



HTC-P2P (PANEL- TO-PANEL): HILTI BSP ELEMENTE- VERBINDER

Technischer Leitfaden für
Verwendung und Bemessung

INHALTSVERZEICHNIS

1. HTC-P2P: Anwendungen und Produktbeschreibung	2
1.1 Hauptmerkmale und Verwendungszweck	2
1.2 Produktbeschreibung und Montageparameter	2
2. Bemessung	4
2.1 Strukturelle Leistung des HTC-P2P	4
2.2 Bemessungsempfehlungen	5
2.2.1 Statische und quasi-statische Lastbedingungen	6
2.2.2 Seismische Lastbedingungen	6
2.2.3 Brandbeanspruchung	7
2.3 Bemessungsbeispiele	8
2.3.1 Geometrische Daten	9
2.3.2 Statische Lastbedingungen	10
2.3.3 Seismische Lastbedingungen	11
2.3.4 Bedingungen für Brandbeanspruchung	12
2.4 Einführung in die Hilti HTC-P2P Bemessungssoftware	14
3. Allgemeine Empfehlungen	16
4. Referenzen	18

1. HTC-P2P: ANWENDUNGEN UND PRODUKTDESCHEIBUNG

1.1 Hauptmerkmale und Verwendungszweck

Der Hilti Timber Connector (HTC)-P2P ist eine innovative Verbindungslösung für Brettsperrholz (BSP, CLT), die speziell für den Massivholzbau entwickelt wurde. Der Verbinder dient der Ausrichtung und Befestigung von BSP-Elementen, zur Scheibenausbildung, um Deckensystemen die erforderliche Stabilität zu verleihen. Durch die Kombination von Zug- und Schertragfähigkeit ermöglicht der HTC-P2P den Verzicht auf herkömmliche Verbindungsmittel wie genagelte oder geschraubte Deckbretter oder Kreuzverschraubung mit Holzbauschrauben. Der Verbinder ist jedoch nicht zur Übertragung von Biegemomenten oder Scherlasten außerhalb der Ebene entwickelt.

Der HTC-P2P wurde gemäß europäischen Normen geprüft, qualifiziert und zertifiziert, nachgewiesen durch die Europäische Technische Bewertung (ETA) 24/1199. Der Verbinder ist für statische und seismische Anwendungen zugelassen und kann gemäß dem EOTA Technischen Bericht (TR) 085 bemessen werden. Letzterer folgt den Bemessungsgrundsätzen des Eurocode 5 (EN 1995-1-1).

Der Verbinder ist mit BSP-Elementen unterschiedlicher Stärke, Lagenaufbau, Elementstößen und gängigen Bauzeitenschutz Produkten kompatibel. Die Bemessung kann mithilfe der spezialisierten Hilti-Software durchgeführt werden. Darüber hinaus ist der HTC-P2P in CAD-Bibliotheken verfügbar, um eine durchgängige Planung bis zur Montage auf der Baustelle zu ermöglichen.

Mit dem HTC-P2P können BSP-Elemente in einem Schritt ausgerichtet und befestigt werden. In Verbindung mit dem Hilti SIW 6AT-22 Schlagschrauber und einem Übersetzungswerkzeug kann der Verbinder mit minimalem Kraftaufwand montiert werden, ohne Hammer oder zusätzlichen Balkenzug. Dies reduziert das Unfallrisiko auf der Baustelle. Der Verbinder ist zudem vollständig lösbar, was Anpassungen vor Ort erleichtert und die Kreislauffähigkeit im Bauwesen fördert.



Abb. 1.1 - HTC-P2P, die neueste Innovation von Hilti für BSP-Elementverbindungen.

1.2 Produktbeschreibung und Montageparameter

Der Hilti HTC-P2P besteht aus zwei schwalbenschwanzförmigen Keilen aus Buchenfurnierschichtholz in Kombination mit Stahlkomponenten (siehe Abb. 1.2). Die Holzkeile werden aus schichtverleimtem Buchenfurnierschichtholz hergestellt und entsprechen den Anforderungen gemäß EN 13986 [3] und EN 636 [4]. Die Stahlkomponenten bestehen aus einer M12-Unterlegscheibe nach DIN 1052, einer Sechskantschraube M12x100 (Stahlgüte 8.8) nach DIN 933 [5] sowie einer Hülse M12 aus AISI 1008.

Die Lieferung erfolgt vormontiert, sodass alle Komponenten des Verbinders bereits miteinander verbunden sind. Die ETA-24/1199 [1] ist nur unter der Voraussetzung gültig, dass der Verbinder und seine Einzelteile weder entfernt, ersetzt noch modifiziert wurden.

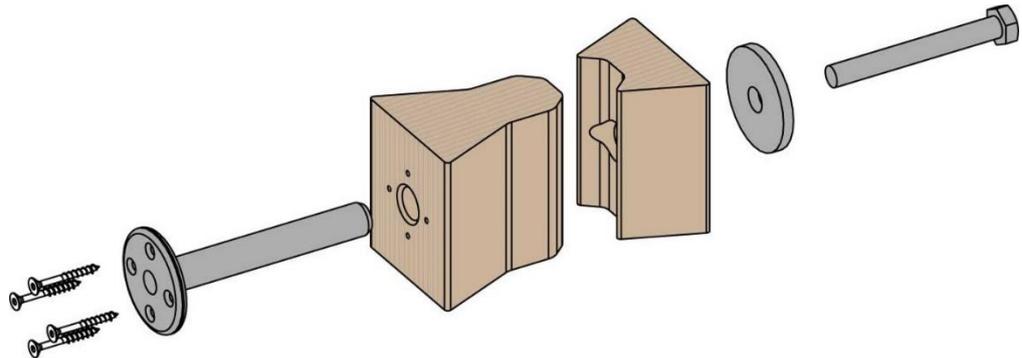
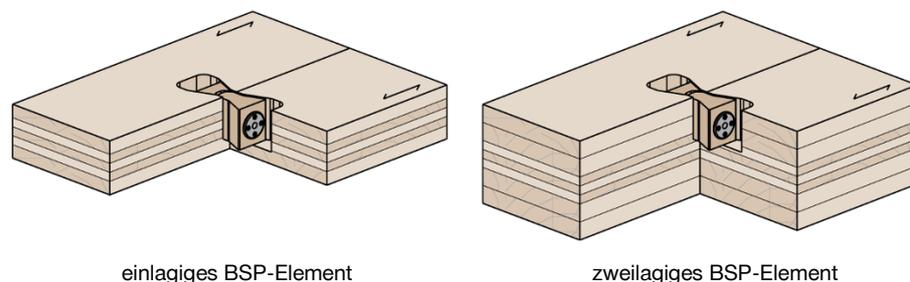


Abb. 1.2 – HTC-P2P, Explosionszeichnung des Produkts.

Für die Montage muss eine vordefinierte Aussparrung im BSP-Element im Abbund umgesetzt werden, beispielsweise durch CNC-Abundanlagen. Die Geometrie und Hauptabmessungen dieser Aussparrung sind in der ETA sowie im Produktdatenblatt detailliert beschrieben. Entsprechende CAD-Daten können in den gängigen Formaten (stp, ifc, dxf, pdf) über die Hilti-CAD Bibliothek (BIM/CAD Bibliothek) heruntergeladen werden.

Der HTC-P2P hat eine Bauhöhe von 90 mm. Es wird eine Ausfräsetiefe von mindestens 93 mm empfohlen, um eine bündige Montage zu gewährleisten. Tiefere Ausfräsungen sind möglich, dürfen jedoch 105 mm nicht überschreiten. Es ist nicht zulässig, dass der Verbinder über die Oberfläche des BSP-Elementes hinausragt.

Der Verbinder ist für BSP-Elemente mit einer Mindestdicke von 120 mm und mindestens drei querliegenden Lagen ausgelegt. Er ist sowohl für Einzel- als auch Doppeldecklagen geeignet (siehe Abb. 1.3). Die verwendeten Lamellen müssen eine Mindestfestigkeitsklasse von C16, idealerweise C24 gemäß EN 338 aufweisen [6].



einlagiges BSP-Element

zweilagiges BSP-Element

Abb. 1.3 – HTC-P2P, einlagige gegenüber zweilagigen BSP-Elementen.

Der HTC-P2P kann für verschiedene Elementstöße wie stumpfer Stoß, Überblattung sowie stumpfer Stoß mit Fremdfeder eingesetzt werden (siehe Abb. 1.4). Er ist für den Einsatz in Holzbauwerken unter den Nutzungsklassen 1 und 2 gemäß EN 1995-1-1 zugelassen. Die angestrebte Lebensdauer des Verbinders beträgt 50 Jahre gemäß ETA 24/1199 [7].

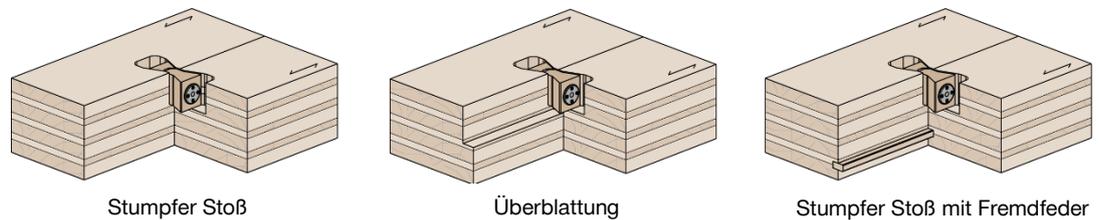


Abb. 1.4 – Beispiel für den Einsatz von HTC-P2P mit verschiedenen Fugengeometrien.

Die Wahl der BSP-Elementstärke, der BSP-Lamellenaufbau, der Abstände zu den Elementrändern sowie der Abstände zwischen den Verbindern sollte basierend auf den statischen Anforderungen der Anwendung erfolgen. Die Vorgaben aus der ETA-24/1199 sind dabei zu berücksichtigen, und die Konstruktion muss gemäß TR 085 erfolgen. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Montageparameter ist in Tabelle 1.1 dargestellt.

Tabelle 1.1 – Geometrische Montageparameter für HTC-P2P

Montageparameter	
Mindestabstand zum Elementrand (Zuglasten)	250 mm
Mindestabstand zum Elementrand (Scherlasten)	300 mm
Mindestabstand zwischen Verbindern (Zuglasten)	500 mm
Mindestabstand zwischen Verbindern (Scherlasten)	300 mm
Mindeststärke der BSP-Platte	120 mm

2. BEMESSUNG

2.1 Strukturelle Leistung des HTC-P2P

Die Leistung des HTC-P2P Verbinders wird von der Lastrichtung und der Anordnung der BSP-Elemente (Brettsper Holz, CLT) beeinflusst. Auch die Tiefe der Aussparung spielt eine wesentliche Rolle. Tatsächlich werden die charakteristischen Widerstände in Zug und Schub sowie die Steifigkeit des Verbinders in der ETA-24/1199 als Funktion des „effektiven“ Verhältnisses definiert (siehe Abb. 2.1):

$$\beta = \frac{\sum t_{p,i}}{d_e}$$

wobei:

- $t_{p,i}$ = die Dicke der i -ten Einzelschicht des BSP-Elementes darstellt, die parallel zur Lastrichtung orientiert und am Lastabtrag durch den Verbinder beteiligt ist.
- d_e = die Höhe des HTC-P2P darstellt.

Das Verhältnis β beschreibt die relative Positionierung des Verbinders, der Ausfräsungen und der BSP-Schichten. Diese Parameter beeinflussen die Leistung des Verbinders aufgrund der Variabilität der mechanischen Holzeigenschaften in Abhängigkeit von der Faserrichtung. Der Lastabtrag erfolgt primär in Faserrichtung. Daher hängt die Lastübertragung vom BSP-Element auf den Verbinder nur von der Dicke derjenigen Schichten ab, deren Fasern parallel zur Last ausgerichtet sind. Tatsächlich müssen für orthogonale Lastrichtungen unterschiedliche Werte des effektiven Verhältnisses bestimmt werden (nachfolgend als $\beta_{II,t}$ für Zuglasten und $\beta_{II,v}$ für Schublasten bezeichnet).

Es ist zu beachten, dass ähnliche Werte des Verhältnisses β mit unterschiedlichen BSP-Panels erreicht werden können, selbst wenn sie unterschiedliche Strukturen aufweisen oder von verschiedenen Herstellern produziert wurden. Dies bedeutet, dass unterschiedliche Schichtkonfigurationen und Dicken zu ähnlichen Leistungen führen können.

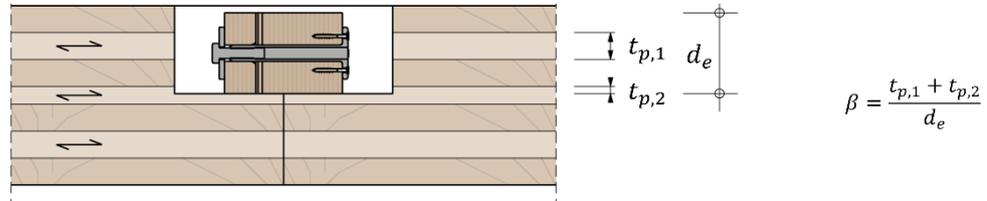


Abb. 2.1 – Querschnitt eines BSP-Panels und HTC-P2P zur Bestimmung des effektiven Verhältnisses des Verbinders.

Die Formeln zur Bestimmung des charakteristischen Widerstands und der Steifigkeit des Verbinders für Zug- und Schublasten sind in Tabelle 2.1 und Tabelle 2.2 zusammengefasst. Das vollständige technische Datenblatt des HTC-P2P ist in der ETA-24/1199 [1] zu finden. Es ist zu beachten, dass unterschiedliche Formeln für BSP-Elemente mit einer einzelnen Decklage und einer doppelten Decklage angegeben sind.

Tabelle 2.1 - Charakteristische Eigenschaften des HTC-P2P für Zuglasten

Wesentliche Eigenschaften (Zug)	Einheit	Einzelne Decklage	Doppelte Decklage
Minimales effektives Verhältnis $\beta_{II,t}$	-	0,22	0,14
Maximales effektives Verhältnis $\beta_{II,t}$	-	0,78	0,86
Charakteristischer Widerstand $R_{t,k}$	[kN]	39,3	$16,5 \beta_{II,t} + 21,1$
Steifigkeit (Schubmodul) $k_{ser,t}$	[kN/mm]	$-1,6 \beta_{II,t} + 7,4$	$-5,0 \beta_{II,t} + 8,7$

Tabelle 2.2 – HTC-P2P's Produkteigenschaften für Querbelastungen

Wesentliche Eigenschaften (Schub)	Einheit	Einzelne Decklage	Doppelte Decklage
Minimales effektives Verhältnis $\beta_{II,v}$	-	0,22	0,14
Maximales effektives Verhältnis $\beta_{II,v}$	-	0,78	0,86
Charakteristischer Widerstand $R_{v,k}$	[kN]	$30,7 \beta_{II,v} + 24,6$	$31,6 \beta_{II,v} + 21,0$
Steifigkeit (Schubmodul) $k_{ser,v}$	[kN/mm]	$5,4 \beta_{II,v} + 5,4$	$9,6 \beta_{II,v} + 3,7$

2.2 Bemessungsempfehlungen

Die Bemessung des HTC-P2P sollte gemäß EOTA TR085 – Bemessung von Punktverbindern – Schwalbenschwanzverbindungen aus Sperrholz für Brettsperrholz [2] erfolgen. Dieses Dokument gilt für Punktverbinder mit einer ETA gemäß EAD 130036-01-0603 [8]. Es deckt die Bemessung von Verbindern in Nutzungsklassen 1 und 2 gemäß EN1995-1-1 [7] ab und folgt den Bemessungsgrundsätzen der EN1995-1-1 sowie der prEN1995-1-2 [9] für den Brandschutz.

Allgemeine Regel: Im Grenzzustand der Tragfähigkeit und für alle Lastbedingungen (statisch, quasi-statisch und seismisch) muss jede Bemessungskraft am Verbinder F_d kleiner oder gleich der Bemessungswiderstand des Verbinders R_d sein:

$$F_d \leq R_d$$

2.2.1 Statische und quasi-statische Lastbedingungen

Für statische Lasten (Zug und Schub) wird der Bemessungswiderstand des Verbinders durch folgende Gleichung bestimmt:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

wobei:

R_k der charakteristische Widerstand gegen statische und quasi-statische Lasten des HTC-P2P ist. Dieser wird basierend auf den effektiven Verhältnissen $\beta_{II,t}$ oder $\beta_{II,v}$ (für Zug bzw. Schub) bestimmt, wie in der ETA-24/1199 sowie in Tabelle 2.1 und Tabelle 2.2 dieses Dokuments angegeben.

k_{mod} aus EN1995-1-1, Abschnitt 3.2, für Furnierschichtholz und Nutzungsklassen 1 und 2 gemäß der relevanten Klasse der Lasteinwirkungsdauer entnommen wird (siehe Tabelle 2.3).

$\gamma_M = 1,3$ der Teilsicherheitsbeiwert für die Materialeigenschaft ist, wie in EN1995-1-1, Abschnitt 2.4, für Furnierschichtholz angegeben.

Für kombinierte Zug- und Scherbelastungen (d.h. wenn Zug- und Scherkräfte gleichzeitig wirken) muss der Bemessungsnachweis für den HTC-P2P-Verbinder die folgende Bedingung erfüllen:

$$\left(\frac{F_{t,d}}{R_{t,d}} \right) + \left(\frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \right) \leq 1,0$$

wobei $F_{t,d}$ und $F_{v,d}$ die Bemessungswerte der Zug- bzw. Scherkraft sind und $R_{t,d}$ sowie $R_{v,d}$ die entsprechenden Bemessungswiderstände für Zug und Scherung darstellen.

Tabelle 2.3 – k_{mod} Werte für Furnierschichtholz gemäß der entsprechenden Lasteinwirkungsklasse (Nutzungsklassen 1 und 2)

Klasse der Lasteinwirkungsdauer (Furnierschichtholz, Nutzungsklassen 1 und 2)				
Ständig	Lang	Mittel	Kurz	Sehr kurz
0,6	0,7	0,8	0,9	1,1

2.2.2 Seismische Lastbedingungen

Die Bemessungstragfähigkeit des Verbinders für seismische Lasten wird ähnlich wie für statische Lasten bestimmt, unter Verwendung der folgenden Gleichung:

$$R_{Ed} = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

wobei:

R_k ist die charakteristische Tragfähigkeit für statische und quasi-statische Lasten des HTC-P2P-Verbinders. Sie wird basierend auf den effektiven Verhältnissen $\beta_{II,t}$ oder $\beta_{II,v}$ (jeweils für Zug oder Scherung) gemäß der ETA-24/1199 bestimmt und in Tabelle 2.1 sowie Tabelle 2.2 dieses Dokuments angegeben.

k_{mod} wird gemäß EN1995-1-1, Abschnitt 3.2, für Furnierschichtholz und die Nutzungsklassen 1 und 2 entsprechend den jeweiligen Klasse der Lasteinwirkungsdauer entnommen (siehe Tabelle 2.3 in diesem Dokument).

γ_M ist der Teilsicherheitsbeiwert für die Materialeigenschaft, wie in EN 1995-1-1, Abschnitt 2.4, für Furnierschichtholz angegeben. In Übereinstimmung mit EN 1998-1-1[10] Abschnitt 8.6(3).

- $\gamma_M = 1,3$ für Zuglasten, da der HTC-P2P für die Duktilitätsklasse L (DCL) zugelassen ist.
- $\gamma_M = 1,0$ für Scherlasten, da der HTC-P2P für die Duktilitätsklasse M (DCM) zugelassen ist.

Wie bei statischen und quasi-statischen Lasten muss für kombinierte Zug- und Scherlasten der Bemessungsnachweis für den HTC-P2P die folgende Bedingung erfüllen:

$$\left(\frac{F_{t,Ed}}{R_{t,Ed}}\right) + \left(\frac{F_{v,Ed}}{R_{v,Ed}}\right) \leq 1,0$$

wobei $F_{t,Ed}$ und $F_{v,Ed}$ die seismischen Zug- bzw. Scherlasten sind und $R_{t,Ed}$ und $R_{v,Ed}$ die entsprechenden seismischen Bemessungswiderstände für Zug und Scherung darstellen.

2.2.3 Brandbeanspruchung

Die Bemessungstragfähigkeit unter Brandbeanspruchung von unten folgt der Abbrandraten-Methode gemäß prEN 1995-1-2 [9] und den Anforderungen von prEN 1995-1-2, Abschnitt 10.4. Die Tragfähigkeit des Verbinders kann für eine genormte Brandbeanspruchung bis zu 120 Minuten (R120) nachgewiesen werden.

Position der Kohleschicht:

Es muss nachgewiesen werden, dass der verbleibende Restquerschnitt, der den Verbinder umgibt, nach der Brandbeanspruchungsdauer mindestens 20 mm dick ist. Dies bedeutet, dass bei einer Anwendung in Deckenelementen die Kohleschicht mindestens 20 mm unterhalb der Verbindungsfläche liegt. Der Begriff „Kohleschicht“ bezeichnet hier die Grenze zwischen der verkohlten Schicht und dem verbleibenden Querschnitt, die als 300 °C-Isotherme angenommen wird (Abbrandgrenze).

Die Position der Kohleschicht kann gemäß den Vorgaben der prEN 1995-1-2 bestimmt werden. Der Fortschritt der Kohleschicht wird anhand abwechselnder Phasen ermittelt, in denen die Verkohlung mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten erfolgt.

Im allgemeinsten Fall eines anfänglich ungeschützten CLT-Elements kann die Position der Kohleschicht unter Berücksichtigung der folgenden Abbrandphasen bestimmt werden:

Für die erste freiliegende Schicht des BSP-Elementes:

Eine normale Abbrandphase, während der die gesamte erste Schicht des CLT-Panels mit einer konstanten Abbrandrate β_1 verkohlt.

Für jede nachfolgende Schicht des BSP-Elementes, bis die gesamte Brandbeanspruchungsdauer erreicht ist:

- Eine *nachgelagerte Abbrandphase*, die durch eine erhöhte Abbrandrate β_2 , gekennzeichnet ist und über eine Dicke von 25 mm anhält.
- Eine *konsolidierte Abbrandphase*, während der die verbleibende Dicke des BSP-Elementes wieder mit der ursprünglichen, konstanten Abbrandrate β_1 verkohlt.

Allgemeiner beschreibt die prEN 1995-1-2, wie unterschiedliche Schutzmaßnahmen in der Bemessung berücksichtigt werden sollten, falls erforderlich.

Berechnung der Bemessungstragfähigkeit:

Die Bemessungstragfähigkeit des Verbinders unter Brandbeanspruchung wird mit der folgenden Gleichung bestimmt:

$$R_{d,fi} = k_{\theta} k_{mod} k_{fi} \frac{R_k}{\gamma_{M,fi}}$$

wobei:

R_k ist die charakteristische Tragfähigkeit für statische und quasi-statische Lasten des HTC-P2P-Verbinders. Sie wird basierend auf den effektiven Verhältnissen $\beta_{II,t}$ oder $\beta_{II,v}$ jeweils für Zug oder Schub) gemäß der ETA-24/1199 [1] bestimmt und in Tabelle 2.1 sowie Tabelle 2.2 dieses Dokuments angegeben.

k_θ ist der temperaturabhängige Reduktionsfaktor für die Festigkeit des Verbinders. Er wird mit **1,0 angesetzt** unter der Annahme, dass der verbleibende Querschnitt, der den Verbinder umgibt, mindestens 20 mm beträgt.

k_{mod} wird gemäß prEN1995-1-2, Abschnitt 4.5, mit **1,0 angenommen**.

k_{fi} ist der Modifikationsfaktor für die Festigkeitseigenschaft in der Brandsituation. Er wird für CLT /BSH mit **1,15 angenommen**, wie in prEN 1995-1-2, Abschnitt 4.5, angegeben.

$\gamma_{M,fi}$ ist der Teilsicherheitsbeiwert für die relevante mechanische Materialeigenschaft in der Brandsituation. Er wird mit **1,0 angesetzt**, sofern im nationalen Anhang nichts anderes spezifiziert ist (gemäß EN 1995-1-2, Abschnitt 4.5).

Für kombinierte Zug- und Scherlasten muss der Bemessungsnachweis für den HTC-P2P die folgende Bedingung erfüllen:

$$\left(\frac{F_{t,d,fi}}{R_{t,d,fi}} \right) + \left(\frac{F_{v,d,fi}}{R_{v,d,fi}} \right) \leq 1.0$$

Wobei $F_{t,d,fi}$ und $F_{v,d,fi}$ die Bemessungswerte der Zug- bzw. Scherkraft unter Brandbeanspruchung sind und $R_{t,d,fi}$ und $R_{v,d,fi}$ die entsprechenden Bemessungswiderstände für Zug und Scherung in der Brandsituation darstellen.

2.3 Bemessungsbeispiele

Das folgende Bemessungsbeispiel wird vorgestellt, um den in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Bemessungsprozess weiter zu verdeutlichen. Zu illustrativen Zwecken wird die Bemessung eines einzelnen Verbinders (siehe Abb. 2.2) betrachtet, der statischen Lasten, seismischen Lasten ausgesetzt ist und einer Brandbeanspruchung von 90 Minuten (R90) standhalten muss.

Der Ansatz kann leicht auf andere Fälle mit mehreren Verbindern erweitert werden.

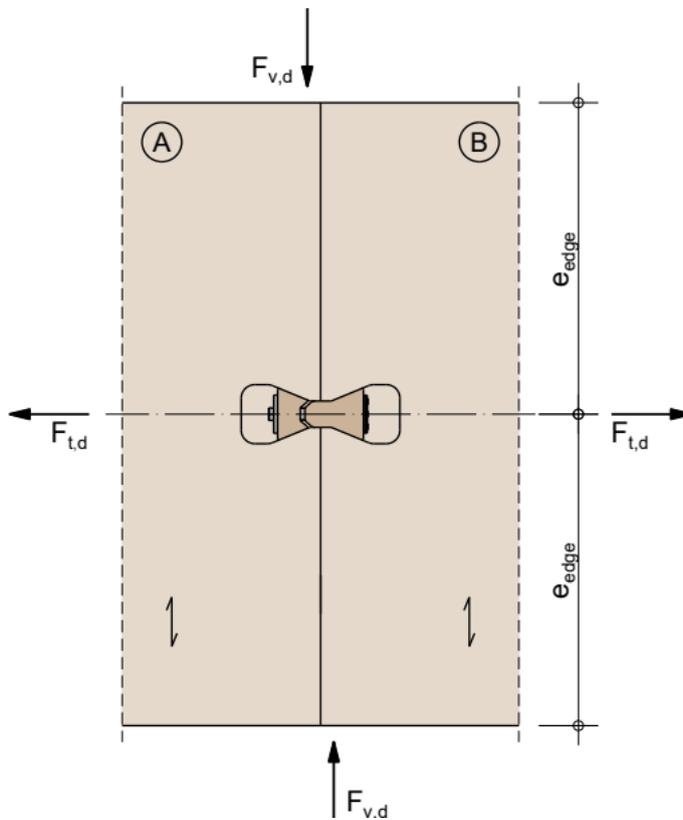


Abb. 2.2 – Konstruktionsbeispiel: Draufsicht auf BSP-Elementen und Verbinder.

Im Folgenden wird angenommen, dass die verbundenen BSP-Paneele die gleiche Struktur aufweisen (d. h. gleiche Stärke, gleicher Lagenaufbau mit gleicher Ausrichtung). Falls unterschiedliche BSP-Paneele (oder unterschiedliche Ausrichtungen) berücksichtigt werden, muss der Nachweis für jedes Paneel separat geführt werden.

2.3.1 Geometrische Daten

Stärke der BSP-Elemente:	200 mm
Anzahl der Lagen in jedem BSP-Element: 5	
Lagenaufbau (Schichtdicken):	40-40-40-40-40 mm, einzelne Deckschicht
Abstand zur Plattenkante (e_{edge}):	500 mm
Ausschnitttiefe:	100 mm
Verbinderhöhe (d_{conn}):	90 mm

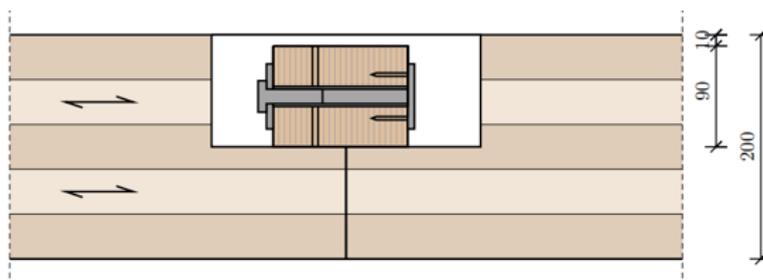
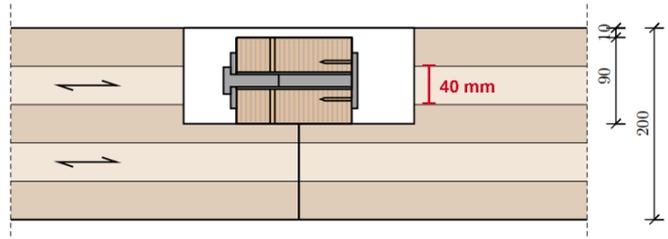


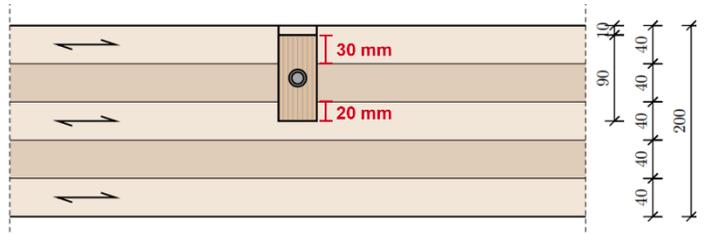
Abb. 2.3 – Konstruktionsbeispiel: Querschnitt der BSP-Elemente und des Verbinders

Basierend auf den gegebenen geometrischen Daten der BSP-Elemente und des Verbinders können die effektiven Verhältnisse $\beta_{II,t}$ und $\beta_{II,v}$ die sich auf die Richtungen parallel zu den Zug- bzw. Scherlasten beziehen, wie folgt bestimmt werden:

$$\beta_{II,t} = \frac{\sum t_p}{d_{conn}} = \frac{40}{90} = 0,44$$



$$\beta_{II,v} = \frac{\sum t_p}{d_{conn}} = \frac{30 + 20}{90} = 0,56$$



2.3.2 Statische Lastbedingungen

Es wird angenommen, dass der Verbinder den folgenden statischen (oder quasi-statischen) Lasten gleichzeitig ausgesetzt ist:

Statische Zuglast:	$F_{t,d} = 5,0 \text{ kN}$
Statische Scherlast:	$F_{v,d} = 20,0 \text{ kN}$
Lastdauer: Kurz:	kurz, $k_{mod} = 0,9$

Die Nachweise für Zug, Scherung und kombinierte Lasten erfolgen gemäß den in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Schritten.

Nachweis der Zuglast:

Die charakteristische Tragfähigkeit für Zuglasten ist in der ETA-24/1199 [1] als Funktion des effektiven Verhältnisses $\beta_{II,t}$ definiert. Für eine Konfiguration mit einer einlagigen oberen Schicht ist die charakteristische Zugtragfähigkeit konstant (siehe Tabelle 2.1):

$$R_{t,k} = 39,3 \text{ kN}$$

Die Bemessungstragfähigkeit für Zug kann bestimmt werden nach:

$$R_{t,d} = k_{mod} \frac{R_{t,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{39,3}{1,3} = 27,21 \text{ kN}$$

Schließlich ergibt der Nachweis für die Zuglast:

$$\frac{F_{t,d}}{R_{t,d}} = \frac{5,0}{27,21} = 0,18 \leq 1,0 \quad (\text{Nachweis erfüllt})$$

Überprüfung der Scherlast:

Die charakteristische Tragfähigkeit für Scherlasten ist in der ETA-24/1199 [1] als Funktion des effektiven Verhältnisses $\beta_{II,v}$ definiert. Für eine Konfiguration mit einer einlagigen oberen Schicht ergibt sich die Tragfähigkeit aus folgender linearer Funktion (siehe Tabelle 2.2):

$$R_{v,k} = 30,7 \beta_{II,v} + 24,6 = 30,7 \times 0,56 + 24,6 = 41,66 \text{ kN}$$

Die Bemessungstragfähigkeit für Scherlast kann nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$R_{v,d} = k_{mod} \frac{R_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{41,66}{1,3} = 28,64 \text{ kN}$$

Schließlich ergibt der Nachweis für die Scherlast:

$$\frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} = \frac{20,0}{28,64} = 0,69 \leq 1,0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

Nachweis für kombinierte Zug- und Scherlasten:

Kombinierte Zug- und Scherlasten müssen unter Berücksichtigung der linearen Kombination der Ausnutzungen des Verbinders in Zug und Scherung überprüft werden:

$$\left(\frac{F_{t,d}}{R_{t,d}} \right) + \left(\frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \right) = 0,18 + 0,69 = 0,88 \leq 1,0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

2.3.3 Seismische Lastbedingungen

In diesem Abschnitt wird angenommen, dass der Verbinder den folgenden seismischen Lasten ausgesetzt ist:

Seismische Zuglast:	$F_{t,Ed} = 10,0 \text{ kN}$
Seismische Scherlast:	$F_{v,Ed} = 25,0 \text{ kN}$
Lastdauer (statisch):	sehr kurz, $k_{mod} = 1,1$

Die Nachweise für Zug, Scherung und kombinierte Lasten erfolgen gemäß den in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Schritten.

Nachweis der Zuglast:

Die charakteristische Tragfähigkeit für Zuglasten ist in der ETA-24/1199 [1] als Funktion des effektiven Verhältnisses $\beta_{II,t}$ definiert. Für eine Konfiguration mit einer einlagigen oberen Schicht ist die charakteristische Zugtragfähigkeit konstant (siehe Tabelle 2.1):

$$R_{t,k} = 39,3 \text{ kN}$$

Da der Verbinder für die Duktilitätsklasse DCL in Zug (mit $\gamma_M = 1,3$) zugelassen ist, kann die Bemessungstragfähigkeit für Zug nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$R_{t,Ed} = k_{mod} \frac{R_{t,k}}{\gamma_M} = 1,1 \times \frac{39,3}{1,3} = 33,25 \text{ kN}$$

Schließlich ergibt der Nachweis für die Zuglast:

$$\frac{F_{t,Ed}}{R_{t,Ed}} = \frac{10.0}{33.25} = 0.30 \leq 1.0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

Nachweis der Scherlast:

Die charakteristische Tragfähigkeit für Scherlasten ist in der ETA-24/1199 als Funktion des effektiven Verhältnisses $\beta_{II,v}$ definiert. Für eine Konfiguration mit einer einlagigen oberen Schicht ergibt sich die Tragfähigkeit aus folgender linearer Funktion (siehe Tabelle 2.2):

$$R_{v,k} = 30.7 \beta_{II,v} + 24.6 = 30.7 \times 0.56 + 24.6 = 41.79 \text{ kN}$$

Die Bemessungstragfähigkeit für Scherlast kann nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$R_{v,Ed} = k_{mod} \frac{R_{v,k}}{\gamma_M} = 1.1 \times \frac{41.79}{1.0} = 45.97 \text{ kN}$$

Schließlich ergibt der Nachweis für die Scherlast:

$$\frac{F_{v,Ed}}{R_{v,Ed}} = \frac{25.0}{45.97} = 0.54 \leq 1.0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

Nachweis für kombinierte Zug- und Scherlasten:

Kombinierte Zug- und Scherlasten müssen unter Berücksichtigung der linearen Kombination der Ausnutzung des Verbinders in Zug und Scherung überprüft werden:

$$\left(\frac{F_{t,d}}{R_{t,d}} \right) + \left(\frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \right) = 0.30 + 0.54 = 0.84 \leq 1.0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

2.3.4 Bedingungen für Brandbeanspruchung

In diesem Abschnitt wird angenommen, dass der Verbinder für eine Brandbeanspruchung von bis zu 90 Minuten ausgelegt werden muss und den folgenden Brandlastbedingungen unterliegt:

Zuglast unter Brandbeanspruchung:	$F_{t,Ed} = 3,5 \text{ kN}$
Scherlast unter Brandbeanspruchung:	$F_{v,Ed} = 14,0 \text{ kN}$
Brandbeanspruchungsdauer:	R90
Abbrandraten:	$\beta_1 = 0.65 \text{ mm/min}, \beta_2 = 1.30 \text{ mm/min}$

Die Nachweise zur Position der Kohleschicht (mindestens 20 mm unterhalb der Verbindungsfläche) sowie für Zug-, Scher- und kombinierte Lasten erfolgen gemäß den in Abschnitt 0 beschriebenen Schritten.

Position der Kohleschicht:

In diesem Beispiel wird die Position der Kohleschicht unter Berücksichtigung der folgenden drei Abbrandphasen bestimmt (siehe Abb. 2.4).

1) In der ersten Abbrandphase verkohlt die erste Schicht des BSP-Paneels vollständig mit der konstanten Abbrandrate β_1 . Da die Schicht 40 mm dick ist, ergibt sich die Dauer dieser Phase von $t_{f,1}$:

$$t_{f,1} = \frac{40}{\beta_1} = \frac{40}{0.65} = 61.54 \text{ min}$$

Nach der ersten Abbrandphase verbleibt eine restliche Zeit von $90 - 61,54 = 28,46 \text{ min}$.

2) In der zweiten Abbrandphase schreitet die Kohleschicht mit der erhöhten Abbrandrate β_2 über eine Dicke von 25 mm voran. Die Dauer dieser Phase beträgt $t_{fi,2}$ die wie folgt bestimmt werden:

$$t_{fi,2} = \frac{25}{\beta_2} = \frac{25}{1.30} = 19.23 \text{ min}$$

Nach der zweiten Phase verbleibt eine restliche Zeit von: $28,46 - 19,23 = 9,23 \text{ min}$.

3) In der dritten Abbrandphase schreitet die Kohlenstofflinie erneut mit der konstanten Abbrandrate β_1 durch die verbleibenden 15 mm der zweiten Schicht voran. In den verbleibenden 9.23 Minuten wird jedoch nur ein Teil dieser Schicht verkohlt. Tatsächlich ist die Zeitdauer der Brandbeanspruchung von 90 Minuten erreicht, nachdem die Kohleschicht nur um 6 mm vorgerückt ist:

$$t_{fi,3} = \frac{6.0}{\beta_1} = \frac{6.0}{0.65} = 9.23 \text{ min}$$

Die gesamte Abbrandzeit beträgt:

$$t_{fi} = \sum t_{fi,i} = 61.54 + 19.23 + 9.23 = 90 \text{ min}$$

Basierend auf den obigen Berechnungen kann die Position der Kohleschicht unterhalb des Verbinders, d , als Differenz zwischen der gesamten BSP-Elementstärke, der Einbettungstiefe des Verbinders und der Gesamtdicke der verkohlenen Schicht bestimmt werden:

$$d = 200 - 100 - (40 + 25 + 6) = 29 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm} \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

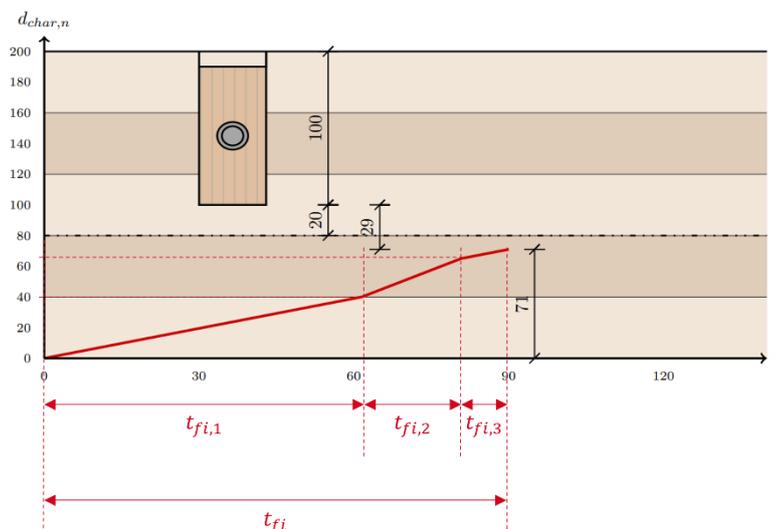


Abb. 2.4 – Bemessungsbeispiel: Berechnung der Position der Kohleschicht.

Nachweis der Zuglast:

Die charakteristische Tragfähigkeit für Zuglasten ist in der ETA-24/1199 als Funktion des effektiven Verhältnisses $\beta_{II,t}$ definiert. Für eine Konfiguration mit einer einlagigen oberen Schicht ist die charakteristische Zugtragfähigkeit konstant (siehe Tabelle 2.1):

$$R_{t,k} = 39.3 \text{ kN}$$

Die Bemessungstragfähigkeit für Zuglast kann gemäß folgender Gleichung bestimmt werden:

$$R_{t,d,fi} = k_{\theta} k_{mod} k_{fi} \frac{R_{t,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1.0 \times 1.0 \times 1.15 \times \frac{39.3}{1.0} = 45.19 \text{ kN}$$

Schließlich ergibt der Nachweis für die Zuglast:

$$\frac{F_{t,d,fi}}{R_{t,d,fi}} = \frac{3.5}{45.19} = 0.08 \leq 1.0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

Nachweis der Scherlast:

Die charakteristische Tragfähigkeit für Scherlasten ist in der ETA-24/1199 als Funktion des effektiven Verhältnisses $\beta_{II,v}$ definiert. Für eine Konfiguration mit einer einlagigen oberen Schicht ergibt sich die Tragfähigkeit aus folgender linearer Funktion (siehe Tabelle 2.2):

$$R_{v,k} = 30.7 \beta_{II,v} + 24.6 = 30.7 \times 0.56 + 24.6 = 41.66 \text{ kN}$$

Der Bemessungswiderstand auf Querkraft kann folgendermaßen bestimmt werden:

$$R_{v,Ed} = k_{\theta} k_{mod} k_{fi} \frac{R_{v,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1.0 \times 1.0 \times 1.15 \times \frac{41.66}{1.0} = 47.90 \text{ kN}$$

Schließlich führt die Überprüfung im Hinblick auf die Querbelastung zu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{R_{v,Ed}} = \frac{14.0}{47.90} = 0.29 \leq 1.0 \leq 1.0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

Nachweis für kombinierte Zug- und Scherlasten:

Kombinierte Zug- und Scherlasten müssen unter Berücksichtigung der linearen Kombination der Ausnutzung des Verbinders in Zug und Scherung überprüft werden:

$$\left(\frac{F_{t,d}}{R_{t,d}} \right) + \left(\frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \right) = 0.08 + 0.29 = 0.37 \leq 1.0 \text{ (Nachweis erfüllt)}$$

2.4 Einführung in die Hilti HTC-P2P Bemessungssoftware

Um die Bemessung des HTC-P2P Verbinders zu optimieren und gleichzeitig die Einhaltung der neuesten internationalen Normen und Standards wie EOTA TR 085 und ETA-24/1199 sicherzustellen, steht eine frei zugängliche, cloudbasierte Hilti-Bemessungssoftware zur Verfügung.

Das Bemessungsmodul bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche mit detaillierten Zeichnungen und dreidimensionalen Visualisierungen, die den Bemessungsprozess intuitiv gestalten. Es minimiert den erforderlichen Eingabeaufwand, während es gleichzeitig eine hohe Flexibilität bei der Auslegung des Verbinders ermöglicht. Als cloudbasierte Lösung ist es über jeden Webbrowser auf PC, Mac, Tablet oder Smartphone zugänglich – ohne Installation oder Updates.

Das Bemessungsmodul unterstützt verschiedene Lastszenarien, darunter statische, quasi-statische, seismische und Brandbemessung. Zudem wird ein umfassender Bemessungsbericht erstellt, der sich auf die modernste Bemessungsmethodik sowie die relevanten Zulassungsdokumente stützt. Egal, ob es sich um ein kleines oder großes Projekt handelt – dieses Tool hilft, optimale Ergebnisse in kürzester Zeit zu erzielen.

Um den Einstieg zu erleichtern, wird nachfolgend ein vereinfachter Bemessungsablauf vorgestellt, der neuen oder unerfahrenen Nutzern einen Überblick über die Software und deren wichtigste Eingaben gibt.

1. **Hilti P2P Bemessungsmodul auswählen:** Eine editierbare Oberfläche öffnet sich, die in mehrere Abschnitte unterteilt ist und Sie durch den gesamten Bemessungsprozess führt.
2. **Projektverwaltung:** Erstellen Sie ein neues Projekt oder greifen Sie auf ein bestehendes zu. Für jedes Projekt können mehrere „Positionen“ von Verbindern definiert werden, wobei jede Position einen separaten Bemessungsfall darstellt. Diese Funktion ermöglicht das Speichern mehrerer Bemessungskonfigurationen innerhalb eines Projekts. Projekte und Positionen können über die Hauptoberfläche der Projektverwaltung abgerufen werden.
3. **Verbindungstyp:** Passen Sie die Konfiguration der BSP-Elemente an, indem Sie die Orientierung der Lamellen definieren, gleiche oder unterschiedliche BSP-Elemente auswählen und die Anforderungen an die Brandbeanspruchung festlegen.
4. **Material & Geometrie:** Definieren Sie die Nutzungsklasse gemäß EN 1995-1-1. Geben Sie die Struktur der BSP-Elemente im Detail an. Bestimmen Sie Anzahl und Position der Verbinder. Für die BSP-Elemente können Anzahl, Anordnung und Dicke der Schichten entweder durch Auswahl eines vordefinierten Elementes aus einer Bibliothek oder durch Eingabe einer individuellen Konfiguration festgelegt werden. Die Position der Verbinder wird durch folgende Parameter bestimmt: Anzahl der Verbinder, Ausschnittstiefe, Abstand zur Plattenkante und Abstand zwischen den Verbindern.
5. **Lasten:** Geben Sie die Größe der einwirkenden Lasten (statische, seismische und Brandlasten) ein und definieren Sie die Klasse der Lasteinwirkungsdauer.
6. **Bemessung und Bericht:** Dieser Abschnitt zeigt die wichtigsten Bemessungsergebnisse an und visualisiert die Nachweise für die einzelnen Versagensmodi. Zudem kann ein umfassender Bemessungsbericht generiert werden, der alle Berechnungen und Nachweise enthält, die von der Software durchgeführt wurden. Der Bericht wird im PDF-Format erstellt und kann einfach exportiert und gespeichert werden.

Bemerkungen

Sämtliche in der Software enthaltenen Informationen und Daten beziehen sich ausschließlich auf die Verwendung von Hilti-Produkten und basieren auf den Grundsätzen, Formeln und Sicherheitsvorschriften gemäß den technischen Richtlinien von Hilti sowie den Betriebs-, Montage- und Installationsanweisungen, die vom Benutzer strikt eingehalten werden müssen. Die Ergebnisse der mit der Software durchgeführten Berechnungen beruhen im Wesentlichen auf den von Ihnen eingegebenen Daten. Daher tragen Sie die alleinige Verantwortung für die Fehlerfreiheit, Vollständigkeit und Relevanz der von Ihnen eingegebenen Daten.

Tabelle 2.4 – Hilti Planungssoftware für HTC-P2P – Hauptschritte der Bemessung

Schritt 1 – Wählen Sie das Hilti P2P-Bemessungsmodul aus

Schritt 2 – Projektverwaltung

Schritt 3 – Verbindungstyp

Schritt 4 – Material & Geometrie

Schritt 5 – Lasten

Schritt 6 – Bemessung und Bericht

3. ALLGEMEINE EMPFEHLUNGEN

Ausrichtung der Platten. Der HTC-P2P Verbinder ermöglicht die Ausrichtung von BSP-Platten, indem er diese während der Installation zusammenzieht. Vor der Montage des Verbinders ist sicherzustellen, dass die Platten gemäß der HTC-P2P Bedienungsanleitung mit einem Spalt von weniger als 20 mm platziert werden. Eine Fehlausrichtung von bis zu 5 mm entlang der Fuge ist zulässig. Der Verbinder unterstützt jedoch nicht die Ausrichtung der Elemente außerhalb der Plattenebene (z. B. vertikale Ausrichtung von BSP-Decken); dies sollte durch herkömmliche Methoden wie Unterlegen oder Verschrauben erfolgen.

BSP-Plattenstöße. Der HTC-P2P-Verbinder kann mit verschiedenen Stoßgeometrien verwendet werden, sofern die Überlappung zwischen den Stößen nicht die Geometrie der Aussparung

beeinträchtigt. Insbesondere sollte die Überlappung in einer Ebene außerhalb der Aussparungstiefe erfolgen. Unter diesen Bedingungen bleibt die Leistung des Verbinders unabhängig von der Stoßkonfiguration erhalten. Typische Anwendungen mit unterschiedlichen Stoßkonfigurationen für den HTC-P2P-Verbinder sind dargestellt in Abb. 1.4.

Wasser- und Feuchtigkeitsmanagement. Verbinder sollten unter Umweltbedingungen gelagert und verwendet werden, die den Feuchtigkeitsanforderungen gemäß EN 1995-1-1 für Nutzungsklassen 1 und 2 entsprechen. Lagern Sie die Verbinder an einem trockenen Ort (z. B. in Innenräumen) und vermeiden Sie den Kontakt mit stehendem Wasser oder Regen, selbst wenn sie sich in ihrer Originalverpackung befinden.

Vor der Installation ist sicherzustellen, dass die Aussparung frei von Wasser, Staub und Holzspänen ist. Schützen Sie die Aussparung während des Transports der CLT-Platten und bis zur Installation des Verbinders durch den Einsatz von Abdichtungsmembranen. Diese Membranen müssen vor dem Einsetzen des Verbinders vollständig aus der Aussparung entfernt werden (z. B. durch Ausschneiden entlang des Aussparungsprofils).

Bei der Installation sollte der Verbinder eine Holzfeuchte von unter 18 % aufweisen. Falls der Verbinder auf der Baustelle Wasser aufnimmt (bis zu 60 Minuten), kann eine Quellung der Verbinderbreite um bis zu etwa 1,0 mm beobachtet werden. Dies ist mit der Geometrie der Aussparung kompatibel und sollte während der Installation keine Probleme verursachen. Nach der Installation ist der Verbinder vor Feuchtigkeit und stehendem Wasser zu schützen, indem er mit einer wasserdichten Membran abgedeckt wird. Falls der Verbinder nass wird, sollte er getrocknet werden, bis die Holzfeuchte unter 18 % fällt, bevor er abgedeckt wird. Diese Maßnahme hilft, Schimmelbildung während der Nutzungsdauer des Verbinders zu verhindern.

Feuchte-/Trocknungszyklen. Feuchte-/Trocknungszyklen, die zu Quellung und Schrumpfung des Verbinders führen, beeinträchtigen seine Leistung nicht. Die Leistungsbewertung des Verbinders erfolgte ohne Vorspannung, sodass keine Gefahr besteht, dass sich Teile durch Quellung oder Schrumpfung der Keile lockern. Die Steifigkeit des Verbinders kann vorübergehend ansteigen, wenn er nach der Installation feucht wird. Dies resultiert aus einer zusätzlichen Vorspannung zwischen dem Verbinder und den BSP-Platten. Mögliche Verluste der Vorspannung während der Nutzungsdauer des Verbinders wurden bereits in der Leistungsbewertung berücksichtigt, die die Grundlage für die ETA-24/1199 bildet.

Lösbarkeit und Wiederverwendbarkeit. Der Verbinder ist vollständig lösbar, indem der Schlagschrauber SIW 6AT-22 im Rückwärtsmodus zusammen mit dem Übersetzungswerkzeug verwendet wird. Diese Funktion ermöglicht die vollständige Entfernung des Verbinders oder Anpassungen während der Erstinstallation auf der Baustelle. Der Verbinder ist weder für die Wiederverwendung in derselben noch in einer anderen Konstruktion qualifiziert oder zugelassen.

Luftdichtheit und Rauchdichtigkeit. Der HTC-P2P-Verbinder beeinflusst weder die Luftdichtheit noch die Rauchdichtigkeit der Verbindung. Er unterstützt die Ausrichtung der BSP-Platten während der Installation. Der Verbinder ist mit herkömmlichen Methoden zur Sicherstellung der Luft- und Rauchdichtigkeit von BSP-Plattenstößen kompatibel, wie z. B. durch die Wahl geeigneter Stoßgeometrien (z. B. durchgehende Nut-Feder-Verbindungen) oder das Aufbringen von Schutzklebeband über dem Plattenstoß. Die Auslegung der Luft- und Rauchdichtigkeit des Stoßes kann gemäß bestehenden Richtlinien für BSP-Plattenverbindungen erfolgen, ohne dass besondere Maßnahmen für den HTC-P2P erforderlich sind.

4. REFERENZEN

- [1] ETA-24/1199: Timber Connector HTC-P2P, Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) Austrian Institute of Construction Engineering, February 2025.
- [2] EOTA TR 085: Design of point connectors – dovetails made of plywood for cross laminated timber, Brussels: EOTA, January 2025.
- [3] EN 13986+A1:2015-04 Wood-based panels for use in construction - Characteristics, evaluation of conformity and marking
- [4] DIN EN 636:2015-05 Plywood – Specifications; German version EN 636:2012+A1:2015, DIN-Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) Timber and Furniture Standards Committee
- [5] DIN 933 M1.6 to M25 hexagon head screws threaded up to the head, DIN, Deutsches Institut für Normung, 1987.
- [6] DIN EN 338:2016-07 Structural timber - Strength classes; German version EN 338:2016, CEN/TC 124 Timber structures
- [7] EN1995-1-1:2004: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for building, Brussels: CEN, 2004.
- [8] EOTA EAD 130036-01-0603: Point connector – Dovetail made of plywood for cross laminated timber, Brussels:EOTA, January 2025.
- [9] prEN1995-1-2:2023: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General - Structural fire design, Brussels: CEN, 2023.
- [10] EN1998-1-1:2024: Eurocode 8: Design of structure for earthquake resistance – Part 1-1: General rules and seismic action, Brussels: CEN, 2024.



Hilti Aktiengesellschaft
9494 Schaan, Liechtenstein
T +423 234 2965

www.facebook.com/hiltigroup
www.hilti.group