kann das Brandverhalten von CLT abhängig vom verwendeten Mittel in die Klassen C bzw. auch B eingeordnet werden.
Beim Einsatz im Außenbereich und den damit verbundenen möglichen Einwirkungen von hoher Luftfeuchtigkeit und direkter Bewitterung ist sicherzustellen, dass das Produkt die dafür notwendigen Eigenschaften und Beständigkeiten aufweist.

3 Feuerwiderstand von Bauteilen

3.1 Klassifizierung

Die charakteristischen Leistungseigenschaften, sowie die Feuerwiderstandsdauer werden nach der Klassifizierungsnorm EN 13501-2 folgendermaßen definiert:

- R (Tragfähigkeit)

  Das Leistungskriterium R wird als erfüllt angenommen, wenn die tragende Funktion eines Bauteils unter mechanischer Beanspruchung während der geforderten Zeit der Brandbeanspruchung erhalten bleibt.

- E (Raumabschluss)

  Das Leistungskriterium E eines raumtrennenden Bauteils beschreibt dessen Funktion, der einseitigen Brandbeanspruchung so zu widerstehen, dass ein Feuerdurchtritt als Ergebnis des Durchtrittes von Flammen oder heißen Gasen zur brandabgewandten Seite verhindert wird.

- I (Wärmedämmung)

  Das Leistungskriterium I wird als erfüllt angenommen, wenn der Temperaturanstieg an der feuerabgewandten Seite aufgrund der einseitigen Brandbeanspruchung auf ein gewisses Maß (max. 140 °C im Mittel und max. 180 °C punktuell über der mittleren Ausgangstemperatur) beschränkt wird.
  Die Übertragung muss so begrenzt sein, dass weder die brandabgewandte Bauteil-Oberfläche noch Materialien in deren Nähe entzündet werden und in der Nähe befindliche Personen geschützt werden.

- Sowie W (Strahlungsbegrenzung), M (Widerstand gegen mechanische Beanspruchung), C (selbstschließende Eigenschaft), S (Rauchdichtheit), G (Widerstandsfähigkeit gegen Rußbrand) und K (Brandschutzfunktion), welche für herkömmliche CLT-Bauteilaufbauten in der Regel nicht relevant sind.

Die Klassifizierungszeit ist in 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 und 360 Minuten gestaffelt.

Die Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer wird mit folgenden Kurzzeichen laut EN 13501-2 beschrieben:

- Klassifizierung von Fassaden (vorgehängten Fassaden) und Außenwänden

i → o	klassifizierte Feuerwiderstandsdauer von innen nach außen
o → i	klassifizierte Feuerwiderstandsdauer von außen nach innen
o ↔ i	klassifizierte Feuerwiderstandsdauer von innen nach außen und von außen nach innen

- Klassifizierung von Unterdecken mit eigenständiger Feuerwiderstandsfähigkeit

a → b	klassifizierte Feuerwiderstandsdauer von oben nach unten
a ← b	klassifizierte Feuerwiderstandsdauer von unten nach oben
a ↔ b	klassifizierte Feuerwiderstandsdauer von oben nach unten und von unten nach oben

3.2 Brandschutzbekleidungen

Die für Brandschutzbekleidungen definierten Bezeichnungen K_1 und K_2 werden laut EN 13501-2 folgend beschrieben:

- Der Begriff „Brandschutzbekleidung“ bezieht sich auf die äußerste Schicht bei vertikal angeordneten Bauteilen und die unterste Schicht bei horizontal oder geneigt angeordneten Bauteilen.
- Die als solche definierte Bekleidung mit der Bezeichnung K_1 oder K_2 muss für die direkt hinter der Brandschutzbekleidung liegende Schicht während der entsprechenden Klassifizierungszeit (K_1: 10 min.; K_2: 10, 30 oder 60 min.) den laut EN 13501-2 beschriebenen Schutz bieten.

Eine Brandschutzbekleidung ohne dahinterliegenden Hohlraum mit der Klassifizierung K_2 60 hat beispielhaft über die Dauer von 60 Minuten folgenden Schutz zu leisten:

- Während der Klassifizierungszeit darf kein Zusammenbrechen der Brandschutzbekleidung oder Teilen davon auftreten.
- Die an der Unterseite der Trägerplatte (auf der die zu klassifizierende Brandschutzbekleidung geprüft wird) gemessene mittlere Temperatur darf die Anfangstemperatur um nicht mehr als 250 °C übersteigen.
- Die an der Unterseite der Trägerplatte (auf der die zu klassifizierende Brandschutzbekleidung geprüft wird) gemessene maximale Temperatur (punktuell) darf die Anfangstemperatur um nicht mehr als 270 °C übersteigen.
- Nach der Prüfung darf an keiner beliebigen Stelle der Trägerplatte (auf der die zu klassifizierende Brandschutzbekleidung geprüft wird) verbranntes oder verkohltes Material zum Vorschein kommen.

Informationen zu klassifizierten Brandschutzbekleidungen können u. a. bei Gipsplatten-Herstellern angefragt werden.

3.3 Feuerwiderstand von CLT-Bauteilen

Mit mehrlagigen CLT-Elementen können Bauteile mit hohem Feuerwiderstand hergestellt werden. So wird beispielsweise mit einem unbekleideten dreilagigen CLT-Element bereits der Feuerwiderstand REI 60 und mit einem mit einlagiger GKF-Platte bekleideten CLT-Element REI 90 erreicht.
Erhöhte Anforderungen an den Feuerwiderstand können grundsätzlich durch folgende Maßnahmen kompensiert werden:

- Erhöhung der Stärke des CLT-Elementes
- Erhöhung der Lagenanzahl des CLT-Elementes
- Anbringung entsprechender Bekleidungen

Zur Nachweisführung des Feuerwiderstandes von Holzbauteilen können entweder Klassifizierungsberichte nach EN 13501-2 auf Basis von Großbrandversuchen herangezogen oder Bemessungen nach EN 1995-1-2 in Kombination mit den jeweiligen nationalen Anwendungsdokumenten durchgeführt werden.

4 Nachweisführung des Feuerwiderstandes von CLT-Elementen anhand von Klassifizierungsberichten nach EN 13501-2

Stora Enso hat CLT-Elemente mit verschiedenen Bauteilaufbauten von verschiedenen akkreditierten Prüfinstituten auf Feuerwiderstand nach EN 1365-1 bzw. EN 1365-2 prüfen lassen. Die Ergebnisse der aus den Feuerwiderstandsprüfungen resultierenden Klassifizierungsberichten ([27], [28], [29], [30], [31], [32] und [36]) nach EN 13501-2 sind folgend angeführt.

4.1 CLT-Außenwandaufbauten

Klassifizierungen über den Feuerwiderstand REI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Außenwandelemente:

Bekleidung innenseitig	Installations-ebene	Brettsperrholzelement		Bekleidung außenseitig	Prüflast	Klassifizierung i ↔ o
		Bezeichnung	Lamellenaufbau [mm]		[kN/m]	
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm Holzwolle-leichtbau-platte, 15 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm Steinwolle, 4 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	50 mm Holzwolle-leichtbau-platte, 15 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	80 mm Steinwolle, 4 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm GKF	40 mm Mine-ralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm Holzwolle-leichtbau-platte, 15 mm Putz	35	REI 90
12,5 mm GKF	40 mm Mine-ralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm Steinwolle, 4 mm Putz	35	REI 90

Tabelle 1: Klassifizierungen der geprüften Bauteile entsprechend [32]

4.2 CLT-Wandaufbauten

Klassifizierungen über den Feuerwiderstand REI 60 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelemente:

Bekleidung	Installationsebene	Brettsperrholzelement		Prüflast	Klassifizierung
		Bezeichnung	Lamellenaufbau [mm]	[kN/m]	
–	–	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 60
–	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 60

Tabelle 2: Klassifizierungen der geprüften Bauteile entsprechend [27]

Klassifizierungen über den Feuerwiderstand REI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelemente:

Bekleidung	Installationsebene	Brettsperrholzelement		Prüflast	Klassifizierung
		Bezeichnung	Lamellenaufbau [mm]	[kN/m]	
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 90
12,5 mm GKF	40 mm Mineralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90

Tabelle 3: Klassifizierungen der geprüften Bauteile entsprechend [28]

Bekleidung	Installationsebene	Brettsperrholzelement		Prüflast	Klassifizierung
		Bezeichnung	Lamellenaufbau [mm]	[kN/m]	
35 mm ProCrea Lehmplatte, 5 mm ProCrea Lehmunter-putz mit Armie-rungsgewebe, 5 mm ProCrea Lehmober-putz	-	CLT 140 C5s	40–20–20–20–40	280	REI 90

Tabelle 4: Klassifizierungen der geprüften Bauteile entsprechend [36]

Klassifizierung über den Feuerwiderstand REI 120 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelemente:

Bekleidung	Installationsebene	Brettsperrholzelement		Prüflast	Klassifizierung
		Bezeichnung	Lamellenaufbau [mm]	[kN/m]	
12,5 mm GKF	40 mm Mineralwolle	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 120

Tabelle 5: Klassifizierungen der geprüften Bauteile entsprechend [29]

4.3 CLT-Deckenaufbauten

Klassifizierungen über den Feuerwiderstand REI 60 von tragenden Brettsperrholzelementen als Decken- bzw. Dachelemente:

Bekleidung	Abhängung	Brettsperrholzelement		Prüflast	Klassifizierung
		Bezeichnung	Lamellenaufbau [mm]	[kN/m²]	
12,5 mm GKF (auf *1 brandabgewandter Seite) oder Fußbodenaufbau	–	CLT 100 L3s	30–40–30	0,6	REI 60
–	–	CLT 140 L5s	40–20–20–20–40	5	REI 60

Tabelle 6: Klassifizierungen der geprüften Bauteile entsprechend [30]

Anmerkung *1: Die bei der Feuerwiderstandsprüfung auf der brandabgewandten Seite angebrachte GKF-Platte mit einer Stärke von 12,5 mm diente zur Simulation eines Fußbodenaufbaues.

Klassifizierungen über den Feuerwiderstand REI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Decken- bzw. Dachelemente:

Bekleidung	Abhängung	Brettsperrholzelement		Prüflast	Klassifizierung
		Bezeichnung	Lamellenaufbau [mm]	[kN/m²]	
–	–	CLT 160 L5s	40–20–40–20–40	6	REI 90
12,5 mm GKF	–	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 GKF	40 mm Mineralwolle	CLT 140 L5s	40–20–20–20–40	5	REI 90

Tabelle 7: Klassifizierungen der geprüften Bauteile entsprechend [31]

Die Klassifizierungskurzberichte sind als Download auf *www.clt.info* zu finden.

5 Nachweisführung des Feuerwiderstandes von CLT-Elementen anhand von Bemessung nach EN 1995-1-2:2011 (Eurocode 5)

Für die geforderte Brandbeanspruchungsdauer *t* muss folgendes nachgewiesen werden:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$$

Dabei ist:

$E_{d,fi}$	Bemessungswert der Beanspruchungen im Brandfall (= Lasteinwirkung) (Bei anderen Materialien als Holz müssen auch thermische Dehnungen berücksichtigt werden.)
$R_{d,t,fi}$	Zugehöriger Bemessungswert der Beanspruchbarkeit im Brandfall (= Widerstand)

5.1 Nachweisverfahren für die Beanspruchungen im Brandfall nach EN 1995-1-2:2011

Der Bemessungswert der Beanspruchungen im Brandfall soll für den Zeitpunkt $t = 0$ unter Verwendung der Kombinationsbeiwerte $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$ entsprechend EN 1991-1-2:2002, 4.3.1, bestimmt werden. (Siehe auch EN 1990-1-1, 6.4.3.3)

$$E_{dA} = \sum G_{k,j} \text{"+"} P \text{"+"} A_d \text{"+"} Q_{k,1} \cdot (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \text{"+"} \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Dabei ist:

$G_{k,j}$	Charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung *j*
P	Maßgebender repräsentativer Wert einer Vorspannung
A_d	Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung
$Q_{k,1}$	Charakteristischer Wert einer maßgebenden veränderlichen Einwirkung *1*
$Q_{k,i}$	Charakteristischer Wert einer maßgebenden veränderlichen Einwirkung *i*
Ψ_1	Beiwert für häufige Werte der veränderlichen Einwirkungen
Ψ_2	Beiwert für quasi-ständige Werte der veränderlichen Einwirkungen

Die Wahl bzgl. Verwendung von $\psi_{1,2}$ oder $\psi_{2,1}$ wird dem Anwender überlassen.

Vereinfachend darf der Bemessungswert der Beanspruchungen im Brandfall $E_{d,fi}$ aus der Berechnung des Bemessungswertes der Beanspruchungen bei Normaltemperatur E_d folgend bestimmt werden:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

Dabei ist:

$E_{d,fi}$	Bemessungswert der Beanspruchungen im Brandfall
η_{fi}	Abminderungsfaktor für den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall
E_d	Bemessungswert der Beanspruchungen bei Normaltemperatur für die Grundkombination der Einwirkungen

Der Abminderungsfaktor η_{fi} sollte für die Lastkombination nach EN 1990-1-1 wie folgt angenommen werden, wobei der kleinste Wert entsprechend den zwei folgenden Gleichungen verwendet werden soll:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \qquad \eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}$$

Dabei ist:

$Q_{k,1}$	Charakteristischer Wert der vorherrschenden unabhängigen veränderlichen Einwirkung
G_k	Charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
$\gamma_{Q,1}$	Teilsicherheitsfaktor für die vorherrschende unabhängige veränderliche Einwirkung
Ψ_{fi}	Kombinationsbeiwert für häufige Werte veränderlicher Einwirkungen im Brandfall, gegeben als $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$, siehe EN 1991-1-1
ξ	Abminderungsfaktor für ungünstige ständige Einwirkungen G (siehe EN 1990-1-1, A.1.3.1)

Für den Abminderungsfaktor η_{fi} wird in EN 1995-1-2:2011, 2.4.2 abgesehen von der Angabe obiger Gleichungen ein vereinfachter Wert von η_{fi} = 0,6 empfohlen. Ausnahme bilden Bereiche mit größeren Nutzlasten entsprechend Kategorie E nach EN 1991-1-2:2002, wofür ein Wert von η_{fi} = 0,7 vorgeschlagen wird.

Stellt man die Optionen zur Bemessung der Beanspruchungen gegenüber, wird ersichtlich, dass die vereinfachte Annahme mit der Einwirkung $E_{d,fi}$ zu einer höheren Belastung führt als die Einwirkungen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation.

5.2 Nachweisverfahren für die mechanische Beanspruchbarkeit im Brandfall nach EN 1995-1-2:2011

Für den Nachweis der mechanischen Beanspruchbarkeit müssen die Bemessungswerte der Festigkeits- und Steifigkeitsparameter folgend bestimmt werden:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

Dabei ist:

$f_{d,fi}$	Bemessungswert der Festigkeit im Brandfall
$k_{mod,fi}$	Modifikationsbeiwert im Brandfall für die Methode mit reduziertem Querschnitt; $k_{mod,fi}$ = 1,0 (lt. EN 1995-1-2)
f_{20}	20%-Fraktilwert der Festigkeit bei Normaltemperatur; $f_{20} = k_{fi} * f_k$
f_k	5%-Fraktilwert der Festigkeit
k_{fi}	Koeffizient zur Umrechnung von 5%- auf 20%-Fraktilwerte; k_{fi} für CLT = 1,15 (lt. EN 1995-1-2)
$\gamma_{M,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für Holz im Brandfall $\gamma_{M,fi}$ = 1,0 (lt. EN 1995-1-2)

Für die Bemessung im Brandfall werden anstatt der 5%- die 20%-Fraktilwerte herangezogen. Der Grund für diese Annahme liegt in der sehr geringen Auftretenswahrscheinlichkeit eines Vollbrandes während der Lebensdauer eines Tragwerkes und ist materialunabhängig. [25]
(Daher der Koeffizient zur Umrechnung der Fraktilwerte k_{fi} mit 1,15.)

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

Dabei ist:

$S_{d,fi}$	Bemessungswert der Steifigkeitseigenschaft (Elastizitätsmodul oder Schubmodul) im Brandfall
$k_{mod,fi}$	Modifikationsbeiwert im Brandfall für die Methode mit reduziertem Querschnitt; $k_{mod,fi}$ = 1,0 (lt. EN 1995-1-2)
S_{20}	20%-Fraktile einer Steifigkeitseigenschaft (Elastizitätsmodul oder Schubmodul) bei Normaltemperatur $S_{20} = k_{fi} * S_{05}$
S_{05}	5%-Fraktile einer Steifigkeitseigenschaft (Elastizitätsmodul oder Schubmodul) bei Normaltemperatur
k_{fi}	Koeffizient zur Umrechnung von 5%- auf 20%-Fraktilwerte; k_{fi} für CLT = 1,15 (lt. EN 1995-1-2)
$\gamma_{M,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für Holz im Brandfall $\gamma_{M,fi}$ = 1,0 (laut EN 1995-1-2)

5.3 Abbrandraten für Stora Enso CLT

Im Zuge der Brandbeanspruchung und des dadurch resultierenden Temperatureinflusses auf den Brettsperrholz-Querschnitt kann es bei Polyurethan-Klebstoffen zwischen den einzelnen Lagen zu einem Erweichen kommen. Als mögliche Folge kann sich die wärmedämmende Kohleschicht kleinstrukturiert/kleinteilig ablösen und die Schutzfunktion dieser in punktuellen Bereichen verloren gehen. [2]

Bei Deckenelementen und anderen horizontalen Bauteilen sind daher mögliche Delaminierungserscheinungen zu berücksichtigen, wobei für nächste, der Brandbeanspruchung ausgesetzte Lagen eine erhöhte Abbrandrate bis zur erneuten Bildung einer 25 mm dicken Kohleschicht rechnerisch anzusetzen ist.

5.3.1 Bemessungswert der Abbrandraten β_0 für CLT bei während der gesamten Branddauer ungeschützten Oberflächen

Folgend angeführte Abbrandraten für Stora Enso CLT wurden im Rahmen von [8] vom akkreditierten Institut *Holzforschung Austria* ermittelt und dürfen bei der Bemessung des Feuerwiderstandes einer Konstruktion mit unterschiedlichen Lasten und/oder Lagenstärken nach EN 1995-1-2 (unter Berücksichtigung vom jeweiligen nationalen Anhang) verwendet werden.

- Decken- und Dachelemente (horizontal angeordnete Bauteile):
  - 0,65 mm/min., wenn nur eine Lage von der Brandbeanspruchung betroffen ist. [33]
  - 1,3 mm/min. für jede weitere, von der Brandbeanspruchung betroffene Lage bis zu einem Abbrand bzw. einer Kohleschicht-Bildung von 25 mm.
    Danach kann bis zur nächsten Leimfuge mit einer Abbrandrate von 0,65 mm/min. gerechnet werden. [33]

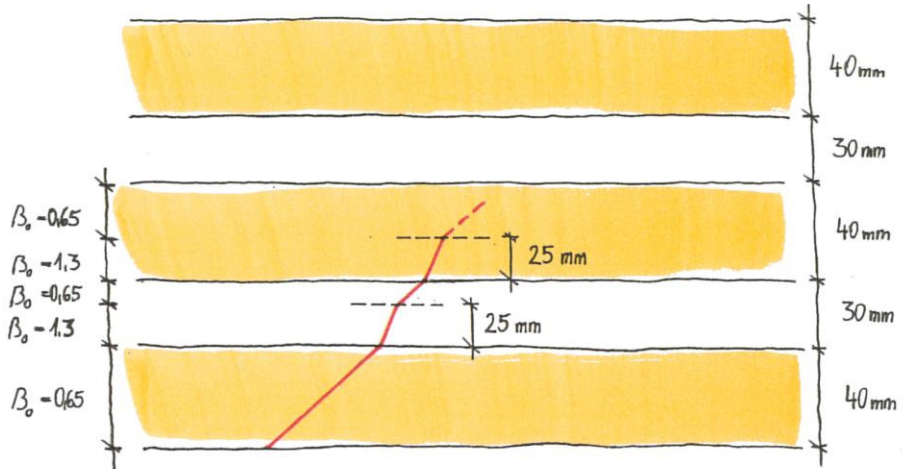


Abb. 3: Beispielhafte Darstellung des Abbrandes bzw. der Abbrandrate eines horizontal angeordneten CLT-Bauteiles (CLT 180 L5s), womit die rechnerisch anzusetzende Abbrandrate von 1,3 mm/min. für jede weitere, vom Brand betroffene Lage bis zur erneuten Kohleschichtbildung mit einer Dicke von 25 mm erläutert wird.

- Wandelemente (vertikal angeordnete Bauteile):
  - 0,63 mm/min., wenn nur eine Lage von der Brandbeanspruchung betroffen ist. [33]
  - 0,86 mm/min. für jede weitere, von der Brandbeanspruchung betroffene Lage. [33]

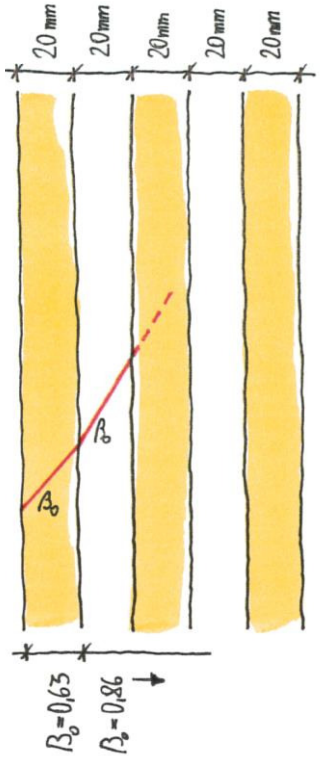


Abb. 4: Beispielhafte Darstellung des Abbrandes bzw. der Abbrandrate eines vertikal angeordneten CLT-Bauteiles (CLT 100 L5s), womit die rechnerisch anzusetzende erhöhte Abbrandrate von 0,86 mm/min. ab der zweiten, vom Brand betroffenen Lage erläutert wird.

5.3.2 Bemessungswert der Abbrandraten β_0 für CLT bei anfänglich mittels Gipsplatten vor der Brandeinwirkung geschützten Oberflächen

Die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen wird bei rauminnenseitiger Brandbeanspruchung in großem Maße von innenliegenden Bekleidungen bestimmt. So werden zur Erhöhung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Konstruktionen wie Wand-, Decken- und Dachelementen meist Gipsbaustoffe/Gipsplatten verwendet, welche schon bei geringer Stärke gute Schutzwirkung bieten.

Die gute Schutzwirkung bei Brandbeanspruchung beruht vor allem auf dem im Gipskern der Platten gebundenen Kristallwasser mit einem Gehalt von etwa 20%. Durch die Verdampfung dieses Kristallwassers wird Energie verbraucht und zusätzlich auf der brandbeanspruchten Seite der Platte ein schützender Dampfschleier aufgebaut. Abgesehen von diesem in Bezug auf den Brandfortschritt verzögernden Effekt, wirkt die entwässerte Gipsschicht durch die geringer werdende Wärmeleitfähigkeit als zusätzlicher Isolator.
In Gipskarton-Feuerschutzplatten (GKF) sind zusätzlich Glasfasern enthalten, welche als Bewehrung des Gipskerns wirken und den Gefügezusammenhalt bei Brandbeanspruchung sichern. [3]

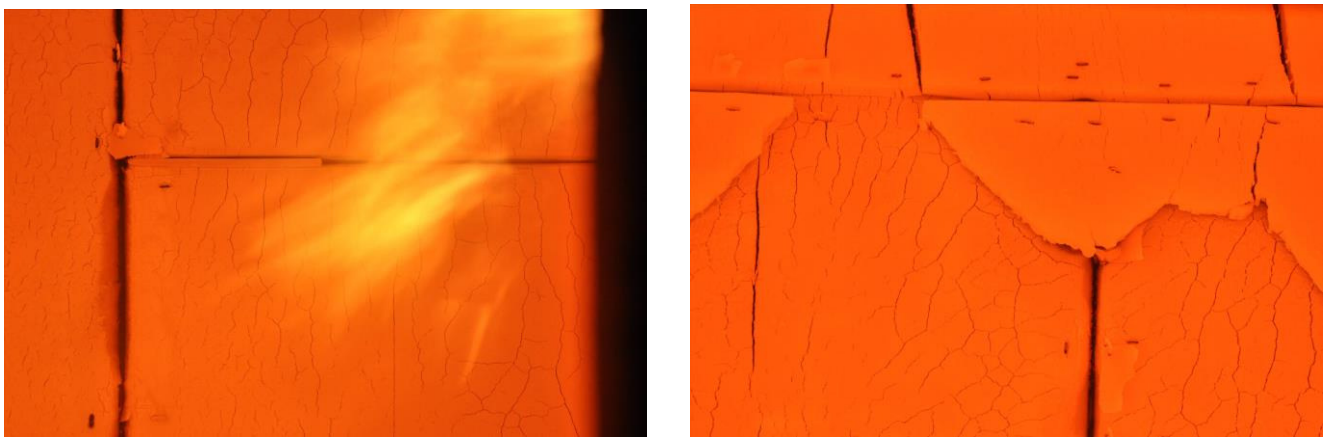


Abb. 5: Doppellagige Beplankung mit GKF-Platten unter Brandbeanspruchung während eines Großbrandversuches

Abbildung 5 zeigt das Verhalten von GKF-Platten unter Brandbeanspruchung, wobei es sich in diesem Fall um eine doppellagige Beplankung handelt.
Wie ersichtlich, kommt es nach der Haarrissbildung und dem Ablösen der Kartonschicht mit fortschreitender Zeit zu größeren Fugenklaffungen, zum Ausfallen der Fugen-Gipsmasse und zum Abfallen erster Teile der ersten Beplankungslage. Sind größere Plattenteile der ersten Lage abgefallen, kommt es auch in der zweiten Lage zur Haarrissbildung. Nach Fugenklaffungen dieser Lage dringen die Flammen durch die größer werdenden Fugen an das dahinterliegende CLT, was zur Bildung und zum Ausdringen von Holzgas führt. Der Abbrand am anfänglich geschütztem CLT-Element beginnt.

Bezüglich Bezeichnungen von Gipsplatten ist folgende Korrelation bzw. Äquivalenz zu beachten:

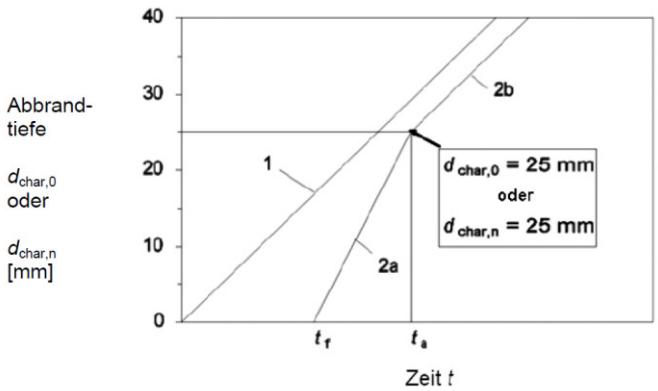
Bezeichnung laut EN 520	Bezeichnung laut ÖNORM B 3410 und DIN 18180
Gipsplatte Typ A	Gipskarton Bauplatte, GKB
Gipsplatte Typ F bzw. DF	Gipskarton Feuerschutzplatte, GKF
Gipsplatte Typ H2	Gipskarton Bauplatte – imprägniert, GKBI
Gipsplatte Typ DFH2	Gipskarton Feuerschutzplatte – imprägniert, GKFI

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Gipsplatten-Bezeichnungen von EN 520 und ÖNORM B 3410 bzw. DIN 18180

Bei vor Brandeinwirkung anfänglich geschützten Bauteilen ist der Beginn des Abbrandes hinter der schützenden Schicht bzw. Beplankung t_{ch} und die Versagenszeit der schützenden Beplankung t_f essentiell.
Nach EN 1995-1-2:2011 soll folgendes berücksichtigt werden:

- Der Beginn des Abbrandes wird bis zur Zeit t_{ch} verzögert;
- Ein Abbrand vor dem Versagen der Brandschutzbekleidung auftreten kann, die Abbrandrate aber bis zum Versagenszeitpunkt t_f der Brandschutzbekleidung geringer ist als die Werte nach [22], Tabelle 3.1 bzw. die Werte nach [33];
- Die Abbrandrate nach dem Versagenszeitpunkt t_f der Brandschutzbekleidung bis zum Zeitpunkt t_a größer ist als die Werte nach [22], Tabelle 3.1 bzw. die Werte nach [33];
- Die Abbrandrate ab dem Zeitpunkt t_a, zu dem die Abbrandtiefe dem geringeren Wert – entweder der Abbrandtiefe eines gleichen Bauteils ohne Brandschutzbekleidung oder 25 mm – entspricht, wieder die Werte nach [22], Tabelle 3.1 bzw. die Werte nach [33] einnimmt.

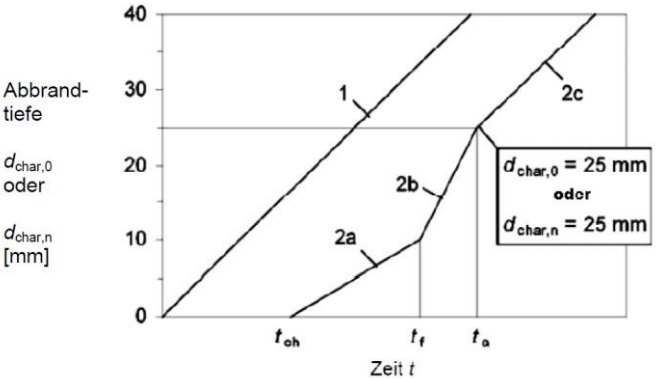
Folgende Abbildungen aus EN 1995-1-2:2011 dienen zum besseren Verständnis obiger Punkte:



Legende:

1	Verlauf für während der Branddauer ungeschützte Bauteile mit der ideellen Abbrandrate β_n (oder β_0)
2	Verlauf für anfänglich geschützte Bauteile nach dem Versagen der Brandschutzverkleidung
2a	Nach dem Abfall der Brandschutzbekleidung, Beginn des Abbrandes mit erhöhten Werten
2b	Nach Überschreiten der Abbrandtiefe von 25 mm bzw. des Zeitpunktes t_a reduziert sich die Abbrandrate auf den Normalwert

Abb. 6: Darstellung der Abbrandtiefe in Abhängigkeit von der Zeit für $t_{ch} = t_f$ und einer Abbrandtiefe von 25 mm zum Zeitpunkt t_a [22]



Legende:

1	Verlauf für während der Branddauer ungeschützte Bauteile mit der ideellen Abbrandrate β_n (oder β_0)
2	Verlauf für anfänglich geschützte Bauteile, bei denen der Abbrand vor dem Versagen der Brandschutzbekleidung beginnt
2a	Der Abbrand beginnt bei t_{ch} mit einer verringerten Rate, solange die Brandschutzbekleidung noch intakt ist
2b	Nach Abfall der Brandschutzbekleidung beginnt der Abbrand mit erhöhter Rate
2c	Nach Überschreiten der Abbrandtiefe von 25 mm bzw. des Zeitpunktes t_a reduziert sich die Abbrandrate auf den Normalwert

Abb. 7: Darstellung der Abbrandtiefe in Abhängigkeit von der Zeit für $t_{ch} < t_f$ [22]

5.3.2.1 Abbrandraten für anfänglich geschützte Bauteile

- Für den Zeitraum $t_{ch} \leq t \leq t_f$ sollten nach [22] die in EN 1995-1-2, Tabelle 3.1 bzw. die laut Gutachten der *Holzforschung Austria* angegebenen Abbrandraten mit dem Faktor k_2 multipliziert werden, wobei dieser für einlagige Bekleidungen aus Gipsplatten, Typ F folgendermaßen berechnet wird:

$$k_2 = 1 - 0{,}018 \cdot h_p$$

Dabei ist:

h_p	Dicke der Bekleidung in mm

Wenn es sich um eine mehrlagige Bekleidung aus Gipsplatten, Typ F handelt, ist für h_p die Dicke der inneren Lage einzusetzen.

Wenn das Holzbauteil mittels Steinwollematten (Dicke: ≥ 20 mm, Rohdichte: ≥ 26 kg/m^3, Schmelzpunkt: ≥ 1000 °C) geschützt wird, darf der Faktor k_2 laut Tabelle 9 angenommen werden. Für zwischen 20 und 45 mm liegende Dicken dürfen die Werte linear interpoliert werden.

Dicke h_{ins} mm	k_2
20	1
≥ 45	0,6

Tabelle 9: Werte für k_2 für durch Steinwolle geschützte Holzbauteile [22]

- Für den Zeitraum $t_f \leq t \leq t_a$ nach dem Versagen der Brandschutzbekleidung sollten nach [22] die in EN 1995-1-2, Tabelle 3.1 bzw. die laut Gutachten der *Holzforschung Austria* angegebenen Abbrandraten mit dem Faktor $k_3 = 2$ multipliziert werden. Für $t \geq t_a$ sollten die Abbrandraten ohne Multiplikation mit dem Faktor k_3 in Rechnung gestellt werden.

- Das Zeitlimit t_a (siehe Abbildung 6) ist für $t_{ch} = t_f$ nach [22] folgend zu berechnen:

$$t_a = \min \begin{cases} 2 \cdot t_f \\ \dfrac{25}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f \end{cases}$$

Für $t_{ch} < t_f$ gilt:

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_n}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f$$

Dabei ist:

β_n	Bemessungswert der ideellen Abbrandrate in mm/min. (Bei eindimensionalem Abbrand wird β_n mit β_0 ersetzt.)

5.3.2.2 Beginn des Abbrandes bei anfänglich geschützten Bauteilen

- Bekleidungen aus einer Lage Gipsplatten, Typ A, F oder H:

  Für Bekleidungen aus einer Lage Gipsplatte Typ A, F, oder H nach EN 520 ist der Beginn des Abbrandes t_{ch} außerhalb von Stößen oder im Bereich von verspachtelten Stößen oder offenen Stößen mit einer Breite von nicht mehr als 2 mm nach [22] folgend anzunehmen:

  $$t_{ch} = 2{,}8 \cdot h_p - 14$$

  Im Bereich von offenen Stößen mit einer Breite von mehr als 2 mm gilt folgendes:

  $$t_{ch} = 2{,}8 \cdot h_p - 23$$

  Dabei ist:

t_{ch}	Zeitdauer bis zum Beginn des Abbrandes eines geschützten Bauteils in min.
h_p	Dicke der Brandschutzbekleidung in mm

- Bekleidungen aus zwei Lagen Gipsplatten, Typ A oder H:

  Für zweilagige Bekleidungen aus Gipsplatten, Typ A oder H nach EN 520 sollte nach [22] der Beginn des Abbrandes t_{ch} nach der Formel in 5.3.2.2 ermittelt werden, wobei die Dicke h_p der Dicke der äußeren Lage und 50 % der Dicke der inneren Lage entspricht. Voraussetzung ist, dass der Abstand der Verbindungsmittel der inneren Lage nicht größer ist als der Abstand der Verbindungsmittel der äußeren Lage.

- Bekleidungen aus zwei Lagen Gipsplatten, Typ F:

  Für zweilagige Bekleidungen aus Gipsplatten, Typ F nach EN 520 sollte nach [22] der Beginn des Abbrandes t_{ch} nach der Formel in 5.3.2.2 ermittelt werden, wobei die Dicke h_p der Dicke der äußeren Lage und 80 % der Dicke der inneren Lage entspricht. Voraussetzung ist, dass der Abstand der Verbindungsmittel der inneren Lage nicht größer ist als der Abstand der Verbindungsmittel der äußeren Lage.

- Dämmstoffe in Installationsebenen:

  Wenn das Holzbauteil mittels Steinwollematten (Dicke: ≥ 20 mm, Rohdichte: ≥ 26 kg/m^3, Schmelzpunkt: ≥ 1000 °C) geschützt wird, darf für den Beginn des Abbrandes t_{ch} folgende Gleichung mitberücksichtigt werden:

  $$t_{ch} = 0{,}07 \cdot (h_{ins} - 20) \cdot \sqrt{\rho_{ins}}$$

  Dabei ist:

t_{ch}	Zeitdauer bis zum Beginn des Abbrandes eines geschützten Bauteils in min.
h_{ins}	Dicke des Wärmedämmstoffes in mm
P_{ins}	Rohdichte des Wärmedämmstoffes in kg/m^3

5.3.2.3 Versagenszeit von Brandschutzbekleidungen

Für die Versagenszeit einer Brandschutzbekleidung können grundsätzlich der Abbrand oder mechanische Abtrag der Bekleidung selbst, die Abstände und Randabstände der Verbindungsmittel und/oder eine mögliche unzureichende Verankerungslänge der Verbindungsmittel im unversehrten Holzquerschnitt verantwortlich sein.

- Bekleidungen aus Gipsplatten, Typ A oder H:

  Für Gipsplatten, Typ A oder H nach EN 520 wird nach [22] die Versagenszeit t_f mit dem Zeitpunkt des Beginns des Abbrandes t_{ch} gleichgesetzt.
  Für Gipsplatten, Typ A oder H erfolgt nach dem Beginn des Abbrandes und des gleichzeitig stattfindenden Abfall der Beplankung bis zum Zeitpunkt t_a ein doppelt so hoher Abbrand. Nach der Bildung einer 25 mm dicken Kohleschicht reduziert sich die Abbrandrate wieder auf die gewöhnlichen Werte.
  (Siehe auch Abb. 6)

  $$t_f = t_{ch}$$

- Bekleidungen aus Gipsplatten, Typ F:

  Bei Gipsplatten, Typ F bzw. Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) erfolgt nach [22] jedoch ab dem Beginn des Abbrandes t_{ch} bis zum Zeitpunkt t_f ein geringerer Abbrand. Bis zur anschließenden Bildung einer 25 mm dicken Kohleschicht findet ein doppelt so hoher Abbrand statt, nachdem sich die Abbrandrate wieder auf die gewöhnlichen Werte reduziert.
  (Siehe auch Abb. 7)

  Die EN 1995-1-2:2011 gibt keine Auskunft bzgl. Versagenszeit von Gipsplatten, Typ F bzw. GKF.

  Nach ÖNORM B 1995-1-2:2011 (österreichische, nationale Festlegungen) können die Versagenszeitpunkte t_f für Bekleidungen aus Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) gemäß ÖNORM B 3410 bzw. Gipsplatten Typ DF gemäß EN 520 und Gipsfaserplatten GF-C1-W2 gemäß EN 15283-2 folgend ermittelt werden:

  Wandbauteile: $$t_f = 2{,}2 \cdot h_p + 4$$

  Deckenbauteile: $$t_f = 1{,}4 \cdot h_p + 6$$

  Dabei ist:

t_f	Versagenszeitpunkt der Brandschutzbekleidung in min.
h_p	Dicke der Brandschutzbekleidung in mm

  Bei der Bestimmung der Versagenszeit mehrlagiger Beplankungen aus Gipsplatten Typ F gelten die in Kapitel 5.3.2.2 angeführten Regelungen sinngemäß, wonach die Dicke h_p der Dicke der äußeren Lage und 80 % der Dicke der inneren Lage entspricht.

- Verankerungslänge der Verbindungsmittel für Gipsplatten

Brandschutzbekleidungen können abgesehen vom thermischen Versagen der Bekleidungen selbst, auch durch Versagen infolge Herausziehens der Verbindungsmittel abfallen.
Nach [22] soll auch die notwendige Mindestlänge der Verbindungsmittel bestimmt werden, um so ausschließen zu können, dass das Herausziehen der Verbindungsmittel zum maßgebenden Fall für das Versagen der Brandschutzbekleidung wird.

Die Verankerungslänge l_a der Verbindungsmittel in den unversehrten Holzquerschnitt sollte mindestens 10 mm betragen.

Die geforderte Länge der Verbindungsmittel $l_{f,req}$ wird folgend berechnet:

$$l_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_a$$

Dabei ist:

h_p	Plattendicke in mm
$d_{char,0}$	Abbrandtiefe im Holzbauteil
l_a	Mindestverankerungslänge der Verbindungsmittel in unverkohltem Holz

Für weitere Informationen zu Verbindungen/Verankerungen von Bekleidungen siehe [22], Kapitel 7.1.2.

- Gutachtlich bestätigte Versagenszeiten t_f von Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) auf Stora Enso CLT:

Abgesehen von den zuvor angeführten und in [22] und [25] gegebenen Gleichungen zur Bestimmung des Beginn des Abbrandes t_{ch} und der Versagenszeit t_f von Gipsplatten, verfügt Stora Enso über eine gutachtliche Stellungnahme von Versagenszeiten, die bei der Bemessung nach EN 1995-1-2 verwendet werden dürfen.
Laut [35] haben sich aufgrund verschiedener durchgeführter Untersuchungen die in Tabelle 10 angeführten Versagenszeiten t_f für Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) gemäß ÖNORM B 3410 oder Gipsplatten Typ DF gemäß EN 520 ergeben.
(Vergleichend dazu die errechneten Werte nach Gleichungen von [25], welche ursprünglich für Holzrahmenbau-Konstruktionen erarbeitet wurden.)

Gipskartonfeuer-schutzplatten (GKF)	CLT-Wandkonstruktion (vertikaler angeordneter Bauteil)	
	HFA-Gutachten	ON B 1995-1-2
[mm]	t_f [min.]	t_f [min.]
12,5	55,0	31,5
2 × 15	80,0	63,4

Tabelle 10: Versagenszeiten für direkt auf CLT-Elementen bekleidete GKF oder Gipslatten Typ DF entsprechend [35] (vergleichend die nach EN 1995-1-2 rechnerisch ermittelten Versagenszeiten)

Die in Tabelle 10 angeführten Versagenszeiten gelten ausschließlich für Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) oder Gipsplatten Typ DF, welche direkt auf Stora Enso CLT-Elementen befestigt werden. Die Befestigung und Verspachtelung der GKF-Platten ist nach den Herstellerangaben entsprechend auszuführen. [35]

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

Bei der Bemessung der Tragfähigkeit (R) von Holzbauteilen unter Brandbeanspruchung bzw. der Bemessung der Querschnittswerte gilt es abgesehen von der Bestimmung des Abbrandes auch die dahinterliegende temperaturbeeinflusste Zone zu berücksichtigen, da die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Holz mit zunehmender Temperatur abnehmen.

Die Bemessung der Querschnittswerte kann abgesehen von der in EN 1995-1-2, Anhang B angeführten detaillierten Berechnungsmöglichkeit anhand zwei vereinfachten Methoden geführt werden, wobei erstere empfohlen wird:

- Methode mit reduziertem Querschnitt

  Diese Methode verwendet für den Nachweis im Brandfall einen reduzierten Querschnitt bzw. Restquerschnitt, welcher unter Berücksichtigung eines erhöhten Abbrandes (Ausrundungen bzw. Eckabbrand) und einer zusätzlichen temperaturbeeinflussten Zone (Abnahme der mechanischen Eigenschaften durch Temperatureinfluss) berechnet wird.

- Methode mit reduzierten Eigenschaften

  Abgesehen von der Nachweisführung mittels Restquerschnitt – berechnet mit Abbrandgeschwindigkeit und Eckabbrand – wird bei dieser Methode die Abnahme der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von Beanspruchungsart und Querschnittsform berücksichtigt.

Der Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall wird für CLT auf Basis der Methode mit reduziertem Querschnitt geführt.

Methode mit reduziertem Querschnitt

Der um die Abbrandtiefe reduzierte Querschnitt wird weiters um eine Schicht ohne Festigkeit und Steifigkeit $k_0 * d_0$ verringert. Somit wird der ideelle Restquerschnitt durch die Reduzierung des Ausgangsquerschnitts um die ideelle Abbrandtiefe d_{ef} ermittelt.

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot d_0$$

Dabei ist:

d_{ef}	Ideelle Abbrandtiefe
$d_{char,0}$	Bemessungswert der Abbrandtiefe für einen eindimensionalen Abbrand $d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$
β_0	Bemessungswert der eindimensionalen Abbrandrate bei Normbeanspruchung
t	Zeitdauer der Brandbeanspruchung
k_0	Koeffizient zur Berücksichtigung der Branddauer; $t < 20$ min.: $k_0 = t / 20$ $t \geq 20$ min.: $k_0 = 1{,}0$
d_0	Tiefe einer Schicht (nahe der Abbrandgrenze), bei der die Festigkeit und Steifigkeit zu null angenommen wird; $d_0 = 7$ mm [2]

Anmerkung *2: Der angeführte Wert für d_0 = 7 mm basiert auf [26] (mit Bezug auf [22]).

Der Wert d_0 von 7 mm (für das vereinfachte Berechnungsverfahren der Methode mit reduziertem Querschnitt) wird momentan international auf wissenschaftlicher Ebene diskutiert, es gibt dazu aber keine akkordierte Meinung.

Mögliche nationale Regelungen in Bezug auf d_0 sind zu berücksichtigen.

Bezüglich Annahme der Abbrandraten für Stora Enso CLT ist folgendes zu beachten:

- Bei Anwendung von CLT für flächige Bauteile (Wand- und Deckenkonstruktionen) ist mit eindimensionalen Abbrandraten nach [33] (siehe Kapitel 5.3.1) zu rechnen.
- Bei Anwendung von CLT für z. B. Träger (hochkant) ist nach [22], Kapitel 3.4.2, Absatz 3 vorzugehen. Dabei ist für CLT-Querschnitte, deren Ausgangsbreiten die Anforderungen nicht erfüllen, mit erhöhten Abbrandraten zu rechnen.

Beim Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall von Stora Enso CLT-Bauteilen ist folgendes zu beachten:

- Bei nicht raumabschließenden, tragenden Bauteilen ist ein beidseitiger Abbrand zu berücksichtigen. [22]
- Mögliche zusätzliche, exzentrische Lasteinleitungen aufgrund von einseitigem Abbrand sind vor allem bei CLT-Elementen mit geringer Stärke zu beachten.
- Restquerschnitte von Lamellen ≤ 3 mm werden bei der weiteren Bemessung rechnerisch nicht angesetzt.
  (Diese Annahme berücksichtigt die in der Regel nicht geradlinig verlaufende Grenzlinie der Kohleschicht.)

Die weiteren Berechnungsschritte und Nachweise erfolgen analog zur kalten Bemessung.

5.5 Bemessung des Raumabschlusses (E) und der Wärmedämmung (I) von CLT-Elementen

Zum Nachweis des Raumabschlusses (E) und der Wärmedämmung (I) gibt es folgende Optionen:

- Berechnungsverfahren nach EN 1995-1-2:2011, Anhang E ([22])
- Modell nach ÖNORM B 1995-1-2:2011, 14.3 ([25]) bzw. europäischer Richtlinie „Fire safety in timber buildings“ ([9]) bzw. Dissertation von Frau Schleifer ([4])
- Konstruktionen ohne weiteren Nachweis nach ÖNORM B 1995-1-2:2011 ([25])

Der Nachweis des Raumabschlusses und der Wärmedämmung von CLT kann mit dem in ÖNORM B 1995-1-2:2011 ([25]) oder in der europäischen, technischen Richtlinie „Fire safety in timber buildings“ ([9]) angeführtem und von [4] erarbeitetem Modell durchgeführt werden, die demselben Konzept / derselben Theorie folgen.
Vergleicht man dieses Modell mit dem in EN 1995-1-2:2011, Anhang E angeführten Berechnungsverfahren, so ist die Möglichkeit der unbegrenzteren Variation von verschiedenen Materialien und Anzahl von Schichten als wesentlicher Vorteil zu sehen.

Erweitertes Verfahren zur Bemessung des Raumabschlusses (EI) von Wand- und Deckenkonstruktionen nach ÖNORM B 1995-1-2:2011 ([25]) oder europäischer Richtlinie „Fire safety in timber buildings“ ([9])

Für den rechnerischen Nachweis gilt grundsätzlich:

- Basis für das Berechnungsmodell ist die Temperatureinwirkung nach der Einheitstemperaturkurve gemäß EN 1991-1-2.
- Das Berechnungsmodell ist laut [25] auf eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten begrenzt.

  Vom akkreditierten Institut *Holzforschung Austria* durchgeführte Validierungsberechnungen im Rahmen von Großbrandversuchen zeigen, dass das vorliegende Modell auch für eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten angewendet werden kann. [5]
- Die Forderung an den Raumabschluss (E) wird als erfüllt angenommen, wenn die Anforderung an das Kriterium der Wärmedämmung (I) positiv nachgewiesen wird.
- Die Forderung an die Wärmedämmung (I) ist erfüllt, wenn der Temperaturanstieg auf der brandabgewandten Seite des Bauteils im Mittel auf max. 140 °C und punktuell auf max. 180 °C (über der Ausgangstemperatur) begrenzt wird.
- Damit der berechnete Feuerwiderstand bzw. Raumabschluss gewährleistet werden kann, muss bei zusammengesetzten Holzbauteilen das Herausfallen der mit Übermaß einzubauenden Dämmung nach Versagen der Bekleidung durch gegebenenfalls mechanische Sicherungen verhindert werden. Weiters ist durch fachgerechte Ausführung laut Herstellerangaben (z. B. Angaben in Bezug auf Randabstände und Verankerungslänge der Verbindungsmittel) sicherzustellen, dass sich Bekleidungen an der brandabgewandten Seite nicht frühzeitig von der Konstruktion lösen.

Das Bauteil kann beliebig aus folgenden Plattenmaterialien und Dämmstoffen zusammengesetzt und mit einem Hohlraum ausgeführt sein:

Plattenmaterialien (Befestigung gemäß Herstellerangaben):

- Massivholzplatten aus mindestens C 24 gemäß EN 338
- OSB-Platten gemäß EN 300
- Spanplatten gemäß EN 309
- Gipsplatten, Typ A, H und F gemäß EN 520
- Gipsfaserplatten gemäß EN 15283-2

Dämmstoffe (Einbau mit Übermaß gemäß Herstellerangaben):

- Steinwolle gemäß EN 13162
- Glaswolle gemäß EN 13162

Der geforderte Raumabschluss eines Bauteils gilt mit Erfüllung folgender Gleichung als nachgewiesen:

$$t_{ins} \geq t_{req}$$

Dabei ist:

t_{ins}	Zeit bis zum Versagen der raumabschließenden Funktion des gesamten Bauteils, in min.
t_{req}	Geforderte Feuerwiderstandsdauer für die raumabschließende Funktion des gesamten Bauteils, in min.

5.5.1 Isolierende und schützende Schichten eines Bauteiles

Auf Basis von Simulationsberechnungen bzw. FE-Modellierungen wurde nachgewiesen, dass die Anforderungen an die Wärmedämmung (I) eingehalten werden. Betrachtet man eine Holzkonstruktion mit mehrschichtigem Aufbau, werden die einzelnen Schichten in solche mit schützender (schützend in Bezug auf dahinterliegende Schichten) uns isolierender Funktion (letzte Schicht auf der brandabgewandten Seite) aufgeteilt. [4]

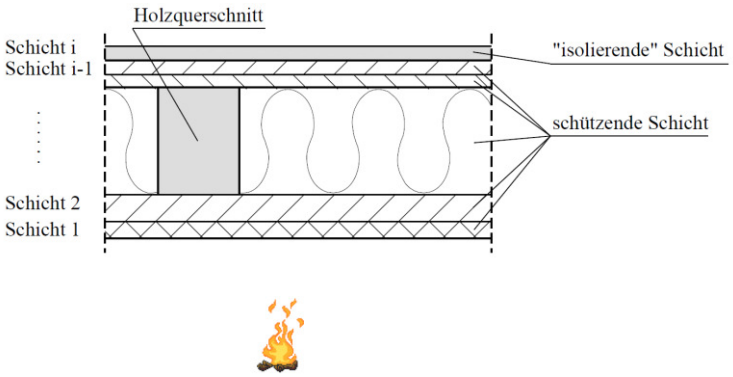


Abb. 8: Aufbau einer mehrschichtigen Holzkonstruktion zur Definition von schützender und isolierender Schicht [4]

Die Zeit der raumabschließenden Funktion (EI) des betrachteten Bauteils ist die Zeit bis zum Erreichen des Temperaturkriteriums ΔT_{MW} / ΔT_{Max} = 140 / 180 °C auf der brandabgewandten Seite. Dieses Kriterium mit der einzuhaltenden maximalen Temperatur von T = 160 °C (20 °C Raumtemperatur + 140 K) ist nur für die feuerabgewandte Seite der letzten Schicht relevant.

Die davorliegenden, schützenden Schichten müssen das Kapselkriterium nach EN 13501-2 erfüllen, wobei das Temperaturkriterium ΔT_{MW} / ΔT_{Max} = 250 / 270 °C eingehalten werden muss. Somit ergibt sich unter Anwendung des Mittelwertes eine einzuhaltende maximale Temperatur von T = 270 °C (20 °C Raumtemperatur + 250 K).
Bei Erreichen des Temperaturkriteriums von 270 °C (= Erreichen der Schutzzeit $t_{prot,i}$) wird angenommen, dass die betrachtete Schicht *i* von der Konstruktion abfällt und die Schutzzeit der direkt dahinterliegenden Schicht $t_{prot,i+1}$ beginnt.

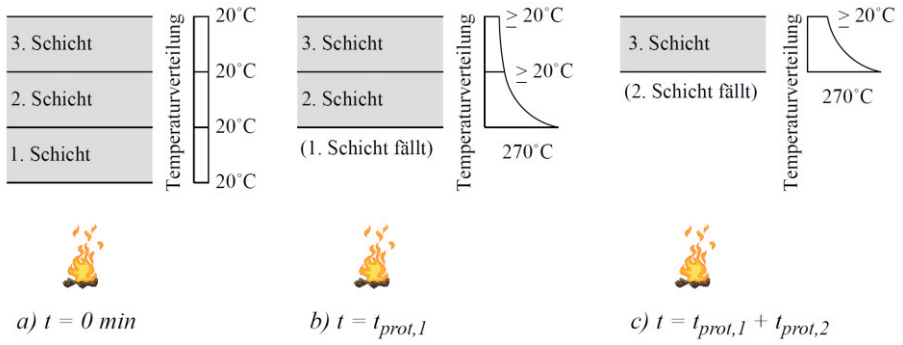


Abb. 9: Vorgehensweise zur Ermittlung der Beiträge der einzelnen Schichten [4]

Folglich verlieren schützende Schichten ihre Schutzwirkung, sobald eine Temperatur von T = 270 °C auf ihrer dem Brand abgewandten Seite erreicht ist.

Die Zeit der raumabschließenden Funktion eines gesamten Bauteils t_{ins} ergibt sich somit aus Addition der Beiträge der einzelnen Schichten – der Schutzzeiten der schützenden Schichten und der Isolationszeit der isolierenden Schicht – unter Einhaltung der bereits genannten Temperaturkriterien von 270 bzw. 160 °C.

$$t_{ins} = \sum t_{prot,i-1} + t_{ins,i}$$

Dabei ist:

t_{ins}	Zeit bis zum Versagen der raumabschließenden Funktion des gesamten Bauteils, in min.
$t_{prot,i}$	Schutzzeit der Schicht *i*, in min.
$t_{ins,i}$	Isolationszeit der Schicht *i*, in min.

Bei der Bemessung der Schutz- und Isolationszeit ist zu beachten, dass davor- und dahinterliegende Schichten die untersuchte Schicht in Abhängigkeit derer Position im Bauteil beeinflussen, was im Berechnungsmodell mit den Positionsbeiwerten k_{pos} berücksichtigt wird. $k_{pos,exp}$ ist dabei der Positionsbeiwert ergebend aus den Einflüssen davorliegender Schichten und $k_{pos,unexp}$ der Positionsbeiwert resultierend aus den Einflüssen dahinterliegender Schichten.

Die Isolations- und Schutzzeit einzelner Schichten wird anhand folgender Gleichungen bestimmt:

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$$

Dabei ist:

$t_{prot,i}$	Schutzzeit der betrachteten Schicht *i*, in min.
$t_{prot,0,i}$	Grundschutzzeit der Schicht *i*, in min.
$k_{pos,exp,i}$	Positionsbeiwert für die untersuchte Schicht *i* (Einflüsse aus davorliegenden Schichten)
$k_{pos,unexp,i}$	Positionsbeiwert für die untersuchte Schicht *i* (Einflüsse aus dahinterliegenden Schichten)
$\Delta_{t,i}$	Zeitdifferenz für die untersuchte Schicht *i*, in min.; (Zur Berücksichtigung des Einflusses von davorliegenden Gipsplatten Typ F oder Gipsfaserplatten)
$k_{j,i}$	Fugenbeiwert für die untersuchte Schicht *i*

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$$

Dabei ist:

$t_{ins,i}$	Isolationszeit der betrachteten Schicht *i*, in min.
$t_{ins,0,i}$	Grundisolationszeit der Schicht *i*, in min.
$k_{pos,exp,i}$	Positionsbeiwert für die untersuchte Schicht *i* (Einflüsse aus davorliegenden Schichten)
$\Delta_{t,i}$	Zeitdifferenz (= verzögerter Abfallzeitpunkt) für die untersuchte Schicht *i*, in min.; (Zur Berücksichtigung des Einflusses von davorliegenden Gipsplatten Typ F oder Gipsfaserplatten)
$k_{j,i}$	Fugenbeiwert für die untersuchte Schicht *i*

5.5.2 Ermittlung der Grundzeiten einer Schicht

Die Grundzeit $t_{0,i}$ – wobei zwischen der Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ und der Grundisolationszeit $t_{ins,0,i}$ unterschieden wird – beschreibt das Brandverhalten einer Schicht ohne Berücksichtigung der Einflüsse von angrenzenden Schichten.

Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ und Grundisolationszeit $t_{ins,0,i}$ verschiedener Materialien können unter Berücksichtigung von Schichtdicke und Rohdichte anhand Tabelle 11 (entnommen aus [25]) bestimmt werden.

Material	**Grundisolationszeit** $t_{ins,0,i}$ **min**	**Grundschutzzeit** $t_{prot,0,i}$ **min**
Gipsplatten gemäß ÖNORM EN 520 (gültig für: Typ A, Typ H, Typ F, Typ DF) Gipsfaserplatten gemäß ÖNORM EN 15283-2 (gültig für: GF-C1-W2)	$24 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{15}\right)^{1.4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{15}\right)^{1.2}$
Massivholzplatten gemäß ÖNORM EN 13353	$19 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.1}$
Spanplatten gemäß ÖNORM EN 312	$22 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.4}$	$33 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.1}$
OSB-Platten gemäß ÖNORM EN 300	$23 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.4}$ *3	$23 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.1}$
Steinwolle gemäß ÖNORM EN 13162	$(0{,}01 \cdot \rho_{ins,i}^{0.224} - 0{,}02) \cdot h_{ins,i}^{2}$ *4	$0{,}3 \cdot h_{ins,i}^{(0{,}75 \cdot \log(\rho_{ins,i}) - \rho_{ins,i}/400)}$
Glaswolle gemäß ÖNORM EN 13162	für $h_{ins,i} < 40$ mm: 0 für $h_{ins,i} \geq 40$ mm: $(0{,}001 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}035) \cdot h_{ins,i} + 8{,}5 \leq 30$	für $h_{ins,i} < 40$ mm: 0 für $h_{ins,i} \geq 40$ mm: $(0{,}0007 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}046) \cdot h_{ins,i} + 13 \leq 30$

Es bedeutet:

$h_{p,i}$ Dicke der Brandschutzbekleidung i, in mm

$h_{ins,i}$ Dicke der Dämmung i, in mm

$\rho_{ins,i}$ Rohdichte der Dämmung i, in kg/m³

Tabelle 11: Gleichungen zur Ermittlung der Grundzeiten $t_{0,i}$ in Minuten [25]

Anmerkung *3: Die in Tabelle 11 (entnommen aus ÖNORM B 1995-1-2:2011) markierte Gleichung zur Berechnung von $t_{ins,0,i}$ für OSB-Platten ist nicht korrekt.

Nach [4] lautet die Gleichung richtigerweise folgendermaßen: $t_{ins,0,i} = 16 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$

Anmerkung *4: Die in Tabelle 11 (entnommen aus ÖNORM B 1995-1-2:2011) markierte Gleichung zur Berechnung von $t_{ins,0,i}$ für Steinwolle ist nicht korrekt.

Nach [4] lautet die Gleichung richtigerweise folgendermaßen: $t_{ins,0,i} = (0{,}01 \cdot \rho_{ins,i}^{0,224} - 0{,}02) \cdot h_{ins,i}^{2}$

5.5.3 Berechnung der Positionsbeiwerte k_{pos}

Um eine beliebige Kombination von Schichten in einer Holzkonstruktion zu ermöglichen, müssen die Einflüsse angrenzender Schichten auf die untersuchte Schicht berücksichtigt werden. Der Einfluss der davorliegenden Schicht wird dabei mit dem Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ und der Einfluss der dahinterliegenden Schicht mit dem Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ beschrieben bzw. auch rechnerisch angesetzt.

5.5.3.1 Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ zur Berücksichtigung der Einflüsse davorliegender Schichten

Der Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ wird als 1,0 angenommen, wenn die untersuchte Schicht i von Brandbeginn an der Brandbeanspruchung ausgesetzt ist und durch keine davorliegende Schicht geschützt wird.
Wird die untersuchte Schicht i von davorliegenden Schichten von der direkten Brandbeanspruchung geschützt, ist der Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ entsprechend den Gleichungen folgender Tabelle zu bestimmen.

Bei der Bestimmung des Positionsbeiwertes $k_{pos,exp}$ sind die Summe der Schutzzeiten der davorliegenden Schichten $\sum t_{prot,i-1}$, das Material der untersuchten Schicht i, die Dicke der untersuchten Schicht i und die Rohdichte der untersuchten Schicht i zu berücksichtigen. Die Eigenschaften der untersuchten Schicht i sind aber bereits bei der Bestimmung der Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ bzw. der Grundisolationszeit $t_{ins,0,i}$ in Rechnung gestellt worden, weshalb der Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ für Bekleidungen und Dämmungen in Abhängigkeit der Summe der Schutzzeiten der davorliegenden Schichten $\sum t_{prot,i-1}$ und der Grundzeit (Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ bzw. Grundisolationszeit $t_{ins,0,i}$) ermittelt werden kann.

Material	$k_{pos,exp}$ für $t_{ins,i}$	$k_{pos,exp}$ für $t_{prot,i}$
Steinwolle	siehe Formeln für Glaswolle	siehe Formeln für Bekleidungen
Glaswolle für $h_i \geq 40$ mm	$-0{,}8 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{0,i}} + 1$ für $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{0,i}}{4}$ $(0{,}001 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}27) \cdot \left[\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}\right]^{(0{,}75-0{,}002 \cdot \rho_{ins,i})}$ für $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{0,i}}{4}$	
Bekleidungen	$-0{,}6 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{0,i}} + 1$ für $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{0,i}}{2}$ $0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$ für $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{0,i}}{2}$	

Tabelle 12: Gleichungen zur Ermittlung des Positionsbeiwertes $k_{pos,exp}$ [25]

Beim Verwenden der in Tabelle 12 angeführten Gleichungen ist zu beachten, ob eine Isolationszeit oder eine Schutzzeit berechnet werden soll, d. h. für die Grundzeit ist entsprechend die Grundschutzzeit oder Grundisolationszeit einzusetzen.

Durch das zeitverzögerte Abfallen von schützenden Schichten aus Gipsplatten Typ F bzw. DF gemäß EN 520 oder Gipsfaserplatten GF-C1-W2 gemäß EN 15283-2 verlängert sich die Schutz- bzw. Isolationszeit der dahinterliegenden Schicht.
Wird die untersuchte Schicht durch davorliegende Gipsplatten oder Gipsfaserplatten zuvor genannter Typen geschützt, sind Schutz- bzw. Isolationszeit der untersuchten Schicht mittels Zeitdifferenzen $\Delta_{t,i}$ laut Tabelle 13 zu erhöhen.
Ist dies nicht der Fall, gilt $\Delta_{t,i} = 0$.

Material	Δt_i für Deckenkonstruktionen	Δt_i für Wandkonstruktionen
	min	min
Bekleidungen	$0{,}06 \cdot t_{prot,i-1} + 1{,}1 \cdot t_{0,i} - 5$ für $t_{0,i} < 8$ min $0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}035 \cdot t_{0,i} + 1{,}2$ für $t_{0,i} \geq 8$ min	$0{,}03 \cdot t_{prot,i-1} + 0{,}9 \cdot t_{0,i} - 2{,}3$ für $t_{0,i} < 12$ min $0{,}22 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}1 \cdot t_{0,i} + 4{,}7$ für $t_{0,i} \geq 12$ min
Dämmungen	*5 $0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}035 \cdot t_{0,i} + 1{,}2$	$0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} + t_{0,i} - 1{,}0$ für $t_{0,i} < 6$ min $0{,}22 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}1 \cdot t_{0,i} + 3{,}5$ für $t_{0,i} \geq 6$ min

Tabelle 13: Gleichungen zur Ermittlung der Zeitdifferenzen $\Delta_{t,i}$ für Schichten in Decken- und Wandkonstruktionen welche durch davorliegende Gipsplatten oder Gipsfaserplatten geschützt werden [25]

Anmerkung *5: Die in Tabelle 13 (entnommen aus ÖNORM B 1995-1-2:2011) markierte Gleichung zur Berechnung von $\Delta_{t,i}$ für Dämmungen in Deckenkonstruktionen ist nicht korrekt.

Nach [4] lautet die Gleichung richtigerweise folgendermaßen: $\Delta_{t,i} = 0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}035 \cdot t_{0,i}$

5.5.3.2 Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ zur Berücksichtigung der Einflüsse dahinterliegender Schichten

Bei der Bestimmung des Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ wird zwischen Schichten mit dahinterliegender Bekleidung und Schichten mit dahinterliegender Dämmung unterschieden.
Dahinterliegende Schichten sind jedoch nur bei Schichten mit Schutzwirkung zu berücksichtigen, was wiederum bedeutet, dass bei Ermittlung der Isolationszeit die Grundzeit der isolierenden Schicht nur mit dem Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ zur Berücksichtigung der Einflüsse davorliegender Schichten zu verwenden ist.
Der auf die untersuchte Schicht i einwirkende geringe Einfluss von dahinterliegenden Gipsbeplankungen oder Bekleidungen aus Holzwerkstoffen wird vernachlässigt, wonach der Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ in diesem Fall mit 1,0 angenommen wird.
Der Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ für dahinterliegende Dämmungen wird in Abhängigkeit von Schichtdicke h_i und Rohdichte ρ_i laut Tabelle 14 angenommen.

Material der untersuchten Schicht	$k_{pos,unexp}$ mit einer dahinterliegenden Bekleidung	$k_{pos,unexp}$ mit einer dahinterliegenden Dämmung
Gipsplatten gemäß ÖNORM EN 520 (gültig für: Typ A, Typ H, Typ F, Typ DF) Gipsfaserplatten gemäß ÖNORM EN 15283-2 (gültig für: GF-C1-W2)	1,0	$0{,}5 \cdot h_{p,i}^{0{,}15}$
Massivholzplatten gemäß ÖNORM EN 13353		$0{,}35 \cdot h_{p,i}^{0{,}21}$
Spanplatten gemäß ÖNORM EN 312		$0{,}41 \cdot h_{p,i}^{0{,}18}$
OSB-Platten gemäß ÖNORM EN 300		$0{,}5 \cdot h_{p,i}^{0{,}15}$
Steinwolle gemäß ÖNORM EN 13162		$0{,}18 \cdot h_{ins,i}^{0{,}001 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}08}$
Glaswolle gemäß ÖNORM EN 13162		$0{,}01 \cdot h_{ins,i} - \frac{h_{ins,i}^2}{30\,000} + \rho_{ins,i}^{0{,}09} - 1{,}3$

Tabelle 14: Gleichungen zur Ermittlung des Positionsbeiwertes $k_{pos,unexp}$ [25]

In Bezug auf die Positionsbeiwerte $k_{pos,exp}$ und $k_{pos,unexp}$ ist noch zu beachten, dass Hohlräume in Konstruktionen berücksichtigt werden, sofern sie eine Dicke von mindestens 40 mm aufweisen:

- Für Schichten mit davorliegenden Hohlräumen ist der Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ vorerst mit dem Faktor 1,6 zu multiplizieren.
    - Wird der Hohlraum durch eine Gipsplatte Typ F oder eine Gipsfaserplatte vor direkter Brandeinwirkung geschützt, ist für die Schicht auf der brandabgewandten Seite des Hohlraumes die Zeitdifferenz $\Delta_{t,i}$ gemäß den in Tabelle 13, Zeile 2 angeführten Gleichungen zusätzlich mit dem Faktor 3,0 zu multiplizieren.
- Zur Bestimmung des Positionsbeiwertes $k_{pos,unexp}$ für Bekleidungen mit einem dahinterliegenden Hohlraum wird anhand der in Tabelle 14, Spalte 3 angeführten Gleichungen vorgegangen.
- Der Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ für Dämmungen mit einem dahinterliegenden Hohlraum wird mit 1,0 angenommen.

5.5.4 Bestimmung des Fugenbeiwertes $k_{j,i}$

Entsprechend [22] sind Fugen mit einer Spaltbreite größer als 2 mm nicht zugelassen und können im Berechnungsmodell nicht angesetzt werden. Weiters sind offene Fugen bei Holzbekleidungen und unverspachtelte Fugen bei Gipsplatten an der feuerabgewandten Bekleidung unzulässig.

Es wird vereinfachend angenommen, dass abgesehen von den Bekleidungen an der brandabgewandten Seite, der Fugenbeiwert für Holzwerkstoffplatten und Dämmungen mit den in folgender Tabelle gezeigten Fugenausbildungen sowie für stumpf gestoßene verspachtelte Fugen bei Gipsplatten dem Wert 1,0 entspricht. [4]
Im vorliegenden Berechnungsmodell zum Nachweis des Raumabschlusses werden daher nur Fugenbeiwerte für die Schicht auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils in Rechnung gestellt, welche aus Tabelle 15 entnommen werden können.

Material	Fugentyp	$k_{j,i}$ für $t_{ins,i}$	$k_{j,i}$ für $t_{prot,i}$
Holzwerkstoffe gemäß ÖNORM EN 13986, Vollholz gemäß ÖNORM EN 338, Glas- bzw. Steinwolle gemäß ÖNORM EN 13162	≤ 2mm; ≥ 30mm	0,3	1,0
	≤ 2mm; ≥ 15mm; ≤ 2mm; ≥ 30mm	0,4	1,0
	≤ 2mm; ≥ 15mm; ≤ 2mm; ≥ 30mm	0,6	1,0
Gipsplatten gemäß ÖNORM EN 520 (gültig für: Typ A, Typ H, Typ F, Typ DF) Gipsfaserplatten gemäß ÖNORM EN 15283-2 (gültig für: GF-C1-W2)	≤ 2mm; verspachtelt; sowie Fugentypen gemäß Herstellerangaben (verspachtelt)	0,8	1,0
alle Materialien	– Fugentypen abweichend von den oben dargestellten Typen – Aussparungen	0	0

Tabelle 15: Fugenbeiwert $k_{j,i}$ für brandabgewandte Bekleidungen [25]

5.5.5 Berechnungsmodell-Anwendung für CLT

Mehrschichtige Massivholzplatten wie Brettsperrholzelemente können aufgrund ihres Schichtaufbaues nicht mit einschichtigen Massivholzplatten verglichen werden. Bei der Raumabschluss-Bemessung von CLT-Elementen mittels vorliegendem Modell ist daher jede einzelne Lage als eigenständige Platte bzw. Schicht anzusehen. [4]

Der Raumabschluss von Brettsperrholzelementen kann somit als Summe der Schutzzeiten und der Isolationszeit der einzelnen Lagen unter Verwendung der angeführten Grundschutzzeiten, der Grundisolationszeiten und der Positionsbeiwerte für einlagige Massivholzplatten bestimmt werden. Bei Ausschluss des kleinstrukturierten Abfallens von verkohlten Schichten können CLT-Elemente wie einschichtige Massivholzplatten betrachtet werden.
Der Fugenbeiwert kann in der Elementfläche immer mit $k_{j,i} = 1{,}0$ rechnerisch angesetzt werden. Beim Nachweis im Bereich der Elementfuge ist der Fugenbeiwert $k_{j,i}$ jedoch für alle Lagen abhängig vom Fugentyp des Gesamtelementes der Tabelle 15 zu entnehmen. [6]

6 Brandschutztechnische Detailausführung

6.1 Stoßverbindungen und Bauteilanschlüsse

- Elementstöße von Stora Enso CLT

  Stora Enso hat CLT-Elementstöße mit Stufenfalz- und Stoßbrettverbindung vom staatlich akkreditierten Prüfinstitut *Holzforschung Austria* auf Feuerwiderstand prüfen lassen.

  Bei Einhaltung folgender Bedingungen besteht keine Beeinträchtigung der unter Kapitel 4 angeführten Feuerwiderstandsfähigkeiten der Stora Enso CLT-Elemente:

  - Die Verschraubung der Elemente muss kraftschlüssig erfolgen, wobei ohne weiteren Nachweis ein Achsabstand e = 50 cm genügt.
  - Als Dichtungsband wird ein z. B. herkömmliches Kompriband als ausreichend angesehen. [34]

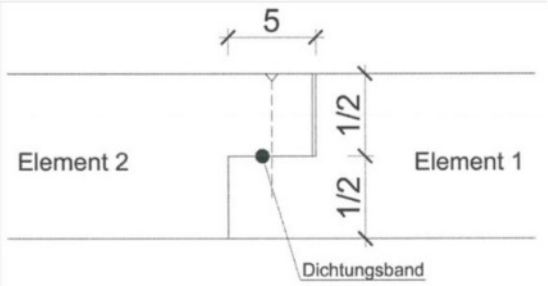


Abb. 10: Elementstoß mit Stufenfalz-Ausbildung [34]

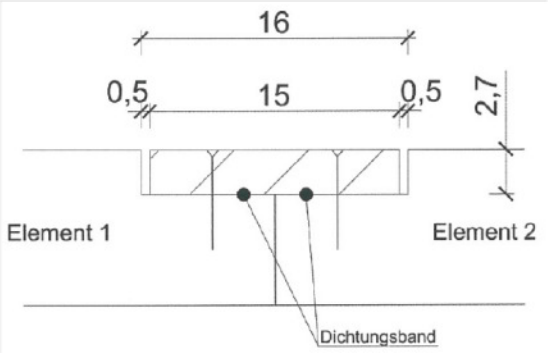


Abb. 11: Elementstoß mit Stoßbrett-Ausbildung für CLT-Deckenelemente [34]

- Bauteilanschlüsse von Stora Enso CLT

  Bauteilanschlüsse (wie z. B. Wand-Decken-, Wandeck- und Wand-T-Stöße) weisen denselben Feuerwiderstand wie die einzelnen Bauteile auf, sofern Anschlüsse und Fugen die Anforderungen der entsprechenden Normen (in Österreich: ÖNORM B 2330) erfüllen:

  - Kraftschlüssige Verbindungen
  - Passgenauer Einbau von Brandschutzbekleidungen [34]

  Bei Anschlüssen von Decken- an Wandbauteile ist darauf zu achten, dass die statische Funktion der Auflager über die geforderte Feuerwiderstandsdauer aufrechterhalten bleibt.

6.2 Installationen und Einbauten

- Einbau von E-Installationen

  In brandabschnittsbildenden Bauteilen sind E-Installationen in eine gedämmte Vorsatzschale/Installationsebene einzubauen. Ein direkter Einbau in das CLT-Element ist nur mit gesondertem Nachweis zulässig.

  Bei nicht brandabschnittsbildenden Bauteilen hingegen können E-Installationen – sofern die Abmessungen/Ausführungen nicht größer sind als drei Steckdosen bzw. eine Verteilerdose – direkt in das CLT-Element eingefräst und eingebaut werden. Die Dicke des verbleibenden Brettsperrholzes darf in diesem lokalen Bereich nicht mehr als um die Hälfte geschwächt werden. Gegenüberliegende Steckdosen müssen um ≥ 20 cm versetzt positioniert werden. Als Alternative dazu können fachgerecht einzubauende, geprüfte Brandschutzdosen verwendet werden. [34]

- Löcher zur Montage

  Erhalten CLT-Elemente Einfräsungen/Löcher für die Verwendung diverser Hebemittel, sind diese durch Verschließen mit Holzdübeln oder Ausstopfen mit Mineralwolle (Schmelzpunkt ≥1000 °C) zu verschließen und beeinträchtigen somit den klassifizierten Feuerwiderstand des CLT-Elementes nicht. [34]

- Einbau von Fenstern und Türen

  Sofern Anforderungen bzgl. Feuerwiderstand an Fenster und/oder Türen gestellt werden, sind geprüfte Systeme entsprechend Herstellerangaben zu verwenden. Im Falle von Anforderungen an ein Kapselkriterium, sind auch die Leibungen entsprechend auszuführen. [34]

6.3 Brandabschottungen in der Brettsperrholz-Bauweise

- Installationen der Haustechnik müssen manchmal auch durch brandabschnittsbildende Bauteile (Wand- oder Deckenkonstruktionen) geführt werden. Die dafür benötigten Durchdringungen sind brandschutztechnisch so abzuschotten, dass der geforderte Feuerwiderstand des zu durchdringenden Bauteils nicht beeinträchtigt wird. Das heißt, die brandschutztechnische Abschottung einer Durchdringung hat dem Feuerwiderstand des zu durchdringenden Bauteils zu entsprechen.

- Die Planung und Ausführung von Abschottungen betrifft meist mehrere Gewerke. Ein dementsprechender Planungsaufwand im Vorfeld ist essentiell und für qualitative Abschottungsmaßnahmen unumgänglich.

- Für weiterführende Informationen zum Thema „Brandabschottung im Holzbau“ verweist Stora Enso auf [7].
  Die für [7] benötigten Großbrandversuche für Wand- und Deckenbauteile (jeweils 90 min. Prüfdauer) wurden mit CLT-Elementen von Stora Enso durchgeführt.
  Auf Basis dieser Versuchsergebnisse wurden Detaillösungen für den Einbau, die Befestigung und den Anschluss von verschiedenen Abschottungssystemen für Holzkonstruktionen erarbeitet und in [7] erläutert.

6.4 Verbindungsmittel

- Um eine brandschutztechnisch gute Verbindung zu erreichen, ist auf einen passgenauen Einbau der Stahlteile in die Holzkonstruktionen zu achten. Weiters sind gegenüber der Holzoberfläche überstehende Stahlteile möglichst zu verhindern. Dadurch wird der aus der Energiefreisetzung des Brandes resultierende Wärmetransport in das Innere des Holzquerschnittes minimiert.

- Bei der Anforderung an höhere Feuerwiderstandsdauern können Verbindungsmittel unter Verwendung von Bekleidungen aus Holzwerkstoffen oder mineralischen Plattenmaterialien vollständig geschützt werden.

- Für weiterführende Informationen zur Bemessung verweist Stora Enso auf [22], Kapitel 6.

6.5 Zweischalige Bauteilaufbauten

- Der Zwischenraum von zweischaligen Bauteilaufbauten ist vollständig mit Mineralwolle auszudämmen. [34]
  (Im Falle eines Brandes kann dadurch zum Beispiel das zwischen zweischalige Wände mögliche Hinabfallen von Glutnestern oder anderen brennenden Teilen verhindert werden. Außerdem wird durch das Ausdämmen der Zwischenräume eine mögliche Kaminwirkung – welche die Brandweiterleitung begünstigen würde – unterbunden.)

7 Literaturverzeichnis

[1] PÖSCHL, W. (2004):

Zuschnitt 14 – Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, proHolz Austria, Wien

[2] FRANGI, A., FONTANA, M., HUGI, E., JÖBSTL, R. (2009):

Experimental analysis of cross laminated timber panels in fire, Fire Safety Journal, Elsevier Ltd.

[3] SCHEER, C., PETER, M. (2009):

Holz Brandschutz Handbuch, 3. Auflage, Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (DGfH), München

[4] SCHLEIFER, V. (2009):

Zum Verhalten von raumabschließenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall, Dissertation ETH Nr. 18156, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich

[5] TEIBINGER, M., MATZINGER, I. (2013):

Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau – Focus Bauphysik, Planungsbroschüre, Holzforschung Austria, Wien

[6] FRANGI, A., BRÜHWILER, I., STUDHALTER, J., WIEDERKEHR, R. (2011):

Lignum – Dokumentation Brandschutz – 3.1 Feuerwiderstandsbemessung – Bauteile und Verbindungen, 1. Auflage, Lignum – Holzwirtschaft Schweiz, Zürich

[7] TEIBINGER, M., MATZINGER, I. (2012):

Brandabschottung im Holzbau, Planungsbroschüre, ISBN 978-3-9503367-9, Holzforschung Austria, Wien

[8] TEIBINGER, M., MATZINGER, I. (2010):

Grundlagen zur Bewertung des Feuerwiderstandes von Holzkonstruktionen, Endbericht, Holzforschung Austria, Wien

[9] ÖSTMAN, B. et al. (2010):

Fire safety in timber buildings – Technical guideline for Europe, SP Trätek, Stockholm

Normen

[10] EN 300:

Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) – Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen

[11] EN 309:

Spanplatten – Definition und Klassifizierung

[12] EN 338:

Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen, Ausgabe: 2009

[13] EN 520:

Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren, Ausgabe: 2009

[14] EN 1365-1:

Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 1: Wände, Ausgabe: 2012

[15] EN 1365-2:

Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 2: Decken und Dächer, Ausgabe: 1999

[16] EN 1990:

Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe: 2002

[17] EN 1991-1-2:

Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1–2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Ausgabe: 2002

[18] EN 13162

Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werksmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation

[19] EN 13501-1:

Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, Ausgabe: 2009

[20] EN 13501-2:

Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsgeräten, Ausgabe: 2009

[21] EN 15283-2:

Faserverstärkte Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 2: Gipsfaserplatten

[22] ÖNORM EN 1995-1-2:

Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1–2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Ausgabe: 2011-09-01

[23] ÖNORM B 2330:

Brandschutztechnische Ausführung von mehrgeschoßigen Holz- und Holzfertighäusern – Anforderungen und Ausführungsbeispiele

[24] ÖNORM B 3410:

Gipsplatten für Trockenbausysteme (Gipskartonplatten) – Arten, Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe: 2006

[25] ÖNORM B 1995-1-2:

Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Teil 1–2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Ausgabe: 2011-09-01

Zulassungen, Klassifizierungsberichte und Gutachtliche Stellungnahmen

[26] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (2011):

Europäische Technische Zulassung ETA-08/0271, CLT – Cross Laminated Timber, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin

[27] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/01, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 60 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelement „Stora Enso CLT 80 C3s“ unbeplankt ≥ 80 mm und beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[28] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/02, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelement „Stora Enso CLT 80 C3s“ unbeplankt ≥ 80 mm und beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[29] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/03, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 120 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelement „Stora Enso CLT 100 C3s“ ≥ 100 mm beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[30] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/04, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 60 von tragenden Brettsperrholzelementen als Decken-/Dachelement „Stora Enso CLT 100 L3s“ ≥ 100 mm bekleidet mit Gipsplatten an der feuerabgewandten Seite, Holzforschung Austria, Wien

[31] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/05, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 90 / EI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Decken-/Dachelement „Stora Enso CLT L5s“ ≥ 140 mm beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[32] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/06, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Außenwände, Holzforschung Austria, Wien

[33] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Gutachtliche Stellungnahme 122/2011/02, Berechenbarkeit der Tragfähigkeit und des Raumabschlusses von Brettsperrholzbauteilen „Stora Enso CLT“, Holzforschung Austria, Wien

[34] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Gutachtliche Stellungnahme 122/2011/04, Bewertung des Feuerwiderstandes von Stora Enso CLT Elementstößen, Einbauten von E-Installationen, Montagelöchern für Hebeschlaufen sowie Fenster- und Türanschlüsse, Holzforschung Austria, Wien

[35] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2013):

Gutachtliche Stellungnahme 2434/2012-BB, Gutachtliche Stellungnahme über die Versagenszeit t_f von Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) gemäß ÖNORM B 3410 bzw. Gipsplatten Typ DF gemäß EN 520: 1 × 12,5 mm und 2 × 15 mm auf CLT Wandelementen, Holzforschung Austria, Wien

[36] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2013):

Klassifizierungsbericht 52/2013, Klassifizierung über den Feuerwiderstand REI 90 von einem tragenden Holzbauteil gemäß ÖNORM EN 13501-2, Holzforschung Austria, Wien

Anhang 1 – Bemessungsbeispiele

A 1.1 Ermittlung des Abbrandes von Stora Enso CLT (ohne Beplankung)

Annahme: CLT 180 L5s (Lamellenaufbau: 40–30–40–30–40) als unbekleidetes Deckenelement; geforderte Feuerwiderstandsdauer: 90 Minuten;

Berechnung: Feuerwiderstand der 1. Lage:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{40{,}0\text{mm}}{0{,}65\text{mm/min}} = 61{,}5\,\text{min}$$

Feuerwiderstand der 2. Lage:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{25{,}0\text{mm}}{1{,}3\text{mm/min}} + \frac{5{,}0\text{mm}}{0{,}65\text{mm/min}} = 26{,}9\,\text{min}$$

Abbrandtiefe der 3. Lage:

$$d_{char,0,1} = \beta_0 \cdot t = 1{,}3\text{mm/min} \cdot (90{,}0\,\text{min} - 61{,}5\,\text{min} - 26{,}9\,\text{min}) = 2{,}1\text{mm}$$

Bemessungswert der Abbrandtiefe:

$$d_{char,0} = 40{,}0\text{mm} + 30{,}0\text{mm} + 2{,}1\text{mm} = 72{,}1\text{mm}$$

A 1.2 Ermittlung des Abbrandes von Stora Enso CLT (mit Beplankung)

Annahme: CLT 140 L5s (Lamellenaufbau: 40–20–20–20–40) als bekleidetes Wandelement; Bekleidung: 12,5 mm GKF; geforderte Feuerwiderstandsdauer: 90 Minuten;

Berechnung: Beginn des Abbrandes:

$$t_{ch} = 2{,}8 \cdot h_p - 14 = 2{,}8 \cdot 12{,}5\text{mm} - 14 = 21{,}0\,\text{min}$$

Versagenszeit der Beplankung:

$$t_f = 55{,}0\,\text{min}$$

Abbrand für den Zeitraum $t_{ch} \leq t \leq t_f$:

$$k_2 = 1 - 0{,}018 \cdot h_p = 1 - 0{,}018 \cdot 12{,}5\text{mm} = 0{,}775$$

$$d_{char,0,2a} = \beta_0 \cdot k_2 \cdot t = 0{,}63\text{mm/min} \cdot 0{,}775 \cdot (55{,}0\,\text{min} - 21{,}0\,\text{min}) = 16{,}6\text{mm}$$

Abbrand für den Zeitraum $t_f \leq t \leq t_a$:

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_0}{k_3 \cdot \beta_0} + t_f$$

$$t_a = \frac{25 - (55{,}0\,\text{min} - 21{,}0\,\text{min}) \cdot 0{,}775 \cdot 0{,}63\text{mm/min}}{2 \cdot 0{,}63\text{mm/min}} + 55{,}0\,\text{min} = 61{,}6\,\text{min}$$

$$d_{char,0,2b} = \beta_0 \cdot k_3 \cdot t = 0{,}63\text{mm/min} \cdot 2 \cdot (61{,}6\,\text{min} - 55{,}0\,\text{min}) = 8{,}3\text{mm}$$

Restlicher Feuerwiderstand der 1. Lage:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{40{,}0\text{mm} - 16{,}6\text{mm} - 8{,}3\text{mm}}{0{,}63\text{mm/min}} = 24{,}0\,\text{min}$$

Abbrandtiefe der 2. Lage:

$$d_{char,0,2c} = \beta_0 \cdot t = 0{,}86\text{mm/min} \cdot (90{,}0\,\text{min} - 61{,}6\,\text{min} - 24{,}0\,\text{min}) = 3{,}8\text{mm}$$

Bemessungswert der Abbrandtiefe:

$$d_{char,0} = 40{,}0\text{mm} + 3{,}8\text{mm} = 43{,}8\text{mm}$$

A 1.3 Ermittlung der ideellen Abbrandtiefe von Stora Enso CLT (ohne Beplankung)

Annahme: CLT 180 L5s (Lamellenaufbau: 40–30–40–30–40) als unbekleidetes Deckenelement; geforderte Feuerwiderstandsdauer: 90 Minuten;

Berechnung: Feuerwiderstand der 1. Lage:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{40{,}0\text{mm}}{0{,}65\text{mm/min}} = 61{,}5\,\text{min}$$

Feuerwiderstand der 2. Lage:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{25{,}0\text{mm}}{1{,}3\text{mm/min}} + \frac{5{,}0\text{mm}}{0{,}65\text{mm/min}} = 26{,}9\,\text{min}$$

Abbrandtiefe der 3. Lage:

$$d_{char,0,1} = \beta_0 \cdot t = 1{,}3\text{mm/min} \cdot (90{,}0\,\text{min} - 61{,}5\,\text{min} - 26{,}9\,\text{min}) = 2{,}1\text{mm}$$

Bemessungswert der Abbrandtiefe:

$$d_{char,0} = 40{,}0\text{mm} + 30{,}0\text{mm} + 2{,}1\text{mm} = 72{,}1\text{mm}$$

Ideelle Abbrandtiefe:

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot d_0 = 72{,}1\text{mm} + 1 \cdot 7{,}0\text{mm} = 79{,}1\text{mm}$$

A 1.4 Ermittlung des Raumabschlusses (EI) von Stora Enso CLT (mit Beplankung)

Annahme: CLT 100 L3s (Lamellenaufbau: 30–40–30) als bekleidetes Wandelement; Bekleidung: 12,5 mm GKF-Platte; geforderte Feuerwiderstandsdauer: 90 Minuten;

Berechnung: Schutzzeit der 1. Schicht (GKF-Platte):

Grundschutzzeit:

$$t_{prot,0,GKF} = 30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{15}\right)^{1,2} = 30 \cdot \left(\frac{12,5mm}{15}\right)^{1,2} = 24,1\,min$$

Positionsbeiwert:

$$k_{pos,exp,GKF} = 1,0$$

(da GKF von Beginn an dem Brand ausgesetzt)

Positionsbeiwert:

$$k_{pos,unexp,GKF} = 1,0$$

(da nächste CLT-Lage als dahinterliegende Bekleidung gilt)

Zeitdifferenz:

$$\Delta_{t,GKF} = 0$$

(da keine davorliegende schützende Schicht)

Fugenbeiwert:

$$k_{j,GKF} = 1,0$$

(da GKF mit verspachtelten Fugen)

Schutzzeit:

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$$

$$t_{prot,GKF} = (24,1\,min \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 24,1\,min$$

Schutzzeit der 2. Schicht (1. CLT-Lage):

Grundschutzzeit:

$$t_{prot,0,CLT1} = 30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1,1} = 30 \cdot \left(\frac{30,0mm}{20}\right)^{1,1} = 46,9\,min$$

Positionsbeiwert:

$$k_{pos,exp,i} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$$

$$k_{pos,exp,CLT1} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{46,9\,min}{24,1\,min}} = 0,698$$

Positionsbeiwert: $k_{pos,unexp,CLT1} = 1{,}0$

(da nächste CLT-Lage als dahinterliegende Bekleidung gilt)

Zeitdifferenz: $\Delta t_i = 0{,}22 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}1 \cdot t_{0,i} + 4{,}7$

$\Delta t_{CLT1} = 0{,}22 \cdot 24{,}1\,\text{min} - 0{,}1 \cdot 46{,}9\,\text{min} + 4{,}7 = 5{,}3\,\text{min}$

Fugenbeiwert: $k_{j,CLT1} = 1{,}0$

(da mehrlagige Massivholzplatte)

Schutzzeit: $t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$

$t_{prot,CLT1} = (46{,}9\,\text{min} \cdot 0{,}698 \cdot 1{,}0 + 5{,}3\,\text{min}) \cdot 1{,}0 = 38{,}0\,\text{min}$

Schutzzeit der 3. Schicht (2. CLT-Lage):

Grundschutzzeit: $t_{prot,0,CLT2} = 30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1,1} = 30 \cdot \left(\frac{40{,}0\text{mm}}{20}\right)^{1,1} = 64{,}3\,\text{min}$

Positionsbeiwert: $k_{pos,exp,i} = 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$

$k_{pos,exp,CLT2} = 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{64{,}3\,\text{min}}{62{,}1\,\text{min}}} = 0{,}509$

Positionsbeiwert: $k_{pos,unexp,CLT2} = 1{,}0$

(da nächste CLT-Lage als dahinterliegende Bekleidung gilt)

Zeitdifferenz: $\Delta_{t,CLT2} = 0$

(da keine Gips- oder Gipsfaserplatte als davorliegende Schicht)

Fugenbeiwert: $k_{j,CLT2} = 1{,}0$

(da mehrlagige Massivholzplatte)

Schutzzeit: $t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$

$t_{prot,CLT2} = (64{,}3\,\text{min} \cdot 0{,}509 \cdot 1{,}0 + 0) \cdot 1{,}0 = 32{,}7\,\text{min}$

Isolationszeit der 4. Schicht (3. CLT-Lage):

Grundisolationszeit: $t_{ins,0,CLT3} = 19 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1,4} = 19 \cdot \left(\frac{30,0mm}{20}\right)^{1,4} = 33,5\,min$

Positionsbeiwert: $k_{pos,exp,i} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$

$k_{pos,exp,CLT3} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{33,5\,min}{94,8\,min}} = 0,297$

Zeitdifferenz: $\Delta_{t,CLT3} = 0$

(da keine Gips- oder Gipsfaserplatte als davorliegende Schicht)

Fugenbeiwert: $k_{j,CLT3} = 1,0$

(da mehrlagige Massivholzplatte)

Isolationszeit: $t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$

$t_{ins,CLT3} = (33,5\,min \cdot 0,297 + 0) \cdot 1,0 = 10,0\,min$

Zeit bis zum Versagen der raumabschließenden Funktion:

$t_{ins} = \sum t_{prot,i-1} + t_{ins,i}$

$t_{ins} = 94,8\,min + 10,0\,min = 104,8\,min$

Nachweis:

$t_{ins} \geq t_{req}$

$104,8\,min \geq 90\,min$

Damit ist nachgewiesen, dass die oben beschriebene Konstruktion einen Feuerwiderstand von EI 90 aufweist.

Anhang 2 – Angaben zum Restquerschnitt und Raumabschluss von Stora Enso CLT-Bauteilaufbauten

Die in Tabellen 16–19 angeführten und errechneten Werte basieren auf folgenden Bedingungen:

R-Kriterium:

- Der in Abhängigkeit vom CLT-Bauteilaufbau und gefordertem Feuerwiderstand errechnete ideelle Restquerschnitt (in Millimeter) basiert auf den gutachtlich bestätigten Abbrandraten für Stora Enso CLT nach [33], den gutachtlich bestätigten Versagenszeiten für GKF-Bekleidungen auf Stora Enso CLT nach [35] (für Direkt-Bekleidungen), den Versagenszeiten für GKF-Bekleidungen nach [25] (für Bekleidungen bei Installationsebene), der Bemessung nach [22] und der Annahme eines einseitigen Abbrandes.

- Bei der rechnerischen Ermittlung des ideellen Restquerschnittes wird abgesehen von der Abbrandtiefe ebenso die Schicht ohne Festigkeit und Steifigkeit $k_0 * d_0$ berücksichtigt.
  (Laut [26] mit Bezug auf [22]: d_0= 7 mm)

- Restquerschnitte von Lamellen mit einer Stärke ≤ 3 mm werden bei der weiteren statischen Bemessung rechnerisch nicht angesetzt.
  (Die von dieser Regelung betroffenen Lamellen/Lagen werden in den folgenden Tabellen mit [(1)] gekennzeichnet.)

- Liegt der Abbrand bzw. die Abbrandgrenze in einer statisch nicht tragenden Lage, wird die verbleibende Stärke dieser Lage in Klammer gesetzt dargestellt.
  Bei Ermittlung des statischen Restquerschnittes werden diese von der Brandbeanspruchung betroffenen nicht tragenden Lamellen/Lagen berücksichtigt bzw. subtrahiert.

- Lamellen/Lagen in Haupttragrichtung werden in den folgenden Tabellen **fett gedruckt** dargestellt.

EI-Kriterium:

- Der in Abhängigkeit vom CLT-Bauteilaufbau und gefordertem Feuerwiderstand errechnete Raumabschluss wird nach [25] bzw. [9] bzw. [4] ermittelt.
  Die in den folgenden Tabellen angeführten Werte für den Raumabschluss beruhen auf dem Nachweis in der Elementfläche. Besteht das betrachtete Bauteil aus mehreren einzelnen Elementen, ist der Nachweis ebenso im Bereich der Elementfuge zu führen, wobei sich aufgrund der Annahme eines entsprechenden Fugenbeiwertes ein anderes Ergebnis ergibt.

A 2.1 Rechnerisch ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten (unbeplankt)

CLT-Wandelemente (unbeplankt)													
Ausgangsquerschnitt						R-Kriterium							EI-Kriterium
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **30 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**0,0**	(34,1)	**20,0**			54,1	20,0	72 > 30
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**4,1**	30,0	**30,0**			64,1	64,1	81 > 30
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**4,1**	40,0	**30,0**			74,1	74,1	95 > 30
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**14,1**	40,0	**40,0**			94,1	94,1	114 > 30
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(14,1)	**20,0**	20,0	**20,0**	74,1	60,0	73 > 30
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**4,1**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	94,1	94,1	90 > 30
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**14,1**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	114,1	114,1	111 > 30
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**14,1**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	134,1	134,1	129 > 30
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **60 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**0,0**	(8,7)	**20,0**			28,7	20,0	72 > 60
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	(12,3)	**30,0**			42,3	30,0	81 > 60
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(22,3)	**30,0**			52,3	30,0	95 > 60
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(35,2)	**40,0**			75,2	40,0	114 > 60
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**8,7**	20,0	**20,0**	48,7	48,7	73 > 60
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	**30,0**	70,0	70,0	90 > 60
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(15,2)	**20,0**	20,0	**40,0**	95,2	80,0	111 > 60
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(15,2)	**40,0**	20,0	**40,0**	115,2	100,0	129 > 60
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **90 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**0,0**	0,0	(1) **0,0**			0,0	0,0	72 < 90
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**16,5**			16,5	16,5	81 < 90
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**26,5**			26,5	26,5	95 > 90
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(10,2)	**40,0**			50,2	40,0	114 > 90
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	20,0	73 < 90
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(16,6)	**30,0**	46,6	30,0	90 ≥ 90
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**10,2**	20,0	**40,0**	70,2	70,2	111 > 90
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**30,2**	20,0	**40,0**	90,2	90,2	129 > 90

Tabelle 16: Rechnerischer Restquerschnitt und Raumabschluss von unbeplankten CLT-Wandaufbauten

A 2.2 Rechnerisch ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten mit einlagiger GKF-Beplankung (12,5 mm) auf der brandbeanspruchten Bauteilseite

CLT-Wandelemente (mit einlagiger GKF-Beplankung)													
Ausgangsquerschnitt						R-Kriterium							EI-Kriterium
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **30 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**8,6**	40,0	**20,0**			68,6	68,6	89 > 30
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**18,6**	30,0	**30,0**			78,6	78,6	93 > 30
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**18,6**	40,0	**30,0**			88,6	88,6	104 > 30
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**28,6**	40,0	**40,0**			108,6	108,6	123 > 30
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**8,6**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	88,6	88,6	84 > 30
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**18,6**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	108,6	108,6	101 > 30
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**28,6**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	128,6	128,6	121 > 30
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**28,6**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	148,6	148,6	137 > 30
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **60 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**0,0**	29,0	**20,0**			49,0	20,0	89 > 60
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			(1) **0,0**	30,0	**30,0**			60,0	60,0	93 > 60
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			(1) **0,0**	40,0	**30,0**			70,0	70,0	104 > 60
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**10,1**	40,0	**40,0**			90,1	90,1	123 > 60
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(9,0)	**20,0**	20,0	**20,0**	69,0	60,0	84 > 60
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	(1) **0,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	90,0	90,0	101 > 60
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**10,1**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	110,1	110,1	121 > 60
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**10,1**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	130,1	130,1	137 > 60
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **90 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**0,0**	3,7	**20,0**			23,7	20,0	89 < 90
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	(5,5)	**30,0**			35,5	30,0	93 > 90
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(15,5)	**30,0**			45,5	30,0	104 > 90
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(29,2)	**40,0**			69,2	40,0	123 > 90
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**3,7**	20,0	**20,0**	43,7	43,7	84 < 90
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**15,5**	20,0	**30,0**	65,5	65,5	101 > 90
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(9,2)	**20,0**	20,0	**40,0**	89,2	80,0	121 > 90
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(9,2)	**40,0**	20,0	**40,0**	109,2	100,0	137 > 90

Tabelle 17: Rechnerischer Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten mit einlagiger GKF-Beplankung (12,5 mm)

A 2.3 Rechn. ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten mit Installationsebene (50 mm, Steinwolle) und einlag. GKF-Bepl, (12,5 mm) auf der brandbeanspr. Bauteilseite

CLT-Wandelemente (mit Steinwolle ausgedämmter Installationsebene und einlagiger GKF-Beplankung)													
Ausgangsquerschnitt						R-Kriterium							EI-Kriterium
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **30 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**20,0**	40,0	**20,0**			80,0	80,0	90 > 30
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**30,0**	30,0	**30,0**			90,0	90,0	93 > 30
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**30,0**	40,0	**30,0**			100,0	100,0	105 > 30
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**40,0**	40,0	**40,0**			120,0	120,0	124 > 30
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	100,0	100,0	85 > 30
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	120,0	120,0	101 > 30
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	140,0	140,0	122 > 30
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	160,0	160,0	138 > 30
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **60 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**0,0**	(20,5)	**20,0**			40,5	20,0	90 > 60
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	(20,5)	**30,0**			50,5	30,0	93 > 60
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(30,5)	**30,0**			60,5	30,0	105 > 60
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			(1) **0,0**	40,0	**40,0**			80,0	80,0	124 > 60
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	**20,0**	60,0	60,0	85 > 60
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	(10,5)	**20,0**	20,0	**30,0**	80,5	70,0	101 > 60
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	1) **0,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	100,0	100,0	122 > 60
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	1) **0,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	120,0	120,0	138 > 60
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **90 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
80 C3s	**20,0**	40,0	**20,0**			**0,0**	0,0	**14,7**			14,7	14,7	90 = 90
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**26,5**			26,5	26,5	93 > 90
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(6,5)	**30,0**			36,5	30,0	105 > 90
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(20,2)	**40,0**			60,2	40,0	124 > 90
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(14,7)	**20,0**	34,7	20,0	85 < 90
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**6,5**	20,0	**30,0**	56,5	56,5	101 > 90
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	**40,0**	80,0	80,0	122 > 90
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(1) 0,0	**40,0**	20,0	**40,0**	100,0	100,0	138 > 90

Tabelle 18: Rechnerischer Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Wandaufbauten mit Installationsebene (50 mm) und GKF-Beplankung (12,5 mm)

A 2.4 Rechnerisch ermittelter Restquerschnitt und Raumabschluss von CLT-Deckenaufbauten (unbeplankt)

CLT-Deckenelemente (unbeplankt)													
Ausgangsquerschnitt						R-Kriterium							EI-Kriterium
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **30 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
100 L5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(13,5)	**20,0**	20,0	**20,0**	73,5	60,0	73 > 30
120 L5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**3,5**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	93,5	93,5	90 > 30
140 L5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**13,5**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	113,5	113,5	111 > 30
160 L5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**13,5**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	133,5	133,5	129 > 30
180 L5s	**40,0**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	**13,5**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	153,5	153,5	143 > 30
200 L5s	**40,0**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	**13,5**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	173,5	173,5	160 > 30
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **60 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
100 L5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(14,8)	**20,0**	34,8	20,0	73 > 60
120 L5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**14,9**	20,0	**30,0**	64,9	64,9	90 > 60
140 L5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(14,0)	**20,0**	20,0	**40,0**	94,0	80,0	111 > 60
160 L5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(14,0)	**40,0**	20,0	**40,0**	114,0	100,0	129 > 60
180 L5s	**40,0**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	**0,0**	(24,0)	**40,0**	30,0	**40,0**	134,0	110,0	143 > 60
200 L5s	**40,0**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	**0,0**	(34,0)	**40,0**	40,0	**40,0**	154,0	120,0	160 > 60
						Rechnerischer, ideeller Restquerschnitt nach **90 Minuten** Brandbeanspruchung						Statischer Restquerschnitt [mm]	Rechnerischer Raumabschluss [min.]
CLT-Plattentyp	Lamellenaufbau [mm]					Lamellenaufbau [mm]					Restquerschnitt [mm]		
100 L5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	0,0	73 < 90
120 L5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	**25,7**	25,7	25,7	90 ≥ 90
140 L5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(15,8)	**40,0**	55,8	40,0	111 > 90
160 L5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**15,8**	20,0	**40,0**	75,8	75,8	129 > 90
180 L5s	**40,0**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**30,7**	30,0	**40,0**	100,7	100,7	143 > 90
200 L5s	**40,0**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	**0,0**	(1) 0,0	**40,0**	40,0	**40,0**	120,0	120,0	160 > 90

Tabelle 19: Rechnerischer Restquerschnitt und Raumabschluss von unbeplankten CLT-Deckenaufbauten