



HILTI HOLZVERBINDER (HCW)

Schnelleres und effizienteres System
zur Montage von vorgefertigten
Holzkonstruktionen auf Beton



Die Autoren: Dr. Philipp Grosser, Arne Echterbruch und Markus Reimann

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	2
2. HILTI HOLZVERBINDER (HCW)	2
2.1 Anwendungen	4
3. BEMESSUNG EINER HOLZ-BETON-VERBINDUNG MIT DEM HILTI HOLZVERBINDER HCW	5
3.1 Nachweis des Holzbauteils und der Verbindung im Holzbauteil	6
3.2 Nachweis des Dübelsystems im Betonbauteil	6
4. ABSTANDSMONTAGE	7
4.1 Abstandsmontage nach EN 1992-4	7
4.2 Verbesserter Bemessungsansatz in Anlehnung an EN 1992-4	8
4.3 Experimentelle Untersuchungen	9
5. BEMESSUNGSSOFTWARE	11
6. BEMESSUNGSBEISPIEL	12
7. ZUSAMMENFASSUNG	19
8. REFERENZEN	20

1. EINLEITUNG

Keine andere Herausforderung beschäftigt die Bauindustrie so sehr wie die Notwendigkeit, die Effizienz zu steigern. Produktiver werden, mehr Sicherheit bieten und gleichzeitig nachhaltiger Bauen sind aktuelle Themen. Eine Antwort auf diese Herausforderungen ist die Vorfertigung von Bauteilen, die in anderen Industrien längst zum Standard gehört.

Das Konzept der Vorfertigung oder Off-Site-Produktion ist im Holzbau vorherrschend, siehe Abb. 1.1. Optimierte Prozesse bieten erhebliche Effizienzvorteile. Ein wichtiger Aspekt ist, wie diese Effizienz und Präzision auf der Baustelle umgesetzt werden kann. Um eine schnelle und einfache Verbindung zwischen zwei Holzelementen oder einem Holzelement und einem Betonbauteil (z.B. Fundament) sowohl in der eigenen Vorfertigung als auch auf der Baustelle zu ermöglichen, hat Hilti einen speziellen Holzverbinder entwickelt, der in Kapitel 2 näher erläutert wird.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf den Anschluss der Holzelemente an das Betonbauteil, erläutert die Herausforderungen bei der Bemessung und gibt Hinweise zur Gestaltung des Anschlussdetails. Die Nachweise für die relevanten Versagensarten im Holzbauteil und im Betonbauteil werden in Abschnitt 3 behandelt. Änderungen in der Nachweisführung sind erforderlich, um den Abstand zwischen Holzbauteil und Betonbauteil (Abstandsmontage) zu berücksichtigen, der zu einem Kippmoment führt. Aus diesem Grund wurde ein neuer Bemessungsansatz entwickelt und durch experimentelle Untersuchungen verifiziert, der in Abschnitt 4 erläutert wird. In den Abschnitten 5 und 6 wird die Umsetzung des Bemessungsansatzes in unserem Softwaremodul beschrieben und durch ein Berechnungsbeispiel ergänzt.



Abb. 1.1: Frühzeitige und integrierte Planung in Verbindung mit digitalen Prozessen zur Beschleunigung des Wohnungsbaus

2. HILTI HOLZVERBINDER (HCW)

Hilti bietet einen neuen Holzverbinder HCW zur schnelleren und effizienteren Montage von vorgefertigten Holzelementen an, der über eine Europäische Technische Bewertung (ETA-21/0357 [1]) gemäß EAD 130186-00-0603 [2] verfügt. Der Holzverbinder wird in zwei verschiedenen Ausführungen (HCW und HCW-L) angeboten. Mit dem Holzverbinder HCW können sowohl Zug- als auch Querkräfte vom Holzbauteil über den Verbinder in den Verankerungsgrund eingeleitet werden, während mit dem HCW-L nur Zugkräfte in den Verankerungsgrund eingeleitet werden können (realisiert durch Langlöcher in der Schwelle und die glatte Außenseite des Verbinders) (siehe Abb. 2.1).

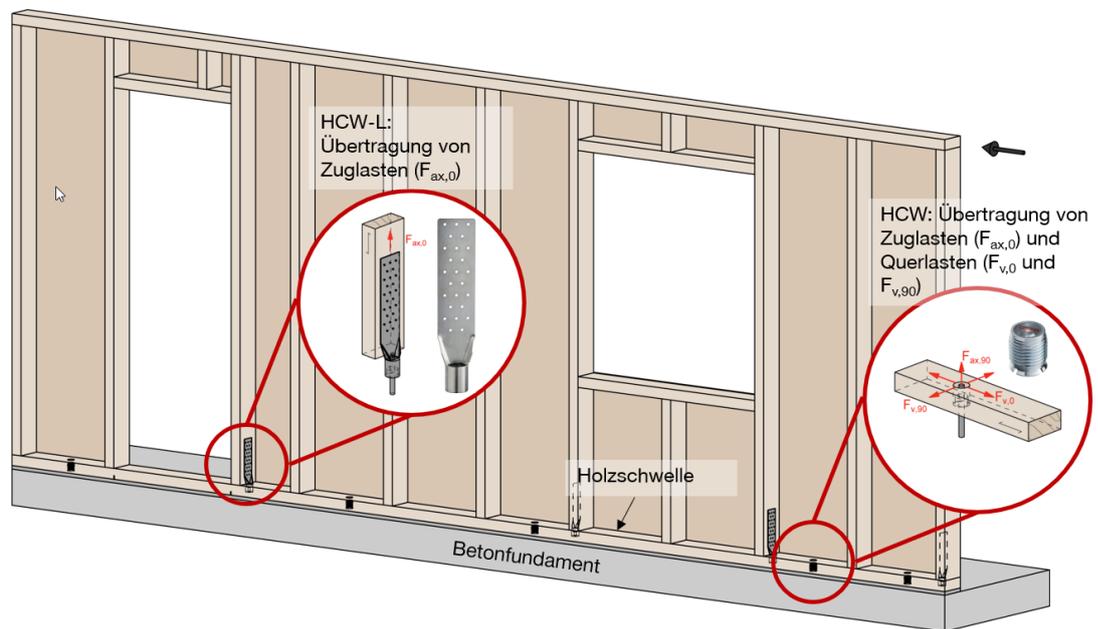


Abb. 2.1: Der Hilti Coupler Wood ist in zwei verschiedenen Versionen erhältlich (HCW-L (links), HCW (rechts))

Der Hilti Holzverbinder (HCW) kann sowohl für die Verbindung zweier Holzbauteile als auch für die Verbindung eines Holzbauteils mit einem Betonbauteil verwendet werden.

Bei der Verbindung von zwei Holzbauteilen wird der HCW immer mit einer Stockschraube (HSW oder äquivalent) verbunden. Bei der Verbindung eines Holzbauteils mit einem Betonbauteil erfolgt die Verbindung des HCW mit einem nachträglich eingebauten mechanischen oder chemischen Verankerungssystem von Hilti (z.B. HST3, HAS-U in Kombination mit einem Hilti Injektionsmörtel). Die Hilti-Verankerungssysteme sind in Abb. 2.2 und Abb. 2.3 dargestellt.

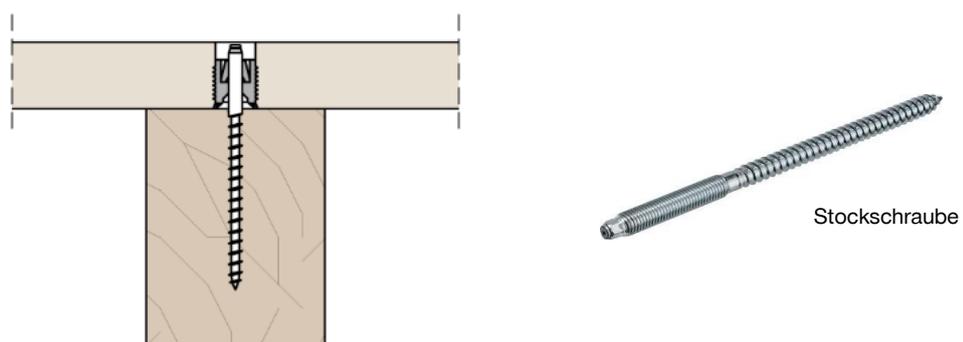


Abb. 2.2: Verbindung zwischen zwei Holzelementen mit HCW und Stockschraube

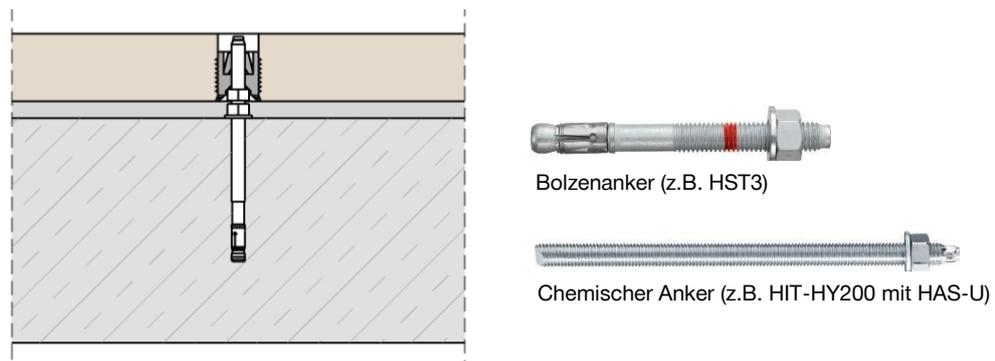


Abb. 2.3: Verbindung zwischen einem Holzelement und einem Betonelement mit HCW und nachträglich eingebauten Dübeln

Durch den im HCW integrierten Klemmechanismus kann der Hilti HCW mit den genannten Hilti Dübelssystemen im Push-to-Fit-Verfahren verbunden werden. Der Kerndurchmesser des Außengewindes des HCW beträgt 37 mm, der Außendurchmesser 40 mm und der Innendurchmesser des Innengewindes 12,2 mm (passend für Dübelgröße M12) (siehe Abb. 2.4).

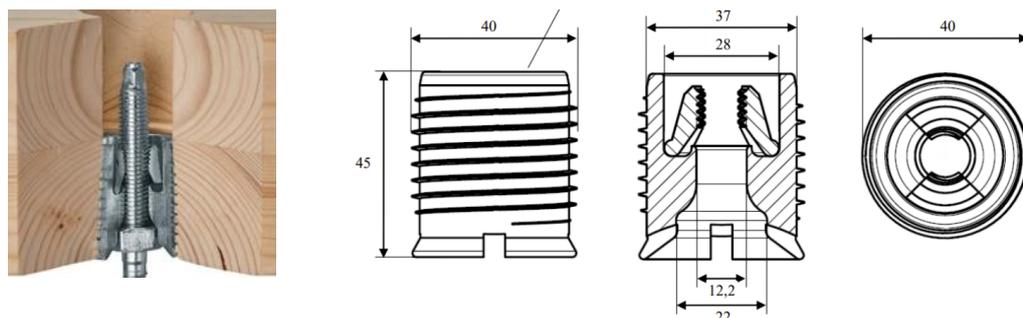


Abb. 2.4: Klemmechanismus im HCW

2.1 Anwendungen

Eine der Hauptanwendungen des Hilti Holzverbinders (HCW) ist die Verbindung von vorgefertigten Holzelementen mit dem Betonfundament (Abb. 2.5). Die Position des HCW im Holzrahmen entspricht genau der Position der Befestigungssysteme im Betonfundament. Um eine horizontale Lage der Holzelemente zu gewährleisten, werden Nivelliermuttern verwendet, der entstehende Spalt zwischen Betonoberfläche und Holzelement wird mit einer entsprechenden Mörtelschicht ausgefüllt. Die Holzelemente können sowohl randnah als auch randfern zum Betonfundament bzw. zur Bodenplatte angeordnet werden.



Abb. 2.5: Montage einer vorgefertigten Holztafel auf der Baustelle



Abb. 2.6: Positionierung des HCW auf dem vorinstallierten Bolzenanker mit einer Nivelliermutter

3. BEMESSUNG EINER HOLZ-BETON-VERBINDUNG MIT DEM HILTI HOLZVERBINDER HCW

Der Hilti Holzverbinder (HCW) kann im Holzelement Zuglasten ($F_{ax,90}$), Querkräfte parallel zur Faser ($F_{v,0}$) und Querkräfte senkrecht zur Faserrichtung ($F_{v,90}$) über ein nachträglich installiertes Hilti Verankerungssystem in das Betonbauteil übertragen (Abb. 3.1).

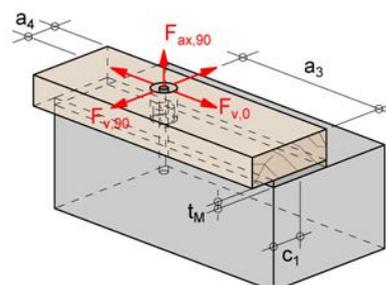


Abb. 3.1: Belastungsrichtungen

3.1 Nachweis des Holzbauteils und der Verbindung im Holzbauteil

Für die Bemessung des Anschlusses an das Holzbauteil sind die entsprechenden Nachweise in der Europäischen Technischen Bewertung ETA-21/0357 [1] zu erbringen. Die holzspezifischen Nachweise sind nach Eurocode 5 zu führen.

Folgende Nachweise sind erforderlich:

- Nachweis gegen Zugversagen senkrecht zur Faser (HCW wird aus dem Holzelement gezogen)
($F_{ax,90,Ed} \leq F_{ax,90,Rd}$)
- Nachweis gegen Versagen des Verbindungsmechanismus (Anker/Dübel wird aus dem HCW gezogen)
($F_{ax,90,Ed} \leq F_{t,Rd}$)
- Nachweis gegen Scherbruch parallel zum Faserverlauf ($F_{v,0,Ed} \leq F_{v,0,Rd}$)
- Nachweis gegen Scherbruch senkrecht zur Faser ($F_{v,90,Ed} \leq F_{v,90,Rd}$)

Im Falle von Zug- und Querbelastungen muss die folgende Interaktionsgleichung erfüllt werden.

$$(F_{ax,90,Ed}/F_{ax,Rd})^2 + (F_{v,0,Ed}/F_{v,0,Rd})^2 + (F_{v,90,Ed}/F_{v,90,Rd})^2 \leq 1$$

3.2 Nachweis des Dübel systems im Betonbauteil

Für die Bemessung des Anschlusses in Beton sind die Bestimmungen der EN 1992-4 [3] anzuwenden, auch wenn die Last über den HCW und ein Holzelement über das Hilti-Verankerungssystem in den Beton eingeleitet wird, anstatt wie in EN 1992-4 [3] angenommen über eine starre Grundplatte. Dies ist gerechtfertigt, da der Nachweis für einen einzelnen Dübel geführt wird und der Ansatz durch experimentelle Untersuchungen verifiziert wurde.

Folgende Nachweise unter Zugbeanspruchung sind zu führen:

- Nachweis gegen Stahlversagen ($F_{ax,90,Ed} \leq N_{Rd,s}$)
- Nachweis gegen Herausziehen (bei mechanischen Verankerungen) ($F_{ax,90,Ed} \leq N_{Rd,p}$)
- Kombiniertes Versagen (bei Verbundankern) ($F_{ax,90,Ed} \leq N_{Rd,p}$)
- Versagen gegen Betonausbruch ($F_{ax,90,Ed} \leq N_{Rd,c}$)
- Versagen gegen Spalten ($F_{ax,90,Ed} \leq N_{Rd,sp}$)

Die folgenden Nachweise unter Scherbelastung (Querbelastung) müssen durchgeführt werden mit

$$F_{v,Ed} = (F_{v,0,Ed}^2 + F_{v,90,Ed}^2)^{0.5}$$

- Nachweise gegen Stahlversagen mit Hebelarm ($F_{v,Ed} \leq V_{Rd,s,M}$)
- Nachweis gegen Betonausbruch ($F_{v,Ed} \leq V_{Rd,cp}$)
- Nachweise gegen Betonkantenbruch ($F_{v,Ed} \leq V_{Rd,c}$)

Für die Berechnung des Hebelarms wird die Dicke des Anbauteils (t_{fix}) in der Europäischen Technischen Bewertung ETA-21/0357 [1] wie folgt definiert.

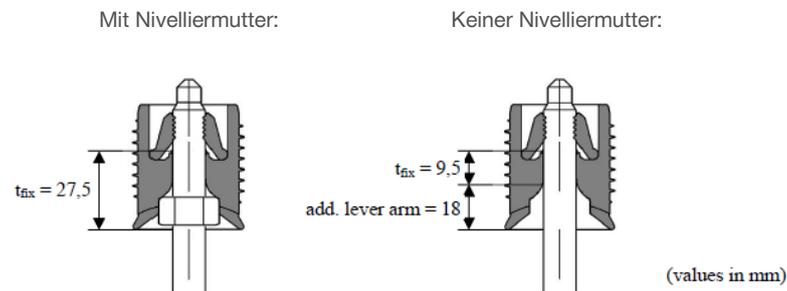


Abb. 3.2: Definition von t_{fix} im Falle einer Nivelliermutter und t_{fix} und des zusätzlichen Hebelarms im Falle keiner Nivelliermutter

Im Falle von Zug- und Querlasten muss eine der folgenden Interaktionsgleichungen für alle anderen Versagensarten außer Stahlversagen erfüllt werden.

$$(F_{ax,90,Ed}/N_{Rd,i})^{1.5} + (F_{v,0,Ed}/V_{Rd,i})^{1.5} \leq 1 \quad \text{oder} \quad (F_{ax,90,Ed}/N_{Rd,i}) + (F_{v,0,Ed}/V_{Rd,i}) \leq 1.2$$

Im Falle von Stahlversagen wird die Interaktion in Abschnitt 4 beschrieben.

4. ABSTANDSMONTAGE

Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, führt die Ausführung der vorgefertigten Holzschwelle samt Mörtelbett zu einer Abstandsmontage. Die Querlast mit Hebelarm beansprucht das Verbindungsmittel auf Biegung, was zu einer Verringerung der Stahltragfähigkeit und unter Umständen auch der Betontragfähigkeit führt. EN 1992-4 [3] gibt Hinweise, wie die Stahltragfähigkeit des Anschlusses im Falle einer Abstandsmontage abgemindert werden kann. Die Nachweise werden in Abschnitt 4.1 ausführlich beschrieben.

Befindet sich die Verankerung in der Nähe des Randes eines Betonbauteils, kann es zu einem Betonkantenbruch kommen, dessen Bemessungswiderstand durch eine Querlast mit Hebelarm beeinflusst wird. In EN 1992-4 wird dieser Fall zwar erwähnt, aber keine rechnerische Lösung angeboten. Um diese Einschränkung zu überwinden, hat Hilti einen Bemessungsansatz für die Randbedingung "Abstandsmontage in der Nähe des Randes eines Betonbauteils" entwickelt. Der neue Bemessungsansatz ist eine Erweiterung der in EN 1992-4 [3] angegebenen Gleichungen, siehe Abschnitt 4.2. Zur Verifizierung des Bemessungsansatzes wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt (siehe Abschnitt 4.3).

4.1 Abstandsmontage nach EN 1992-4

Stahlversagen unter Querlast mit Hebelarm

In EN 1992-4 [3] ist der charakteristische Stahlwiderstand von Dübeln für Abstandsmontage in Abschnitt 7.2.2.3.2 angegeben, s. Gl. (1).

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \quad (1)$$

Mit:

α_M = 1,0 (Anbauteil frei verdrehbar) oder 2,0 (Anbauteil voll eingespannt)

$M_{Rk,s}$ = charakteristisches Biegemoment des Dübels mit Zuglast

$$= M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Ed}/N_{Rd,s})$$

$M_{Rk,s}^0$ = Charakteristisches Biegemoment eines einzelnen Dübels aus der Europäischen Technischen Bewertung

W_{el} = elastisches Widerstandsmoment, bei Gewindeteilen berechnet für den Spannungsquerschnitt

l_a = wirksamer Hebelarm

$$= e_1 + a_3 \text{ (siehe Abbildung in Abb. 4.1)}$$

e_1 = Abstand zwischen der Querlast und der Betonoberfläche

a_3 = $0.5d$ wenn keine Einspannung an der Betonoberfläche vorhanden ist

= 0 , wenn eine Einspannung an der Betonoberfläche vorhanden ist

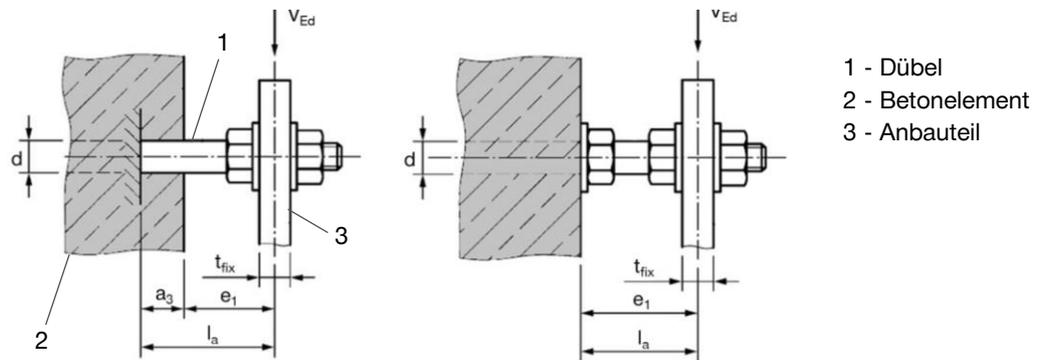


Abb. 4.1: Definition des Hebelarms nach EN 1992-4

Bei kombinierter Zug- und Querkraftbeanspruchung muss keine Interaktion durchgeführt werden, da die Zugbeanspruchung bereits in Gl. (1) berücksichtigt ist.

Betonkantenbruch unter Querlast mit Hebelarm

In EN 1992-4 [3] wird die Wirkung eines Kippmoments auf den Betonkantenbruchwiderstand nicht berücksichtigt, so dass eine Bemessung nach EN 1992-4 nicht möglich ist [3]

4.2 Verbesserter Bemessungsansatz in Anlehnung an EN 1992-4

Stahlversagen unter Querlast mit Hebelarm

Gl. (2) bietet einen verbesserten Ansatz zur Berechnung des Stahlversagens unter Querlast mit Hebelarm. Der Ansatz basiert auf experimentellen Untersuchungen von McBride (2014) [4].

$$V_{Rk,s,M} = \left(\sqrt{\alpha_{s,M}^2 + 1} - \alpha_{s,M} \right) \cdot V_{Rk,s} \leq V_{Rk,s} \quad (2)$$

Mit:

$V_{Rk,s}$	=charakteristische Widerstand einer Gruppe bei Stahlversagen aus der Europäischen Technischen Bewertung
$\alpha_{s,M}$	= $1.5 \cdot l_a / \alpha_M \cdot d$
α_M	=1,0 (Anbauteil frei verdrehbar) oder 2,0 (Anbauteil voll eingespannt)
l_a	=wirksamer Hebelarm
	= $e_1 + a_3$ (konservativ übernommen aus EN 1992-4 [3], siehe Abschnitt 4.1, Abbildung in Abb. 4.1)
e_1	= Abstand zwischen der Querlast und der Betonoberfläche
a_3	= $0.5d$ wenn keine Einspannung an der Betonoberfläche vorhanden ist
	= 0, wenn eine Einspannung an der Betonoberfläche vorhanden ist

Da die Zuglast nicht Teil von $V_{Rd,s,M}$ nach EN 1992-4 ist [3] muss der folgende Nachweis für kombinierte Zug- und Querlastbeanspruchung erbracht werden:

$$\left(\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,s}} \right)^2 + \frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s,M}} \leq 1.0 \quad (3)$$

Betonkantenbruchlast unter Querlast mit Hebelarm

Die Grundgleichung zur Berechnung der Versagensart Betonkantenbruch bei Abstandsmontage stammt aus EN 1992-4, Abschnitt 7.2.2.5. Um das Biegemoment auf den Betonkantenbruchwiderstand zu berücksichtigen, wurde ein Abminderungsfaktor ($\psi_{b,u}$) aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet, der als Multiplikator für den Betonkantenbruchwiderstand verwendet wird. $\psi_{b,u}$ ist in Gleichung (4) angegeben.

$$\psi_{b,u} = \frac{1}{1 + \frac{C}{d^{3/4}} \cdot \frac{l_a}{\alpha_M}} \quad (4)$$

Mit:

C = Konstante, die die elastische Wechselwirkung zwischen dem Anker und dem Beton darstellt

$$= 0,213 [1/\text{mm}]^{0.25}$$

l_a = wirksame freiliegende Länge (konservativ aus EN 1992-4 übernommen) [3], siehe Abschnitt 4.1, Abbildung in Abb. 4.1)

α_M = Einspanngrad

4.3 Experimentelle Untersuchungen

Um die Abnahme der Betonkantenbruchlast infolge des Biegemoments zu verifizieren, führte Hilti zusätzliche experimentelle Untersuchungen durch. Das Versuchsprogramm ist in Tabelle 4.1 wiedergegeben.

Die experimentellen Untersuchungen wurden mit dem Metallspreizdübel HST3 M12, $h_{ef} = 70$ mm und zwei verschiedenen Randabständen ($c_1 = 55$ mm und 105 mm) und drei Abstandsbedingungen ($t_m = 0$ mm,

30 mm, 50 mm) durchgeführt. Es wurde kein Mörtel für die Unterfüterung verwendet. Die gemessene Betondruckfestigkeit an einem Würfel mit einer Seitenlänge von 150 mm lag zwischen 30,3 und 35,6 MPa. Alle Prüfergebnisse wurden auf eine Druckfestigkeit von 30 MPa normiert.

Tabelle 4.1: Prüfprogramm (HCW + HST3 M12 unter Scherbelastung in Randnähe)

	c_1 [mm]	t_m [mm]	h_2 [mm]	Anzahl der Tests	l_a [mm]
		55	0	260	3
	55	30	3		43,8
	55	50	3		63,8
	105	0	3		13,8
	105	30	3		43,8
	105	50	3		63,8

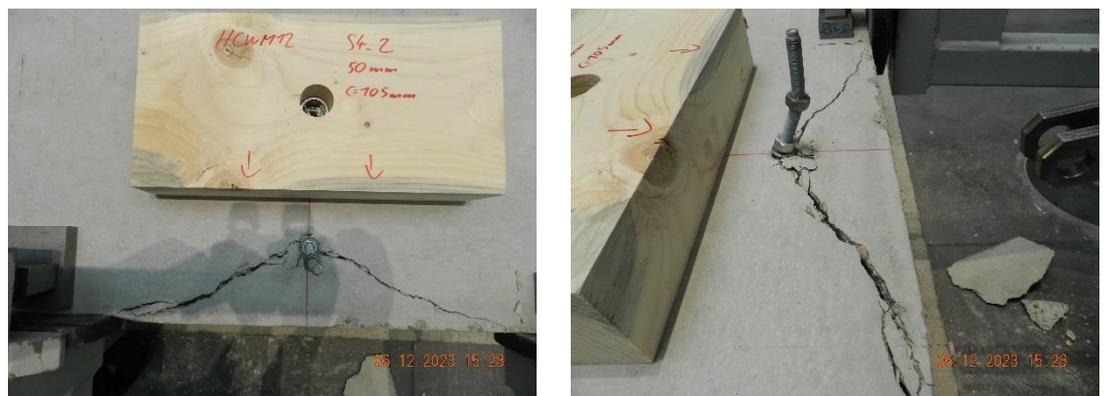


Abb. 4.2: Betonkantenbruch, Beispiel $c_1 = 105$ mm, $t_m = 50$ mm

Alle Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen zeigen die Versagensart Betonkantenbruch (siehe Abb. 4.2). Die Abminderung der normierten Betonkantenbruchlast in Abhängigkeit vom Hebelarm ist in Bild 4.3 dargestellt. In Bild 4.4 sind die berechneten Abminderungsfaktoren und der Abminderungsfaktor aus Gleichung (4) gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass der Modifikator nach Gl. (4) zu einer konservativen Vorhersage des Biegemomenteinflusses mit zunehmendem Hebelarm führt.

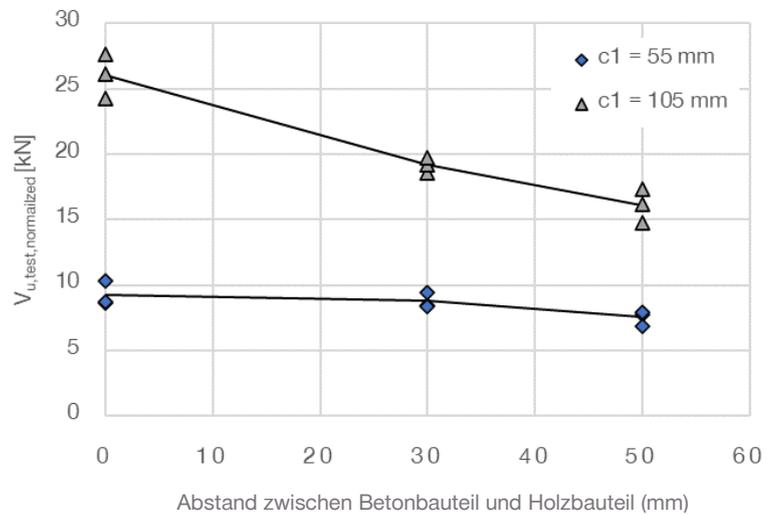


Abb. 4.3: Gemessene und normierte Betonkantenbruchlast in Abhängigkeit vom Hebelarm

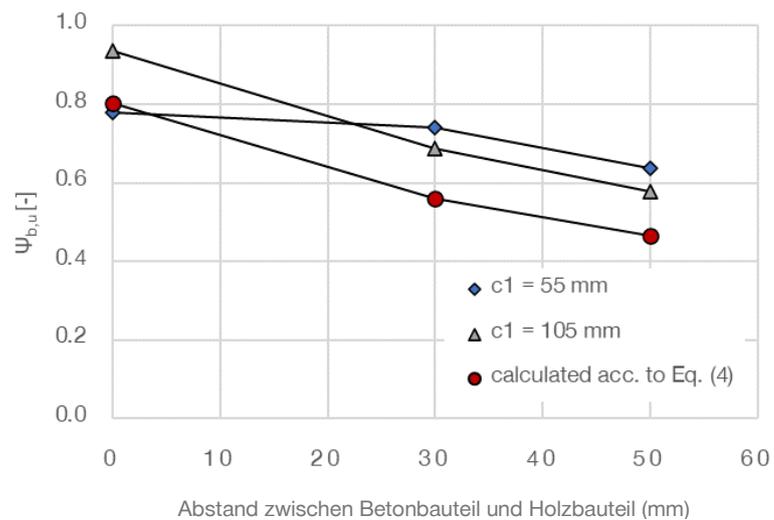


Abb. 4.4: Abnahme der Betonkantenbruchlast mit zunehmendem Hebelarm

5. BEMESSUNGSSOFTWARE

Der Hilti Coupler Wood (HCW) kann in Holz-Holz- und Holz-Beton-Verbindungen bemessen werden mittels der Software Ingtools bemessen werden. Die Nutzung des HCW-Moduls ist kostenlos (<https://software.ing-tools.de/modul/HiltiHCW>).

6. BEMESSUNGSBEISPIEL

Ein Bemessungsbeispiel eines Anschlusses mit Hilti HCW mit HST3 M12 in Randnähe eines Betonbauteils ist in Abb. 6.1 dargestellt. Die Bemessung erfolgt auch unter Berücksichtigung von Abschnitt 4.2.

Verbindung und Geometrie

Holz-Beton-Verbindung

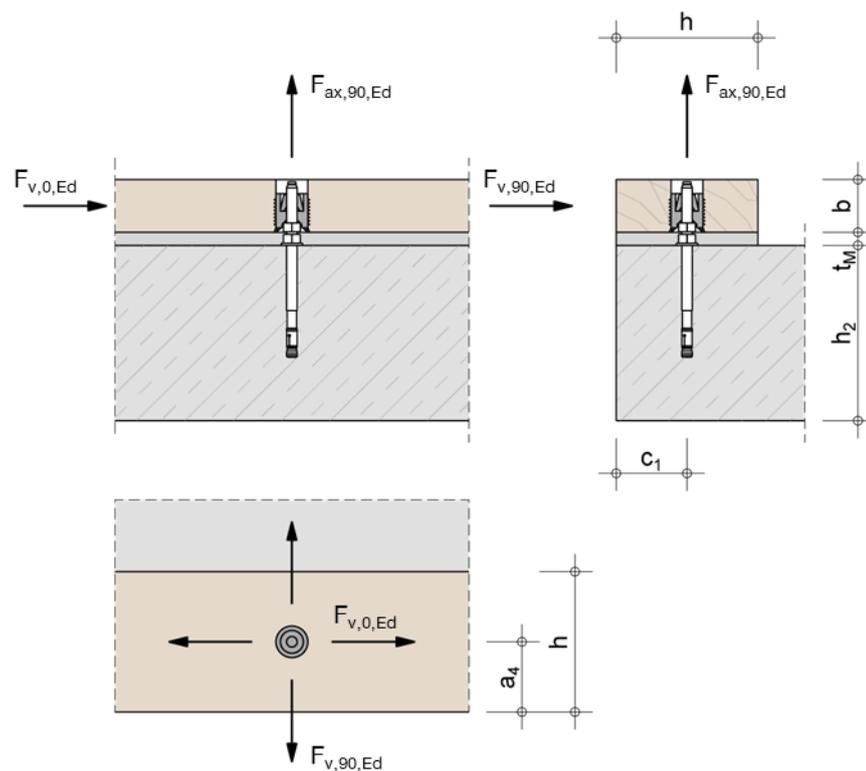


Abb. 6.1: Anschluss und Geometrie der Anschlüsse

Komponenten

Holzelement: Weichholz, C24 $b/h = 60/160 \text{ mm}$ $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ $a_4 = 80 \text{ mm}$

Grundmaterial: Beton, C20/25, *gerissen* $h_2 = 200 \text{ mm}$ $c_1 = 70 \text{ mm}$

Mörtelschicht: $t_M = 20 \text{ mm}$

Verbindungen

HCW 37x45 M12 (ETA-21/0357)

HST3 M12x165 90/70 (ETA-98/0001) $h_{ef} = 70 \text{ mm}$ $h_{nom} = 80 \text{ mm}$ $T_{inst} = 60 \text{ Nm}$

Bohrloch: Hammerbohrung

Einbauzustand: trocken

Einwirkungen

Serviceklasse: NKL1 - beheizte Innenräume

$$F_{v,0,Ed} = 6.0 \text{ kN} \quad \text{KLED: kurz} \quad k_{mod} = 0.9$$

$$F_{v,90,Ed} = 1.0 \text{ kN} \quad \text{KLED: kurz} \quad k_{mod} = 0.9$$

$$F_{ax,90,Ed} = 1.0 \text{ kN} \quad \text{KLED: kurz} \quad k_{mod} = 0.9$$

Bemessung - Nachweise im Holzträger

Zugversagen senkrecht zur Faser (HCW zieht sich aus dem Holzelement heraus)

$$F_{ax,90,Rk} = 12.7 \text{ kN}$$

ETA-21/0357, Tabelle C1

$$F_{ax,90,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,90,Rk}}{\gamma_M} = 0.9 \cdot \frac{12.7}{1.3} = 8.8 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ax,90,Ed}}{F_{ax,90,Rd}} = \frac{1.0}{8.8} = 0.11 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt

Versagen des Klemmmechanismus (Anker zieht sich aus dem HCW)

$$F_{t,Rk} = 37.5 \text{ kN}$$

ETA-21/0357, Tabelle C1

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{37.5}{1.25} = 30 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ax,90,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{1.0}{30} = 0.03 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt

Scherversagen parallel zur Faser

$$F_{v,0,Rk} = 28.8 \text{ kN}$$

ETA-21/0357, Tabelle C1

$$F_{v,0,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,0,Rk}}{\gamma_M} = 0.9 \cdot \frac{28.8}{1.3} = 19.9 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,0,Ed}}{F_{v,0,Rd}} = \frac{6.0}{19.9} = 0.3 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt

Scherbruch senkrecht zur Faser

$$F_{v,90,Rk} = 12.5 \text{ kN}$$

ETA-21/0357, Tabelle C1

$$F_{v,90,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,90,Rk}}{\gamma_M} = 0.9 \cdot \frac{12.5}{1.3} = 8.7 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,90,Ed}}{F_{v,90,Rd}} = \frac{1.0}{8.7} = 0.12 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt

Kombinierte Zug- und Scherbelastung

$$\left(\frac{F_{ax,90,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,0,Ed}}{F_{v,0,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,90,Ed}}{F_{v,90,Rd}}\right)^2 = 0.12 \leq 1$$

Nachweis erfüllt

Entwurf - Nachweise im Betonbauteil

Zugbelastungen

Stahlversagen

$$N_{Rk,s} = 45.1 \text{ kN}$$

ETA-98/0001, Tabelle C2

$$\gamma_{Ms} = 1.4$$

$$N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{45.1}{1.4} = 32.2 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,s}} = \frac{1.0}{32.2} = 0.03 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Auszugsversagen

$$\psi_c = 1.0$$

ETA-98/0001, Tabelle C2

$$N_{Rk,p} = 20 \text{ kN}$$

ETA-98/0001, Tabelle C2

$$\gamma_{Mp} = 1.5$$

$$N_{Rd,p} = \frac{\psi_c \cdot N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}} = \frac{1.0 \cdot 20}{1.5} = 13.3 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,p}} = \frac{1.0}{13.3} = 0.08 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Versagen „kegelförmiger Betonausbruch“

$$k_1 = k_{cr,N} = 7.7$$

EN 1992-4, 7.2.1.4

$$h_{ef} = 70 \text{ mm}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 7.7 \cdot \sqrt{20} \cdot 70^{1.5} \cdot 10^{-3} = 20.2 \text{ kN}$$

EN 1992-4, Gleichung (7.2)

$$s_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef} = 3 \cdot 70 = 210 \text{ mm}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 210 \cdot 210 = 44100 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,N} = (c_1 + 0.5 \cdot s_{cr,N}) \cdot (2 \cdot 0.5 \cdot s_{cr,N})$$

$$= (70 + 0.5 \cdot 210) \cdot (2 \cdot 0.5 \cdot 210) = 36750 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{70}{105} = 0.9 \leq 1.0$$

$$\psi_{re,N} = 1.0$$

$$\psi_{ec,N} = 1.0$$

$$\psi_{M,N} = 1.0$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N}$$

$$= 20.17 \cdot \frac{36750}{44100} \cdot 0.9 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 15.1 \text{ kN}$$

$$\gamma_{Mc} = 1.5$$

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{15.1}{1.5} = 10.1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,c}} = \frac{1.0}{10.1} = 0.1 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Spaltfehler

$$N_{Rk,sp,ETA}^0 = 25 \text{ kN}$$

ETA-98/0001, Tabelle C2

$$N_{Rk,sp}^0 = \psi_c \cdot N_{Rk,sp,ETA}^0 = 1.0 \cdot 25 = 25 \text{ kN}$$

$$s_{cr,sp} = 3 \cdot h_{ef} = 3 \cdot 70 = 210 \text{ mm}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp} = 210 \cdot 210 = 44100 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,N} = (c_1 + 0.5 \cdot s_{cr,sp}) \cdot (2 \cdot 0.5 \cdot s_{cr,sp})$$

$$= (70 + 0.5 \cdot 210) \cdot (2 \cdot 0.5 \cdot 210) = 36750 \text{ mm}^2$$

$$h_{ef,min} = 50 \text{ mm}$$

ETA-98/0001, Tabelle B12

$$h_{min} = 100 + h_{ef} - h_{ef,min} = 100 + 70 - 50 = 120 \text{ mm}$$

ETA-98/0001, Tabelle B12

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_1}{c_{cr,sp}} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{70}{105} = 0.9 \leq 1.0$$

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h_2}{h_{min}}\right)^{2/3} \leq \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef} + 1.5 \cdot c_1}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \leq 2.0$$

$$= \left(\frac{200}{120}\right)^{2/3} \leq \max\left\{1; \left(\frac{70 + 1.5 \cdot 70}{120}\right)^{2/3}\right\} \leq 2.0$$

$$= 1.41 \leq \max\{1; 1.29\} \leq 2.0$$

$$= 1.29$$

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,sp}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{h,sp} = 25 \cdot \frac{36750}{44100} \cdot 0.9 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.29 = 24.2 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,sp} = 1.5$$

$$N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{M,sp}} = \frac{24.2}{1.5} = 16.1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,sp}} = \frac{1.0}{16.1} = 0.06 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Querlast

Stahlversagen ohne Hebelarm

$$V_{Rk,s}^0 = 35 \text{ kN}$$

ETA-98/0001, Tabelle C4

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 = 1.0 \cdot 35.4 = 35.4 \text{ kN}$$

EN 1992-4, Gleichung (7.35)

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{35.4}{1.25} = 28.3 \text{ kN}$$

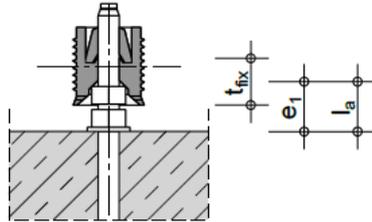
Ladungen:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,0,Ed}^2 + F_{v,90,Ed}^2} = \sqrt{6^2 + 1^2} = 6.1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s}} = \frac{6.1}{28.3} = 0.22 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Stahlversagen mit Hebelarm



$$e_1 = \frac{t_{fix}}{2} + t_M = \frac{27.5}{2} + 20 = 33.8 \text{ mm}$$

$$l_a = e_1 = 33.8 \text{ mm}$$

$$\alpha_M = 2.0$$

Verifizierung nach EN 1992-4 [3] (siehe Abschnitt 4.1)

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{F_{ax,90,d}}{N_{Rd,s}}\right) = 105 \cdot \left(1 - \frac{1}{32.21}\right) = 101.7 \text{ Nm}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} = \frac{2 \cdot 101.74}{33.8} = 6.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}} = \frac{6.0}{1.25} = 4.8 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s,M}} = \frac{6.1}{4.8} = 1.26 > 1.0$$

Nachweis nicht erfüllt ❌

(Widerstand ist nicht ausreichend nach der in EN 1992-4 [3] angegebenen Berechnungsmethode)

Nachweis nach dem verbesserten Bemessungsansatz in Anlehnung an EN 1992-4 [3] (siehe Abschnitt 4.2)

$$\alpha_{s,M} = \frac{1.5 \cdot l_a}{\alpha_M \cdot d} = \frac{1.5 \cdot 33.8}{2 \cdot 12} = 2.1$$

$$V_{Rk,s,M} = \left(\sqrt{\alpha_{s,M}^2 + 1} - \alpha_{s,M}\right) \cdot V_{Rk,s} = (\sqrt{2.1^2 + 1} - 2.1) \cdot 35.4 = 8.0 \text{ kN}$$

$$= \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}} = \frac{8.0}{1.25} = 6.4 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s,M}} = \frac{6.1}{6.4} = 0.95 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✅

Betonausbruch auf lastabgewandter Seite

$$k_1 = k_{cr,N} = 7.7$$

EN 1992-4, 7.2.1.4

$$h_{ef} = 70 \text{ mm}$$

ETA-98/0001

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 7.7 \cdot \sqrt{20} \cdot 70^{1.5} \cdot 10^{-3} = 20.2 \text{ kN}$$

EN 1992-4, Gleichung (7.2)

$$s_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef} = 3 \cdot 70 = 210 \text{ mm}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 210 \cdot 210 = 44100 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,N} = (c_1 + 0.5 \cdot s_{cr,N}) \cdot (2 \cdot 0.5 \cdot s_{cr,N}) = (70 + 0.5 \cdot 210) \cdot (2 \cdot 0.5 \cdot 210) = 36750 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_1}{c_{cr,N}} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{70}{105} = 0.9 \leq 1.0$$

$$\psi_{re,N} = 1.0$$

$$\psi_{ec,N} = 1.0$$

$$\psi_{M,N} = 1.0$$

$$\begin{aligned} N_{Rk,c} &= N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N} \\ &= 20.2 \cdot \frac{36750}{44100} \cdot 0.9 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 15.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$k_8 = 2.78$$

ETA-98/0001, Tabelle C4

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot N_{Rk,c} = 2.78 \cdot 15.1 = 42.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}} = \frac{42.1}{1.5} = 28.0 \text{ kN}$$

Ladungen:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,0,Ed}^2 + F_{v,90,Ed}^2} = \sqrt{6^2 + 1^2} = 6.1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s,M}} = \frac{6.1}{28.0} = 0.22 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt

Versagen der Betonkante

Verifizierung nach EN 1992-4 [3] ist nicht möglich (siehe Abschnitt 4.1). EN 1992-4 [3] berücksichtigt nicht die Auswirkung des sekundären Kippmoments auf den Betonrandwiderstand.

Nachweis nach der verbesserten Entwurfsmethode für abgesetzte Konfigurationen (siehe Abschnitt 4.2)

$$k_9 = 1.7$$

EN 1992-4, 7.2.2.5

$$d_{nom} = 12 \text{ mm}$$

ETA-98/0001, Tabelle C4

$$l_f = 70 \text{ mm}$$

ETA-98/0001, Tabelle C4

$$\alpha = 0.1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0.5} = 0.1 \cdot \left(\frac{70}{70}\right)^{0.5} = 0.1$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0.2} = 0.1 \cdot \left(\frac{12}{70}\right)^{0.2} = 0.07$$

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5} = 1.7 \cdot 12^{0.1} \cdot 70^{0.07} \cdot \sqrt{20} \cdot 70^{1.5} \cdot 10^{-3} = 7.7 \text{ kN} \quad \text{EN 1992-4, Gleichung (7.41)}$$

$$A_{c,v}^0 = 4.5 \cdot c_1^2 = 4.5 \cdot 70 \cdot 70 = 22050 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,v} = (2 \cdot 1.5 \cdot c_1) \cdot 1.5 \cdot c_1 = (2 \cdot 1.5 \cdot 70) \cdot 1.5 \cdot 70 = 22050 \text{ mm}^2$$

$$C = 0.213 \frac{1}{\text{mm}^{0.25}}$$

$$\psi_{b,u} = \frac{1}{1 + \frac{C}{d^{3/4}} \cdot \frac{l_a}{\alpha_M}} = \frac{1}{1 + \frac{0.213}{12^{3/4}} \cdot \frac{33.8}{2}} = 0.64$$

$$\psi_{s,V} = 1.0$$

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1.5 \cdot c_1}{h_2}\right)^{0.5} = \left(\frac{1.5 \cdot 70}{200}\right)^{0.5} \geq 1.0$$

$$\psi_{ec,V} = 1.0$$

$$\alpha_V = \arccos\left(\frac{F_{v,90,d}}{\sqrt{F_{v,0,d}^2 + F_{v,90,d}^2}}\right) = 80.54$$

$$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos\alpha_V)^2 + (0.5 \cdot \sin\alpha_V)^2}} = 1.924 \geq 1$$

$$\psi_{re,V} = 1.0$$

$$\begin{aligned} V_{Rk,c} &= V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{b,u} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{cc,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V} = 7.7 \cdot \frac{22050}{22050} \cdot 0.64 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.924 \cdot 1.0 \\ &= 9.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{9.5}{1.5} = 6.3 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{6.1}{6.3} = 0.96 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt

Kombinierte Zug- und Querbelastung

Interaktion von Stahlversagensarten

$$\left(\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s,M}} = \left(\frac{1.0}{32.2}\right)^2 + \frac{6.1}{6.4} = 0 + 0.95 = 0.95 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt

Wechselwirkung von Betonversagensarten

$$N_{Rd,i} = \min\{N_{Rd,p}, N_{Rd,c}, N_{Rd,sp}\} = \min(13.3, 10.1, 16.1) = 10.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,i} = \min\{V_{Rd,cp}, V_{Rd,c}\} = \min(28.0, 6.3) = 6.3 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,i}}\right) + \left(\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,i}}\right) = \left(\frac{1.0}{10.1}\right) + \left(\frac{6.1}{6.3}\right) = 0.1 + 0.96 = 1.06 \leq 1.2$$

Nachweis erfüllt

Zusammenfassung der Überprüfungen

Überprüfungen im Holzträger

Zugversagen senkrecht zur Faser: $\frac{F_{ax,90,Ed}}{F_{ax,90,Rd}} = \frac{1.0}{8.8} = 0.11 \leq 1.0$

Versagen des Klemmechanismus: $\frac{F_{ax,90,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{1.0}{30.0} = 0.03 \leq 1.0$

Scherbruch parallel zum Faserverlauf: $\frac{F_{v,0,Ed}}{F_{v,0,Rd}} = \frac{6.0}{19.9} = 0.30 \leq 1.0$

Scherbruch senkrecht zur Faser: $\frac{F_{v,90,Ed}}{F_{v,90,Rd}} = \frac{1.0}{8.7} = 0.12 \leq 1.0$

Kombinierte Zug- und Scherbelastung: $\left(\frac{F_{ax,90,Ed}}{F_{ax,90,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,0,Ed}}{F_{v,0,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,90,Ed}}{F_{v,90,Rd}}\right)^2 = 0.12 \leq 1.0$

Überprüfungen im konkreten Bauteil

Spannung - Stahlversagen: $\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,s}} = \frac{1.0}{32.2} = 0.03 \leq 1.0$

Spannung - Ausreißversagen: $\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,p}} = \frac{1.0}{13.3} = 0.08 \leq 1.0$

Spannung - Versagen des Betonkegels: $\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,c}} = \frac{1.0}{10.1} = 0.10 \leq 1.0$

Verspannung - Spaltbruch: $\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,sp}} = \frac{1.0}{16.1} = 0.06 \leq 1.0$

Scherung - Stahlversagen ohne Hebelarm: $\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s}} = \frac{6.1}{28.3} = 0.22 \leq 1.0$

Scherung - Stahlversagen mit Hebelarm: $\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s,M}} = \frac{6.1}{6.4} = 0.95 \leq 1.0$

Scherung - Versagen des Betonausbruchs: $\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,cp}} = \frac{6.1}{28.0} = 0.22 \leq 1.0$

Scherung - Betonkantenversagen: $\frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,c}} = \frac{6.1}{6.3} = 0.96 \leq 1.0$

Kombinierte Zug- und Scherbelastung: $\left(\frac{F_{ax,90,Ed}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \frac{F_{v,Ed}}{V_{Rd,s,M}} = \left(\frac{1.0}{32.2}\right)^2 + \frac{6.1}{6.4} = 0.95 \leq 1.0$

7. ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird ein neuer Verbinder namens HCW für eine schnellere und effizientere Montage von vorgefertigten Holzelementen vorgestellt. In Anlehnung an EN 1992-4 [3] wurde eine fortschrittliche Bemessungsmethode entwickelt, die die Auswirkungen des sekundären Kippmoments berücksichtigt, das durch die Abstandsmontage entsteht. Die Bemessungsmethode wurde durch experimentelle Untersuchungen verifiziert und liegt auf der konservativen Seite. Das Bemessungsverfahren, das sowohl die erforderlichen rechnerischen Nachweise im Holzbauteil als auch die erforderlichen rechnerischen Nachweise im Betonbauteil umfasst, ist in einem Softwaremodul implementiert. Dies ermöglicht eine schnelle, einfache und prüffähige Bemessung der diskutierten Verbindungen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das vorgestellte Bemessungsverfahren ausschließlich durch experimentelle Untersuchungen an Hilti-Verankerungssystemen in Kombination mit dem Hilti Coupler Wood (HCW)

verifiziert wurde. Eine Übertragung des Bemessungsverfahrens auf andere Produkte oder Produktkombinationen ist nicht ohne weiteres möglich.

8. REFERENZEN

- [1] ETA-21/0357. *Fastening element Hilti HCW, HCW-L*, ETA Danmark A/S, March 01, 2024.
- [2] EAD 130186-00-0603. *Three-Dimensional Nailing Plates*, EOTA, July 2018.
- [3] EN 1992-4. *Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings for use in concrete*, Brussels, 2018.
- [4] K. McBride, *Steel strength of anchor bolts in stand-off base plate connections. Ph.D. Dissertation, University of Florida, Gainesville, FL, USA.*, Florida, 2014.
- [5] K. McBride, D. Rocha and R. Figoli, *Hilti Method for Anchor Design in ungrouted stand-off connections. Whitepaper, Hilti Corporation, Schaan, Liechtenstein*, 2023.
- [6] ETA 98/0001: *Hilti metal expansion anchor HST, HST-R, HST-HCR, HST3, HST3-R*, DIBt, November 3, 2022.
- [7] EN 1995-1-1. *Eurocode 5 - Design of Timber Structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings*, Brussels, 2004.



Hilti Aktiengesellschaft
9494 Schaan, Liechtenstein
P +423-234 2965

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