

PEIKKO

# WHITE PAPER



**HOHER FEUERWIDERSTAND DER  
DECKENFUGEN BEI DELTABEAM<sup>®</sup>  
SLIM-FLOOR-KONSTRUKTIONEN MIT  
HOLZELEMENTEN**

Veröffentlicht: 01/2023  
Übersetzt: 09/2023



**Salla-Mari West**  
M.Sc.  
R&D Engineer  
Peikko Group Corporation



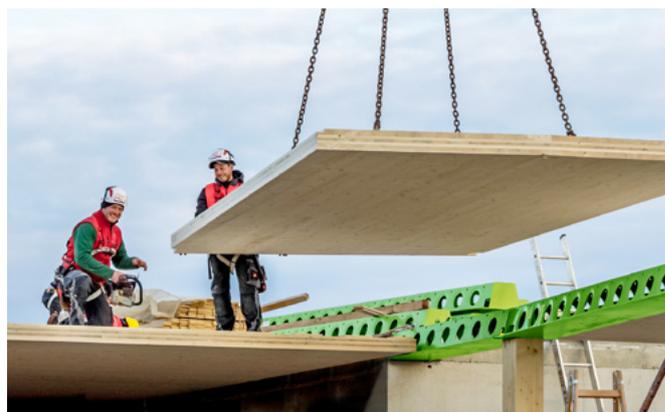
**Simo Peltonen**  
M.Sc.  
Senior R&D Manager  
Peikko Group Corporation

## 1. EINFÜHRUNG

Massivholzprodukte wie Elemente aus Brettsperrholz (CLT) kommen aufgrund ihrer Festigkeit, Masshaltigkeit und Steifigkeit zunehmend im Geschossbau zum Einsatz [8]. Zusätzliche Brandschutzmassnahmen sind bei Massivholzprodukten oft nicht notwendig, da sie meist auch ohne Brandschutz ausreichend tragfähig sind [9]. Daher können CLT-Platten ungeschützt bleiben. Die Verkohlungszone isoliert den Restquerschnitt, der seine Tragfähigkeit behält. [8]

DELTABEAM® ist ein in die Decke integrierter Verbundträger für Slim-Floor-Konstruktionen, der deckengleiche Unterzüge ermöglicht und keine zusätzliche Brandschutzmassnahme erfordert. Die Bewertung des Feuerwiderstands des DELTABEAM® basiert auf Eurocodes, standardisierten Brandversuchen und Bemessungsgrundlagen, die aus Versuchen abgeleitet wurden. Der hohe Feuerwiderstand ohne Brandschutz wird durch Füllbeton und Brandbewehrung erreicht, die bei Bedarf werkseitig in das DELTABEAM® Profil eingebaut wird. Die Brandbewehrung und die DELTABEAM® Stege wirken im Brandfall als Zugbewehrung. [1]

Peikko hat das Verhalten des Fugenbereichs zwischen DELTABEAM® Verbundträger und Holzdecken untersucht, um die Lücken in den Normen mit Fakten zu füllen. Zunächst untersuchte Peikko das Lastübertragungsvermögen des Fugenbereichs zwischen DELTABEAM® und Holzdecke bei Raumtemperatur, d. h., wie die Last von der Decke auf den Balken [5] übertragen wird. Im Anschluss an diese Lastübertragungstests wurden ein Verkohlungsversuch und ein 90-minütiger Brandversuch unter Belastung durchgeführt. Die Brandversuche erbrachten den Nachweis, dass DELTABEAM® Verbundträger in Kombination mit CLT-Deckenelementen im Brandfall ohne zusätzliche Brandschutzmassnahmen unter dem Träger oder der CLT-Platte auskommen. DELTABEAM® Verbundträger sind eine hervorragende Lösung für die Herstellung einer Slim-Floor Konstruktion mit Massivholzdecken, die unverkleidet gelassen werden kann (siehe *Abbildung 1*).



*Abbildung 1. Zur Verbesserung der Nachhaltigkeit wird die Slim-Floor-Konstruktionslösung von Peikko mit DELTABEAM® Green und CLT-Platten [14] realisiert.*

## 2. BRANDSCHUTZBEMESSUNG DER VERBINDUNGEN

Im Brandfall sind die Fugen normalerweise die schwächsten Punkte einer Holzkonstruktion [10]. Daher müssen die Verbindungen sorgfältig bemessen werden [11]. Der Feuerwiderstand einer ungeschützten herkömmlichen Holzverbindung nach aktuellen Normen beträgt in der Regel weniger als 30 Minuten [10]. Die Verbindungen können durch verdeckte Verbindungen, die durch die Verkohlung von Holz geschützt sind, oder durch feuerfeste Gipskartonplatten geschützt werden. In einigen Fällen können zum Schutz freiliegender Verbindungen auch Intumeszenzanstriche oder Dichtungen verwendet werden. [8]

Stahl hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit. Aus diesem Grund können sich Verbindungselemente und Platten, die direkt oder indirekt dem Feuer ausgesetzt sind, erhitzen und nicht nur an Festigkeit verlieren, sondern auch Wärme in das Holzprodukt leiten. Dies kann zu einer Verkohlung auf der freiliegenden Oberfläche und rund um das Befestigungselement führen. Durch den Schutz der Verbindungen wird verhindert, dass sich der Stahl übermässig erhitzt und so seine Festigkeit verliert. Gleichzeitig wird verhindert, dass der Stahl die Verkohlung im umliegenden Bereich beschleunigt, was zu einer Lockerung und einem Versagen der Verbindung führen könnte. [11] Durch die Verkohlung des Holzes geschützte Verbindungen führen

oft zu Massivholzkonstruktionen. DELTABEAM® ermöglicht den Aufbau einer Slim-Floor Konstruktion, bei der Träger und CLT-Platte mit einer gekapselten Querbewehrung verbunden sind.

Im 90-minütigen Brandversuch wurde nachgewiesen, dass die Schnittstelle zwischen DELTABEAM® Verbundträger und Holzdecke im Brandfall Lasten in Rand- und Zwischenträger übertragen kann. Die in den Nuten der Holzelemente verankerte Querbewehrung verbindet Träger und Decke miteinander und stellt die Lastenübertragung sowohl bei Raumtemperatur als auch im Brandfall sicher (siehe *Abbildung 2*).



*Abbildung 2. Querbewehrung gewährleistet die Lastübertragung.*

Beim zweistündigen Verkohlungsversuch wurde der DELTABEAM® mit üblichen Holzdeckenelementen auf innovative Weise in einer Slim-Floor Konstruktion verwendet. Anhand von Erfahrungswerten und durchgeführten Brandschutzberechnungen wurden für die Versuche die am besten geeigneten Fugendetails ausgewählt.

### 3. BEMESSUNG DES DELTABEAM® MIT CLT-PLATTE

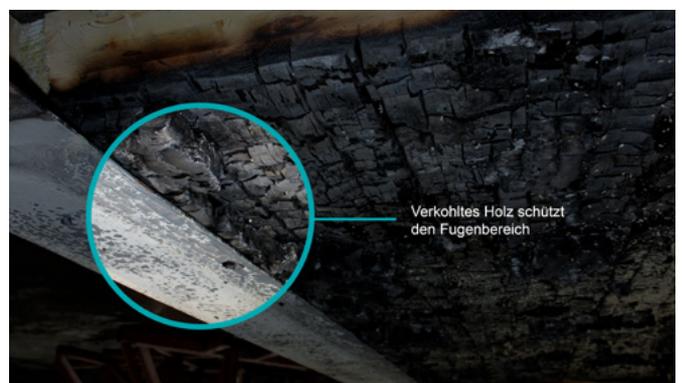
#### 3.1. CLT-PLATTE IM BRANDFALL

Bei Brandeinwirkung liegt die Temperatur des unverkohlten Holzteils unter 100 °C, mit Ausnahme der 10 bis 20 mm dicken Holzschicht über der verkohlten Schicht [10]. Bei 200-300 °C zersetzen sich die chemischen Verbindungen im Zuge einer thermochemischen Umwandlung, der sogenannten Pyrolyse. Die Pyrolyse breitet sich allmählich entlang des Holzes aus und hinterlässt einen verkohlten Bereich. [12]

Aufgrund des Zerfalls der verkohlten Schichten verläuft die Verkohlung der CLT-Platten nicht linear, sondern mit verschiedenen Verkohlungsraten. Der Zerfall der verkohlten Schichten tritt ein, wenn das Feuer die Polyurethan-Klebeverbindung der CLT-Platte erreicht. Danach sollte die verkohlte Schicht zerfallen. Die nächste Schicht beginnt mit einer höheren Geschwindigkeit zu verkohlen. Nach einiger Zeit kehrt die Verkohlungsrate auf den ursprünglichen Wert zurück. [10]

Für die Brandschutzbemessung von CLT-Platten wird empfohlen, die in DIN EN 1995-1-2 [12] beschriebene Methode des reduzierten Querschnitts anzuwenden. Die Verkohlungstiefe entspricht dem Abstand zwischen der Oberfläche des ursprünglichen Bauteils und der Position der Verkohlungslinie und sollte anhand der Dauer der Brandeinwirkung und der entsprechenden Verkohlungsrate berechnet werden. Die Position der Verkohlungslinie sollte als die Position der 300 °C-Isotherme angenommen werden. [2]

Aufgrund der Schutzwirkung des DELTABEAM® Auflagerflanschs, des Füllbetons und der einzigartigen Lösung von Peikko war die Verkohlungstiefe im Fugenbereich nicht so tief wie in der Mitte der CLT-Spannweite. Nach dem 90-minütigen Brandversuch unter Belastung wurde der Prüfkörper abgerissen, um die Verkohlung der Konstruktion zu untersuchen. Wie *Abbildung 3* zeigt, bleibt das verkohlte Holz über dem auskragenden DELTABEAM® Auflagerflansch an seinem Platz. Dieses verkohlte Holz schützt den Fugenbereich auch dann noch, wenn die untere Lamelle der CLT-Platte bereits abgefallen ist.



*Abbildung 3. Prüfkörper von unten nach einem 90-minütigen Brandversuch unter Belastung.*

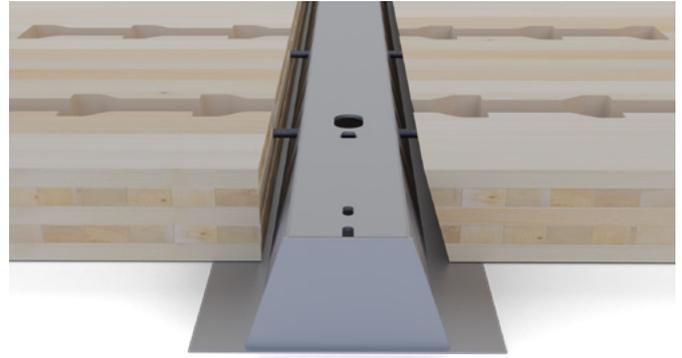
**3.2. METHODE DES REDUZIERTEN QUERSCHNITTS**

Bei der Methode des reduzierten Querschnitts werden die Teile des Querschnitts mit einer angenommenen Festigkeit und Steifigkeit von Null entfernt und tragen nicht mehr zur Tragfähigkeit des Querschnitts bei [2]. Am Prüfkörper für den Verkohlungsversuch waren an sieben verschiedenen Stellen Temperaturmessgeber angebracht. Der DELTABEAM® Verbundträger wurde in keinem der Querschnitte mit einem Brandschutz versehen. *Abbildung 4* zeigt den fertigen Prüfkörper für den Verkohlungsversuch. Die Temperaturdaten aus dem Verkohlungsversuch belegen, dass die Verkohlungstiefe im Fugenbereich zwischen DELTABEAM® Verbundträger und CLT-Platte auch ohne zusätzlichen Brandschutz geringer als in der Mitte der CLT-Fläche ist.



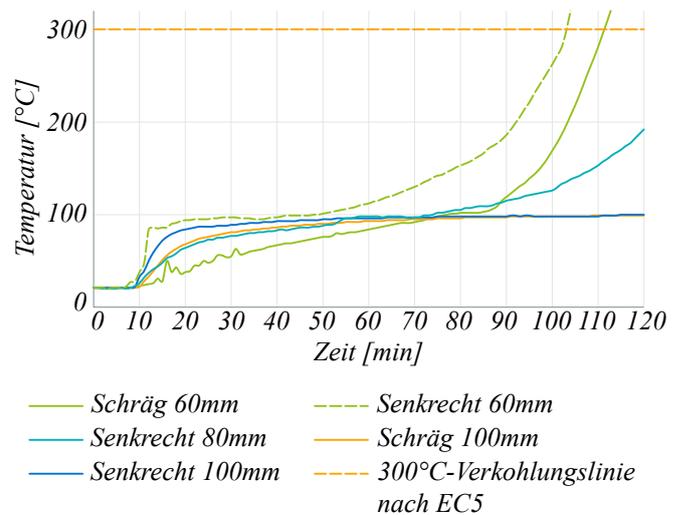
*Abbildung 4. Prüfkörper für den zweistündigen Verkohlungsversuch ohne Belastung. Die CLT 200 L5s- und CLT 280 L7s-Holzelemente wurden auf den auskragenden Auflager- oder Untergurtflanschen des DELTABEAM® Verbundträgers aufgelagert. DELTABEAM® und die CLT 200 L5s-Elemente hatten die gleiche Tiefe.*

Es gibt verschiedene Möglichkeiten für die Kanten­geometrie des Holzelements, wie senkrechter oder schräger Endschnitt (siehe *Abbildung 5*). Die Geometrie hat keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Konstruktion. *Abbildung 6* zeigt die Temperaturen im Fugenbereich zwischen dem DELTABEAM® und den CLT-Platten ohne zusätzlichen Brandschutz unter dem Träger oder unter den CLT-Platten. Wie aus *Abbildung 6* hervorgeht, können bei CLT-Platten sowohl senkrechte als auch schräge Endschnitte verwendet werden. Die Verkohlungsrate ist beim senkrechten Schnitt anfangs höher, aber am Ende ist die effektive Verkohlungstiefe bei beiden Schnitten ungefähr gleich. 100 mm von der CLT-Decke entfernt hat sich die Temperatur bei beiden Schnitten auf 100 °C eingependelt.



*Abbildung 5. Senkrechter und schräger Endschnitt an der CLT-Kante.*

Vor dem Verkohlungsversuch wurde die effektive Verkohlungstiefe für die CLT-Platte ohne zusätzliche Brandschutzmassnahmen berechnet. Gemäss SFS-EN 1995-1-2 und der Verkohlungsrate des CLT-Produkts beträgt die effektive Verkohlungstiefe 108 mm [2,6]. Nach dem Versuch wurde die effektive Verkohlungstiefe gemäss SFS-EN 1995-1-2 und anhand der Temperaturdaten berechnet. Wie *Abbildung 6* zeigt, liegt die 300 °C-Verkohlungslinie nach 120 Minuten zwischen 60 mm und 80 mm. Sicherheitshalber wird der Wert von 80 mm gewählt. Gemäss SFS-EN 1995-1-2 hat das Material in der Nähe der Verkohlungslinie eine Festigkeit und Steifigkeit von Null [2]. Die effektive Verkohlungstiefe beträgt daher für beide Schnitte 87 mm. Bei beiden CLT-Endschnitten ist die effektive Verkohlungstiefe im Fugenbereich zwischen DELTABEAM® und CLT-Platte nachweislich geringer als die berechnete effektive Verkohlungstiefe in der Mitte der CLT-Fläche mit der Verkohlungsrate des CLT-Produkts.



*Abbildung 6. Temperatur in der CLT-Platte im Fugenbereich, 60-100 mm von der CLT-Decke entfernt.*

Anhand der umfangreichen Messdaten für die verschiedenen Punkte konnte eindeutig festgestellt werden, dass der DELTABEAM® Verbundträger bei keinem der untersuchten

Punkte einen negativen Einfluss auf die Verkohlungsrate der CLT-Platte hatte. Der DELTABEAM® ermöglicht eine Slim-Floor-Lösung und kann zusammen mit verschiedenen gängigen Holzdeckensystemen verwendet werden, die in der Praxis zum Einsatz kommen.

### 3.3. TRAGFÄHIGKEIT, INTEGRITÄT UND ISOLIERUNG

Brandschutztechnisch sind Konstruktionen so zu bemessen und auszuführen, dass sie ihre tragende Funktion während der jeweiligen Brandeinwirkung beibehalten. Ist eine Brandabschottung erforderlich, so sind die den Brandabschnitt begrenzenden Bauteile, einschliesslich der Fugen, so zu bemessen und auszuführen, dass sie ihre trennende Funktion während der jeweiligen Brandeinwirkung beibehalten. Sofern relevant, sind die Kriterien für Integrität und Isolierung zu erfüllen. [2] Im 90-minütigen Brandversuch unter Belastung wurden alle REI90-Anforderungen an Tragfähigkeit, Integrität und Isolierung erfüllt. Im REI90-Brandversuch wurden CLT 200 L5s-Holzelemente auf den auskragenden Flanschen des DELTABEAM® Verbundträgers aufgelagert. Die DELTABEAM® Verbundträger D20-300 und DR20-215 und die CLT-Platten hatten die gleiche Tiefe. Weder bei den DELTABEAM® Verbundträgern noch bei den CLT-Platten wurde ein zusätzlicher Brandschutz verwendet. Die Belastung wurde während des gesamten 90-minütigen Brandversuchs konstant gehalten. *Abbildung 7* zeigt den fertigen Prüfkörper für den 90-minütigen Versuch.



*Abbildung 7.* Prüfkörper für den 90-minütigen Brandversuch mit Belastung. Die Lastanordnung simulierte eine Konstruktion aus DELTABEAM® und CLT-Platten mit 8 m CLT-Spannweite, 1,7 kN/m<sup>2</sup> ständiger Last und 5 kN/m<sup>2</sup> Verkehrslast ( $\psi_1=0,7$ ). Der festgelegte Faktor  $\psi_1$  entspricht dem verwendeten Faktor für Gemeindegebiete, Einkaufszonen und Verkehrszonen der Kategorie F.

Die Durchbiegungen wurden in der Mitte der CLT-Platten, in der Mitte der DELTABEAM® Zwischenträger und in der Mitte der DELTABEAM® Träger vom Typ DR gemessen. Die

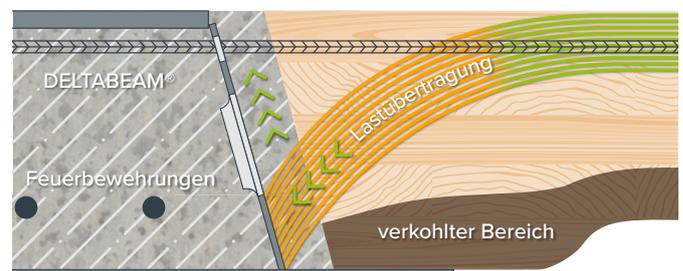
Durchbiegungen für die DELTABEAM® Träger und CLT-Platten lagen nach 90 Minuten zwischen 40 mm und 50 mm und sind somit geringer als  $L^2/400d$  mm = 136 mm (die Tiefe  $d$  des Prüfkörpers beträgt 200 mm, und die Spannweite  $L$  beträgt 3300 mm). Die Verformungsgeschwindigkeit war kleiner als  $L^2/9000d$  mm/min = 6,05 mm/min. Damit waren die Kriterien für die Tragfähigkeit  $R$  erfüllt.

Der durchschnittliche Temperaturanstieg für die gesamte Konstruktion betrug nach 90 Minuten 62 °C und liegt damit unter dem Grenzwert von 140 °C für das Isolierungskriterium. Der höchste Temperaturanstieg wurde beim Temperaturmessgeber TC20 mit 92 °C nach 90 Minuten verzeichnet. Der höchste Temperaturanstieg lag unter 180 °C, womit die Isolierungskriterien an jeder Stelle des Prüfkörpers erfüllt sind. Auf Basis der zahlreichen Temperaturmesswerte im Fugenbereich zwischen dem DELTABEAM® Verbundträger und den CLT-Platten wurden die Kriterien für die Isolierung  $I$  in Bezug auf den durchschnittlichen und den höchsten Temperaturanstieg eingehalten.

Auf der ungeschützten Fläche bildeten sich keine Flammen. Der Prüfkörper wies keine Spalte auf. Auf Grundlage der visuellen Feststellungen wurden die Kriterien für die Integrität  $E$  erfüllt.

### 3.4. LASTÜBERTRAGUNG

*Abbildung 8* zeigt, wie die Lasten auch im Brandfall durch einen Druckbogen gegen einen geeigneten Steg auf den DELTABEAM® übertragen werden. Dadurch verbleibt ein verkohlter Holzteil zwischen dem Auflagerflansch des Trägers und dem unverkohlten Holzelement, der im Brandfall den Fugenbereich isoliert. Weitere Informationen zur Lastübertragung im Bauzustand und im endgültigen Verbundzustand sind dem Technischen Handbuch für DELTABEAM® im Holzbau zu entnehmen.



*Abbildung 8.* Lastübertragung im Brandfall.

Die visuellen Feststellungen des REI90-Brandversuchs ergaben, dass die Verkohlung wie erwartet nur an der Unterseite erfolgt. Der Fugenbeton ist sauber und weist keine Schäden auf. Das Feuer hat sich nicht durch die Fuge gebrannt. Nach dem Brandversuch wurde der abgekühlte Prüfkörper in der Mitte der Spannweite der CLT-Fläche parallel zum Träger in drei Teile geschnitten.

Schliesslich wurde ein Teil der CLT-Platte neben den DELTABEAM® Rand- und Zwischenträgern entfernt, um die Verkohlung im Fugenbereich zu untersuchen. Wie aus den Abbildungen 9 und 10 ersichtlich ist, verbleibt etwa die Hälfte der zweiten Lamelle im Fugenbereich, während die zweite Lamelle in der Mitte der CLT-Fläche bereits vollständig verkohlt ist. Die Tiefe des nicht verkohlten Holzes in der Mitte der CLT-Fläche lag zwischen 120 mm und 135 mm, d. h., ca. 70 mm der CLT-Deckentiefe waren verkohlt. Bei den Zwischen- und Randträgern waren ca. 50 mm der CLT-Deckentiefe abgekohlt. Der Prüfkörper brannte weiter, während die Lastanordnung demontiert und der Prüfkörper angehoben wurde. Dadurch liegen die gemessenen Resttiefen der Holzelemente auf der sicheren Seite. Die gemessenen Verkohlungstiefen während des Abbruchs unterstützen die Temperaturmessdaten und belegen, dass die berechnete effektive Verkohlungstiefe konservativ ist.



Abbildung 9. Verkohlung im Fugenbereich zwischen DELTABEAM® und CLT-Platte neben dem Fugenbeton.



Abbildung 10. Verkohlung in der Mitte der CLT-Spannweite.

Alle Wegaufnehmer wurden auf dem DELTABEAM® als Referenz eingestellt. Die Verschiebung zwischen der oberen Ecke der CLT-Platte und der oberen Plattenecke des DELTABEAM® wird in vertikaler und horizontaler Richtung gemessen. Die gemessenen

relativen Verschiebungen zeigen, dass der Fugenbereich im Brandfall gut standhält. Die angebrachten Wegsensoren sind *Abbildung 11* zu entnehmen. Die Ergebnisse belegen, dass die Querbewehrung den DELTABEAM® Verbundträger und die CLT-Platte zusammenhält und die Lastübertragung sicherstellt.

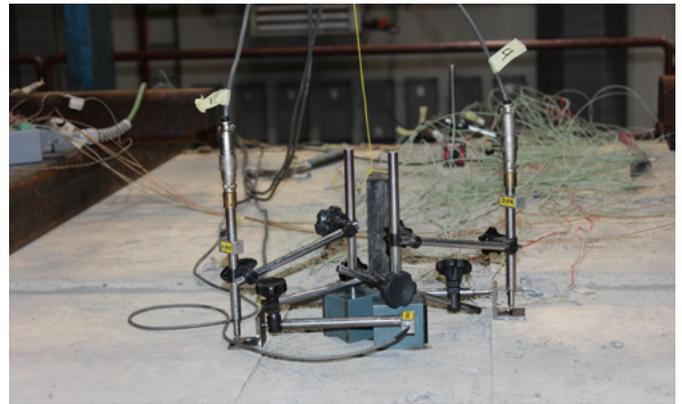


Abbildung 11. Die Verschiebungen im Fugenbereich wurden in der Mitte der Trägerspannweite in vertikaler und horizontaler Richtung gemessen.

### 3.5. BRANDSCHUTZBEMESSUNG DES DELTABEAM®

DELTABEAM® Slim-Floor-Konstruktionen beinhalten immer einen vollständigen Bemessungsservice von Peikko – statische Berechnungen, Konstruktionszeichnungen von Trägern und Anweisungen für die Verbindungsdetails, die vom Kunden zu genehmigen sind [1]. Bei erhöhten Temperaturen wird der Reduktionsfaktor für die mechanischen Eigenschaften von Baustahl und Bewehrungsstäben verwendet [7]. Wie die Temperaturmessungen aus dem Verkohlungsversuch und dem REI90-Brandversuch belegen, ist die aktuelle Brandschutzbemessung des DELTABEAM® Verbundträgers auch bei Holzdecken sicher. Daher ist bei der Verwendung von CLT-Platten in Kombination mit dem DELTABEAM® zusätzlich zur derzeit zugelassenen Standardmethode für die Brandschutzbemessung des DELTABEAM® Verbundträgers keine weitere Brandschutzbemessung erforderlich.

### 3.6. BEMESSUNG DER QUERBEWEHRUNG

Die Querbewehrung wurde in den Nuten der CLT-Platte verankert. Sie dient dazu, den DELTABEAM® und die CLT-Platte miteinander zu verbinden und die Lastübertragung zu gewährleisten. Für den DELTABEAM®s wurden Bewehrungsstäbe mit 12 mm Durchmesser und 600 mm Abstand verwendet. Beim Zwischenträger verläuft die Querbewehrung durch die Luftlöcher am oberen Ende der DELTABEAM® Stege.

Die Bewehrungslänge ist von der erforderlichen Länge der Nuten und der erforderlichen Verankerungslänge nach SFS-EN 1992-1-1 [4] abhängig. Die erforderliche Länge der Nuten richtet sich nach der notwendigen Anzahl der Kerben, um die Lasten

von den CLT-Platten auf den DELTABEAM® ableiten zu können. Die Mindestbetondeckung wird nach SFS-EN 1992-1-1 [4] berechnet. Beim Prüfkörper für den REI90-Brandversuch wurde die Verankerungslänge der Bewehrungsstäbe durch die Länge der Nuten bestimmt. Die Bewehrung muss über die letzte Kerbe hinaus bis zum Ende der Nut reichen.

Die Kraft im Bewehrungsstab erzeugt einen Druck auf die Kerben (siehe *Abbildung 12*). Die notwendige Anzahl der Kerben in den Nuten der CLT-Platten hängt von der Druckkraft ab. Die Querbewehrung muss über die letzte Kerbe hinaus bis zum Ende der Nut reichen, damit die Last von der CLT-Platte auf den DELTABEAM® übertragen wird. Die spezielle Nutenkonstruktion von Peikko hilft, den Druck am Ende der Nut zu verteilen. Ausreichend breite Nuten sind vor allem dann wichtig, wenn der Querbewehrungsstab nicht nur die Lastübertragung sicherstellt, sondern beispielsweise auch asymmetrische Lasten trägt. Ein ausreichend breiter Betonblock und eine ausreichende Bewehrung verhindern, dass sich Risse im Beton bilden.



Abbildung 12. Die Kraft im Querbewehrungsstab erzeugt Druck in den Nuten.

Abbildung 13 zeigt die Normalspannungen in den Querbewehrungsstäben während des 90-minütigen Brandversuchs unter Belastung. Die Normalspannungen waren aufgrund der asymmetrischen Belastung in den Randträgern am höchsten. Die höchste Normalspannung wurde beim Randträger im Querbewehrungsstab 1B gemessen. *Abbildung 14* zeigt die Spannungs-Dehnungs-Linie für den Bewehrungsstab 1B. Die Normalspannung steigt linear an und nimmt dann linear auf dem gleichen Weg ab. Die Querbewehrung gibt nicht nach, da gemäss den Spannungs-Dehnungs-Linien keine bleibenden Verformungen entstehen.

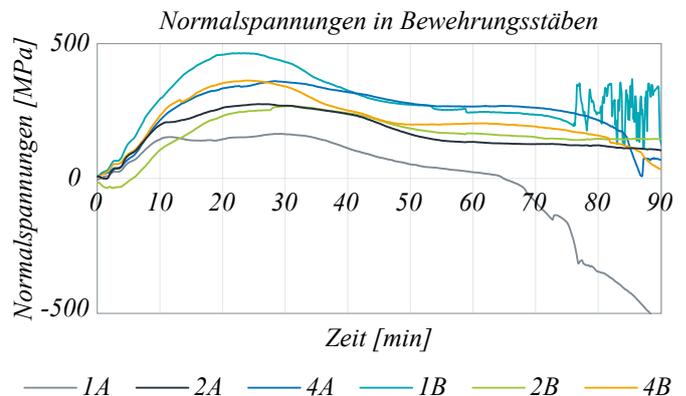


Abbildung 13. Normalspannungen [MPa] in den Querbewehrungsstäben im Zeitverlauf [min]. „1A“, „1B“, „4A“ und „4B“ sind Dehnungskurven der Querbewehrung in den Randträgern. „2A“ und „2B“ entsprechen den Dehnungskurven der Querbewehrung im Zwischenträger.

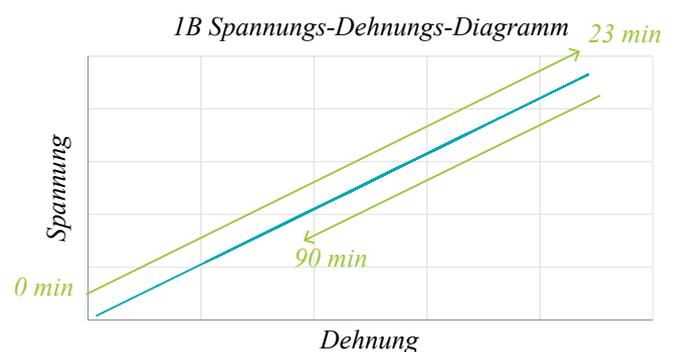


Abbildung 14. Normalspannungen und Dehnungen im Querbewehrungsstab „1B“. Die Spannungs-Dehnungs-Linie ist in blau dargestellt. Die grünen Pfeile im Diagramm zeigen die Veränderung der Normalspannung während des REI90-Brandversuchs.

Abbildung 15 zeigt die Biegesteifigkeit des DELTABEAM® Verbundträgers während des 90-minütigen Brandversuchs unter Belastung. Die Biegesteifigkeit nimmt in den ersten 30 Minuten am stärksten ab. Gleichzeitig nehmen die Normalspannungen in den Querstäben in den ersten 30 Minuten am stärksten zu.

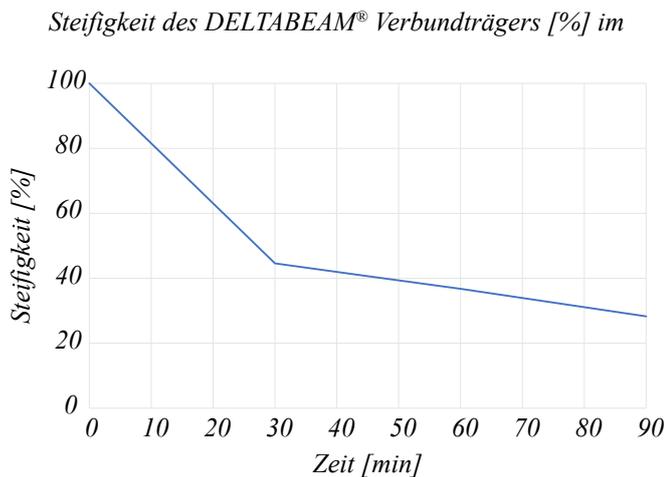


Abbildung 15. Biegesteifigkeit des DELTABEAM® Verbundträgers im Zeitverlauf [min] während des 90-minütigen Brandversuchs unter Belastung.

### 3.7. SITUATION BEIM RANDTRÄGER

Die Querbewehrung in den Randträgern ist so ausgelegt, dass sie den Kräften aus asymmetrischer Belastung standhält und die Lastübertragung gewährleistet. Bei asymmetrischer Belastung sollten die Querbewehrungsstäbe so niedrig wie möglich angeordnet werden, um die Temperatur im Brandfall zu berücksichtigen, die sich auf die Tragfähigkeit der Bewehrungsstäbe auswirken könnte. Eine Möglichkeit besteht darin, die Querbewehrung je nach Projekt durch die Löcher in den Stegen zu führen. *Abbildung 16* zeigt die vorgesehene Querbewehrung bei Randträgern.



Abbildung 16. Bewehrung bei Randträgern.

Nachdem das Holz unter der Nut verkohlt ist, beginnt sich der Beton durch die normale Brandeinwirkung zu erhitzen. Den Messdaten zufolge liegt diese Annahme auf der sicheren Seite. Die Temperatur des Querbewehrungsstabs lag im Fugenbereich nach 90 Minuten bei 114 °C. Die Temperatur auf dem Boden der Nut betrug nach 90 Minuten 100 °C.

Wird die Querbewehrung beispielsweise durch asymmetrische Belastung stark beansprucht, sollten die CLT-Platten breitere Nuten haben. Bei den Prüfkörpern für den Brandversuch im Randträgerbereich waren die Nuten aufgrund der asymmetrischen Belastung doppelt so breit wie bei den Zwischenträgern, um Rissbildungen im Beton zu verhindern. *Abbildung 17* zeigt, wie die Lastexzentrizität Druck auf die oberste CLT-Schicht ausübt. Der Druck darf die Bemessungsdruckfestigkeit des Holzes in Faserrichtung nicht übersteigen.

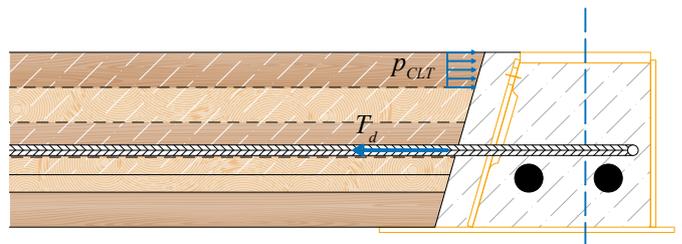


Abbildung 17. Asymmetrische Belastung im Randträgerbereich.

### 3.8. SCHWINGUNG

Auch wenn dies im Brandfall keine Rolle spielt, möchten wir auf die Wichtigkeit einer Überprüfung der dynamischen Eigenschaften der Holzdecken hinweisen. Das Verhalten von Massivholzdecken bei vom Menschen verursachten Schwingungen durch Begehen ist häufig das entscheidende Planungskriterium bei Wohnhäusern, öffentlichen Gebäuden oder Bürogebäuden. Es gibt zwei gängige Möglichkeiten, ein Kriterium für die Begrenzung von Schwingungen festzulegen.

Die zweite Alternative ist die Begrenzung der niedrigsten Frequenz des Bodens, die als einfacherer und konservativerer Ansatz angesehen wird. Diese Böden werden umgangssprachlich auch als „Niederfrequenzböden“ bezeichnet. Da CLT-Platten vermutlich eine geringere Steifigkeit und Masse als Betonplatten haben, wird je nach Vorschrift oder nationalem Anhang oft ein Grenzwert von 8 bis 9 Hz für die niedrigste Frequenz angegeben. In der Praxis kann es unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll sein, den Grenzwert von 8 bis 9 Hz mit Niederfrequenzböden einzuhalten, vor allem dann nicht, wenn auch längere Spannweiten gefordert sind. Wenn man den Grenzwert für die niedrigste Frequenz vernachlässigt und sich auf die Antwort selbst konzentriert, können viele verschiedene Träger-Platten-Kombinationen eine akzeptable Leistung liefern.

Die Verwendung einer Verbundkonstruktion aus CLT und Betonestrich ist besonders effektiv und bietet grosses Potenzial zur Verringerung der Gesamtdicke der Decke. Peikko kann dazu beitragen, die gängigen Bemessungskriterien für vom Menschen verursachte Schwingungen durch Begehen mit verschiedenen DELTABEAM® CLT-Deckenausführungen wirtschaftlich zu erfüllen. [13]

### 4. FAZIT

Auf Basis der Messdaten und Beobachtungen während des Abbruchs nach dem Brandversuch scheint der DELTABEAM® Auflagerflansch eine schützende Wirkung hinsichtlich der Entwicklung der Verkohlungstiefe zu haben. DELTABEAM® hat keinen negativen Einfluss auf die Verkohlungsrate der CLT-Platte. Wie die Ergebnisse des Brandversuchs zeigen, erfolgt die Lastübertragung zwischen dem Träger und der CLT-Platte wie in der DELTABEAM® Bemessung angenommen. Die Temperaturen der DELTABEAM® Träger bei den Brandversuchen lagen im Vergleich zu den Temperaturen, die bei der DELTABEAM® Bemessung zugrunde gelegt wurden, deutlich auf der sicheren Seite.

Gemäss den Messdaten für Durchbiegung und Durchbiegungsrate wurde die Tragfähigkeit während des 90-minütigen Brandversuchs aufrechterhalten, wodurch das Kriterium für die Tragfähigkeit *R* erfüllt wurde. Anhand der zahlreichen Temperaturmessungen im Inneren der Konstruktion lässt sich feststellen, dass die durchschnittlichen und maximalen Temperaturanstiege innerhalb der Grenzwerte lagen. Somit waren die Kriterien für die Isolierung *I* erfüllt. Auf Grundlage der Beobachtungen während des Brandversuchs, während der Demontage und während des Abbruchs erfüllte der DELTABEAM® Verbundträger die Kriterien für die Integrität *E*.

## DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei Stora Enso für die Bereitstellung der CLT-Plattenelemente für die Tests und die technische Unterstützung bei der Planung der Brandversuche. Peikko dankt auch Eurofins Expert Services Oy (Finnland) sehr für die Durchführung der Versuche.

## REFERENZEN

- [1] Peikko Gruppe: DELTABEAM® Slim-Floor Konstruktion im Holzbau – Technisches Handbuch, 2022.
- [2] SFS-EN1995-1-2 – Eurocode 5: Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Brüssel: CEN Europäisches Komitee für Normung, 2004.
- [3] SFS-EN 1168 G.3.5
- [4] SFS-EN 1992-1-1 – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Brüssel: CEN Europäisches Komitee für Normung, 2004.
- [5] Peikko Gruppe: DELTABEAM® HYBRID-HOLZDECKEN – LASTÜBERTRAGUNGSTESTS, 2022.
- [6] Stora Enso: Cross-laminated timber (CLT), 2022. <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt>
- [7] SFS-EN1994-1-2 – Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton. Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Brüssel: CEN Europäisches Komitee für Normung, 2004.
- [8] Richard McLain und Scott Breneman. (2019). Fire Design of Mass Timber Members. WoodWorks. [https://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Wood\\_Solution\\_Paper-Fire-Design-of-Mass-Timber-Members-WoodWorks-Apr-2019.pdf](https://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Wood_Solution_Paper-Fire-Design-of-Mass-Timber-Members-WoodWorks-Apr-2019.pdf)
- [9] Puuinfo: PALOTURVALLINEN PUUTALO Asuin- ja toimitilarakentaminen, 2021. [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf)
- [10] SUOMEN LIIMAPUUYHDISTYS RY ja PUUINFO OY: Liimapuukäsikirja osa 2, 2015. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-2.pdf>
- [11] Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada Second Edition 2022
- [12] Stora Enso: CLT Technical brochure, 2017. <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf?mode=brochure#page=24>
- [13] Peikko Gruppe: VERHALTEN VON DELTABEAM® CLT-DECKEN BEI VOM MENSCHEN VERURSACHTEN SCHWINGUNGEN, 2021.
- [14] Peikko Gruppe: DELTABEAM® Green – Verbessert den ökologischen Fussabdruck. [https://media.peikko.com/file/dl/i/3Ks4MA/pU8nKtc2hwLFq1RQFKd9Cw/PeikkoWhitePaper\\_DELTABEAMtolightenbuildingsenvironmentalf footprint\\_web.pdf](https://media.peikko.com/file/dl/i/3Ks4MA/pU8nKtc2hwLFq1RQFKd9Cw/PeikkoWhitePaper_DELTABEAMtolightenbuildingsenvironmentalf footprint_web.pdf)





## Schnell, sicher und nachhaltig planen und bauen

Peikko ist Hersteller von Verbindungstechnik und Verbundkonstruktionen für den Stahlbeton-, Betonfertigteil- und Verbundbau. Die innovativen Produktlösungen von Peikko gestalten Ihren Bauablauf effizienter.

[www.peikko.ch](http://www.peikko.ch)

