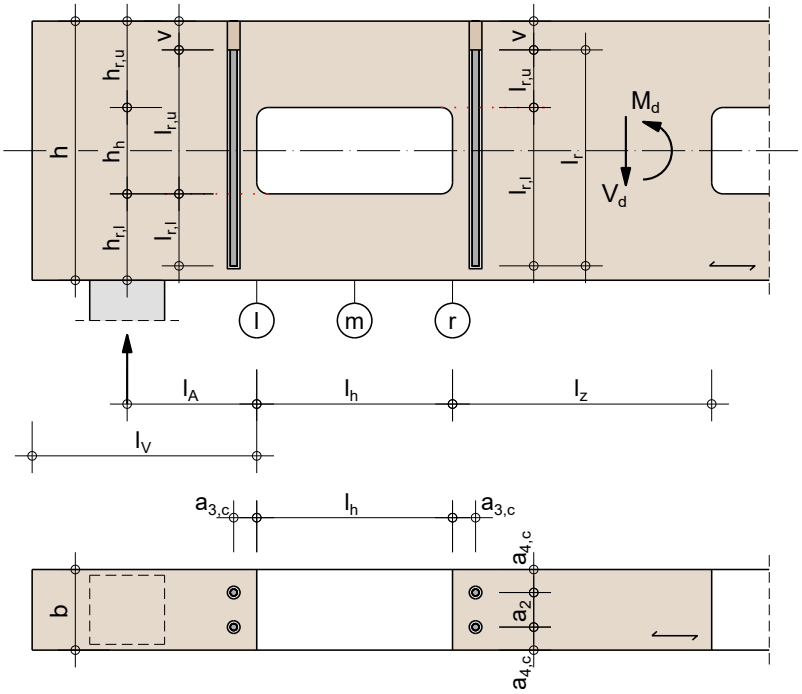
Nachweis rechteckiger Durchbruch

nach ETA-19/0194 vom 12.09.2019

Anschluss & Geometrie

eingeklebte Gewindestangen - direktes Befüllen der Injektion mit Hilti Dosiersystem



Geometrie:	Brettschichtholz, GL24c	b/h = 200/400 mm	ρ_k = 365 kg/m^3
	$h_{r,u}$ = 130 mm	h_h = 120 mm	$h_{r,l}$ = 150 mm
	h_h/l_h = 120/300 mm	l_A = 450 mm	l_V = 500 mm
	l_z = 400 mm		
Verbindungsmittel:	**2x2 M12 Hilti AM 5.8**	**Hilti HIT-RE 500 V3**	ETA-19/0194
	d = 12 mm	d_{drill} = 14 mm	v = 0.0 mm
	l_r = 380 mm		
	a_2 = 100.0 mm	$a_{3,c}$ = 50.0 mm	$a_{4,c}$ = 50.0 mm

Beanspruchung

Nutzungsklasse	NKL2 - Überdachte offene Tragwerke	KLED: mittel	k_{mod} = 0.80
	$V_{l,d}$ = 20.00 kN	$M_{l,d}$ = 4.00 kNm	
	$V_{m,d}$ = 18.00 kN	$M_{m,d}$ = 5.00 kNm	
	$V_{r,d}$ = 16.00 kN	$M_{r,d}$ = 6.00 kNm	

maßgebender Nachweis:	0.89 $\leq$ 1.00	**Nachweis erfüllt**

Bemessung

Überprüfung der Mindestabstände des Verbindungsmittels

a_2 = 100.0 mm $\geq$	$a_{2,min} = 4d$ = 48.0 mm	nach DIN EN 1995-1-1:2013-08/NA, Tab. NA.23
$a_{3,c}$ = 50.0 mm $\geq$	$a_{3,c,min} = 2.5d$ = 30.0 mm	nach DIN EN 1995-1-1:2013-08/NA, Tab. NA.23
$a_{4,c}$ = 50.0 mm $\geq$	$a_{4,c,min} = 2.5d$ = 30.0 mm	nach DIN EN 1995-1-1:2013-08/NA, Tab. NA.23

Bemessungslasten

$h_r = min\left\{h_{r,u}; h_{r,l}\right\} = min\left\{130; 150\right\} = 130$ mm

linker Rand:

$$F_{l,t,V,d} = \frac{V_{l,d} * h_h}{4 * h} * \left[3 - \frac{h_h^2}{h^2}\right] = \frac{20.00 * 120}{4 * 400} * \left[3 - \frac{120^2}{400^2}\right] = 4.37 \text{ kN}$$ (DIN EN 1995-1-1/NA, NA.67)

$$F_{l,t,M,d} = 0.008 * \frac{M_{l,d}}{h_r} = 0.008 * \frac{4.00}{130 * 10^{-3}} = 0.24 \text{ kN}$$ (DIN EN 1995-1-1/NA, NA.68)

$$F_{l,t,90,d} = F_{l,t,V,d} + F_{l,t,M,d} = 4.37 + 0.24 = 4.61 \text{ kN}$$ (DIN EN 1995-1-1/NA, NA.66)

rechter Rand:

$$F_{r,t,V,d} = \frac{V_{r,d} * h_h}{4 * h} * \left[3 - \frac{h_h^2}{h^2}\right] = \frac{16.00 * 120}{4 * 400} * \left[3 - \frac{120^2}{400^2}\right] = 3.49 \text{ kN}$$ (DIN EN 1995-1-1/NA, NA.67)

$$F_{r,t,M,d} = 0.008 * \frac{M_{r,d}}{h_r} = 0.008 * \frac{6.00}{130 * 10^{-3}} = 0.37 \text{ kN}$$ (DIN EN 1995-1-1/NA, NA.68)

$$F_{r,t,90,d} = F_{r,t,V,d} + F_{r,t,M,d} = 3.49 + 0.37 = 3.86 \text{ kN}$$ (DIN EN 1995-1-1/NA, NA.66)

maßgebende Bemessungslast:

$F_{t,90,d} = max\left(F_{l,t,90,d}; F_{r,t,90,d}\right) = max\left(4.61; 3.86\right) = 4.61$ kN

unverstärkte Durchbrüche

Mindest- und Höchstmaße für unverstärkte Durchbrüche:

l_V = 500 mm $\geq$	h = 400 mm	Bedingung nach NCI NA.6.7 erfüllt
l_z = 400 mm $\geq$	$1.5 * h$ = 600 mm	Bedingung nach NCI NA.6.7 nicht erfüllt
l_A = 450 mm $\geq$	$h/2$ = 200 mm	Bedingung nach NCI NA.6.7 erfüllt
$h_{r,u(r,l)}$ = 130 mm $\geq$	$0.35 * h$ = 140 mm	Bedingung nach NCI NA.6.7 nicht erfüllt
l_h = 300 mm $\leq$	$0.4 * h$ = 160 mm	Bedingung nach NCI NA.6.7 nicht erfüllt
h_h = 120 mm $\leq$	$0.15 * h$ = 60 mm	Bedingung nach NCI NA.6.7 nicht erfüllt

Mindestens eine der geometrischen Randbedingungen zur Ausführung unverstärkter Durchbrüche ist nicht erfüllt. Der Durchbruch muss verstärkt werden.

verstärkte Durchbrüche

Mindest- und Höchstmaße für verstärkte Durchbrüche nach DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 NCI NA.6.8.4:

l_V = 500 mm $\geq$	h = 400 mm	Bedingung nach NCI NA.6.8 erfüllt
l_z = 400 mm $\geq$	h = 400 mm	Bedingung nach NCI NA.6.8 erfüllt
l_A = 450 mm $\geq$	$h/2$ = 200 mm	Bedingung nach NCI NA.6.8 erfüllt
$h_{r,u(r,l)}$ = 130 mm $\geq$	$0.25 * h$ = 100 mm	Bedingung nach NCI NA.6.8 erfüllt
l_h = 300 mm $\leq$	h = 400 mm	Bedingung nach NCI NA.6.8 erfüllt
l_h/h_h = 2.5 $\leq$	2.5	Bedingung nach NCI NA.6.8 erfüllt
h_h = 120 mm $\leq$	$0.3 * h$ = 120 mm	Bedingung nach NCI NA.6.8 erfüllt

Biegespannungsnachweis am Durchbruch

Bauteil: Brettschichtholz, GL24c $f_{v,k}$ = 3.50 N/mm² $f_{m,k}$ = 24.00 N/mm²

$$I_{netto} = \frac{b * h^3}{12} - \left[\frac{b * h_h^3}{12} + h_h * b * \left(\frac{h}{2} - h_{r,u} - \frac{h_h}{2}\right)^2\right]$$
$$= \frac{200 * 400^3}{12} - \left[\frac{200 * 120^3}{12} + 120 * 200 * \left(\frac{400}{2} - 130 - \frac{120}{2}\right)^2\right] = 1035466667 \text{ mm}^4$$

$$W_{netto} = \frac{I_{netto}}{\frac{h}{2}} = \frac{1035466667}{\frac{400}{2}} = 5177333 \text{ mm}^3$$

$$A_{r,u} = b * h_{r,u} = 200 * 130 = 26000 \text{ mm}^2$$

$$A_{r,l} = b * h_{r,l} = 200 * 150 = 30000 \text{ mm}^2$$

$$A_r = A_{r,u} + A_{r,l} = 26000 + 30000 = 56000 \text{ mm}^2$$

$$W_{r,u} = \frac{b * h_{r,u}^2}{6} = \frac{200 * 130^2}{6} = 563333 \text{ mm}^3$$

$$W_{r,l} = \frac{b * h_{r,l}^2}{6} = \frac{200 * 150^2}{6} = 750000 \text{ mm}^3$$

$$V_{r,u,d} = \frac{A_{r,u}}{A_r} * V_{m,d} = \frac{26000}{56000} * 18.00 = 8.36 \text{ kN}$$

$$V_{r,l,d} = \frac{A_{r,l}}{A_r} * V_{m,d} = \frac{30000}{56000} * 18.00 = 9.64 \text{ kN}$$

$$M_{r,u,d} = \frac{V_{r,u,d} * l_h}{2} = \frac{8.36 * 300 * 10^{-3}}{2} = 1.254 \text{ kNm}$$

$$M_{r,l,d} = \frac{V_{r,l,d} * l_h}{2} = \frac{9.64 * 300 * 10^{-3}}{2} = 1.446 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{r,u,m,d} = \frac{M_{m,d}}{W_{netto}} + \frac{M_{r,u,d}}{W_{r,u}} = \frac{5.00 * 10^6}{5177333} + \frac{1.254 * 10^6}{563333} = 3.19 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{r,l,m,d} = \frac{M_{m,d}}{W_{netto}} + \frac{M_{r,l,d}}{W_{r,l}} = \frac{5.00 * 10^6}{5177333} + \frac{1.446 * 10^6}{750000} = 2.89 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = k_{mod} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0.80 * \frac{24.0}{1.30} = 14.77 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis Biegespannung:	$max\left\{\frac{\sigma_{r,u,m,d}}{f_{m,d}}; \frac{\sigma_{r,l,m,d}}{f_{m,d}}\right\} = \frac{3.19}{14.77} =$	$0.22 \leq 1.00$

Schubspannung am Durchbruch

$$\kappa_{max} = 1.84 * \left(1 + \frac{l_h}{h}\right) * \left(\frac{h_h}{h}\right)^{0.2} = 1.84 * \left(1 + \frac{300}{400}\right) * \left(\frac{120}{400}\right)^{0.2} \quad \text{(aus [1], E 11.4.4)}$$

$$= 2.53$$

$$k_{cr} = \frac{2.50}{f_{v,k}} = \frac{2.50}{3.50} = 0.71$$

$$b_{ef} = k_{cr} * b = 0.71 * 200 = 142 \text{ mm}$$

$$V_d = max\left(V_{l,d}; V_{r,d}\right) = max\left(20.00; 16.00\right) = 20.00 \text{ kN}$$

$$\tau_{max,d} = \kappa_{max} * \frac{1.5 * V_d}{b_{ef} * (h - h_h)} = 2.53 * \frac{1.5 * 20.00 * 10^3}{142 * (400 - 120)} = 1.91 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0.80 * \frac{3.50}{1.30} = 2.15 \text{ N/mm}^2$$

Schubspannungsnachweis:	$\frac{\tau_{max,d}}{f_{v,d}} = \frac{1.91}{2.15} =$	$0.89 \leq 1.00$

Klebefugenfestigkeit

links des Durchbruchs:	$l_{r,l}$ = 130 mm	$l_{r,u}$ = 250 mm
rechts des Durchbruchs:	$l_{r,l}$ = 250 mm	$l_{r,u}$ = 130 mm

$$l_{ad} = min\left\{l_{r,l}; l_{r,u}\right\} = min\left\{130; 250\right\} = 130 \text{ mm}$$

Überprüfung der Einklebelänge l_{ad} nach TR 070, Gl. 4.4 und ETA-19/0194:

$$l_{ad,min} = max\left\{0.5 * d^2; 10 * d; 100 \text{ mm}\right\} = max\left\{72; 120; 100\right\} = 120 \text{ mm} \leq l_{ad} = 130 \text{ mm}$$

$$l_{ad,max} = min\left\{40 * d; 750 \text{ mm}\right\} = min\left\{480; 750\right\} = 480 \text{ mm} \geq l_{ad} = 130 \text{ mm}$$

$$n_{ef} = n^{0.9} = 2^{0.9} = 1.87$$

$$\tau_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d}}{n_{ef} * d * \pi * l_{ad}} = \frac{4.61 * 10^3}{1.87 * 12 * \pi * 130} = 0.50 \text{ N/mm}^2 \quad \text{(NA.86)}$$

$$f_{vr,k} = 4.30 \text{ N/mm}^2 \quad \text{(ETA-19/0194)}$$

$$f_{vr,d} = k_{mod} * \frac{f_{vr,k}}{\gamma_M} = 0.8 * \frac{4.30}{1.30} = 2.65 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Klebefugenfestigkeit:	$\frac{\tau_{ef,d}}{f_{vr,d}} = \frac{0.50}{2.65} =$	$0.19 \leq 1.00$

Stahlzugtragfähigkeit

Verbindungsmittel:	**2x2 M12 Hilti AM 5.8**	Hilti AG	ETA-19/0194
	f_{uk} = 500 N/mm²	f_{yk} = 400 N/mm²	$A_s = A_{ef}$ = 0.843 cm²

Stahlzugtragfähigkeit einer Gewindestange:

$$F_{t,d} = f_{yd} * A_{ef} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} * A_{ef} = \frac{400}{1.30} * 0.843 * 10^{-1} = 25.94 \text{ kN}$$ (DIN EN 1995-1-1/NA, NA.155)

Stahlzugtragfähigkeit der Verbindung:

$$F_{t,Rd} = n_{ef} * F_{t,d} = n^{0.9} * F_{t,d} = 2^{0.9} * 25.94 = 48.41 \text{ kN}$$

Nachweis Stahlzugtragfähigkeit:	$\frac{F_{t,90,d}}{F_{t,Rd}} = \frac{4.61}{48.41} =$	0.10 ≤ 1.00

Dehnvermögen des Holzes

$$F_{ax,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * E_s * A_s * \varepsilon_{u,tim}$$
$$= \frac{0.80}{1.30} * 210000 * 10^{-1} * 0.843 * 2.2 * 10^{-3} = 23.97 \text{ kN}$$ (FprEN 1995-1-1, Gl. 11.85)
$$F_{ax,Rd} = n_{ef} * F_{ax,d} = n^{0.9} * F_{ax,d} = 2^{0.9} * 23.97 = 44.73 \text{ kN}$$

Dehnvermögen des Holzes:	$\frac{F_{t,90,d}}{F_{ax,Rd}} = \frac{4.61}{44.73} =$	0.10 ≤ 1.00

Zusammenstellung der Ergebnisse

Nachweis Biegespannung:	$max\left\{\frac{\sigma_{r,u,m,d}}{f_{m,d}}; \frac{\sigma_{r,l,m,d}}{f_{m,d}}\right\} = \frac{3.19}{14.77} =$	0.22 ≤ 1.00
Schubspannungsnachweis:	$\frac{\tau_{max,d}}{f_{v,d}} = \frac{1.91}{2.15} =$	0.89 ≤ 1.00
Nachweis der Klebefugenfestigkeit:	$\frac{\tau_{ef,d}}{f_{vr,d}} = \frac{0.50}{2.65} =$	0.19 ≤ 1.00
Nachweis Stahlzugtragfähigkeit:	$\frac{F_{t,90,d}}{F_{t,Rd}} = \frac{4.61}{48.41} =$	0.10 ≤ 1.00
Dehnvermögen des Holzes:	$\frac{F_{t,90,d}}{F_{ax,Rd}} = \frac{4.61}{44.73} =$	0.10 ≤ 1.00

maßgebender Nachweis:	0.89 ≤ 1.00	**Nachweis erfüllt**

Hinweise

- Die Installation erfolgt durch direktes Befüllen der Injektion mit dem Hilti Dosiersystem.

Ausführung und Überwachung

- Die Installationsanweisungen der ETA sind zu beachten (z. B. die Dokumentation der Holzfeuchte, Temperatur während der Verklebung und Aushärtung, Klebermenge, Anfangs- und Endzeitpunkt der Verklebung etc.).
- Die Klebefugendicke t_b ist einzuhalten.
- Es ist auf saubere und unverbrannte Bohrlochwände zu achten.
- Abstandshalter und Zentrierhilfen sind zu verwenden.
- Die Herstellung von geklebten Verbindungen erfordert in einigen Ländern eine Bescheinigung über den Nachweis der Eignung zum Kleben tragender Holzbauteile gemäß DIN 1052-10:2012, Tabelle 2. Es ist zu prüfen, ob diese Bescheinigung erforderlich ist und ob das ausführende Unternehmen eine entsprechende Qualifikation vorweisen kann.

verwendete Normen

DIN EN 14080:2013-09	Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz
DIN EN 1995-1-1:2010-12	Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauteilen, Teil 1-1
DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07	Änderung A2 zu EC5
DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08	Nationaler Anhang (EC5)
TR 070 aus Oktober 2019	Design of Glued-in Rods for Timber Connections European Organisation for technical Assessment
ETA-19/0194 vom 12.09.2019	Hilti HIT-RE 500 V3 Glued-in rods for timber connections Hilti Aktiengesellschaft, 9494 Schaan, Fürstentum Liechtenstein
[1]	Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken Auflage 1, August 2004