

Nachweis Zugstoß

nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 und Nationalem Anhang DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08

Anschluss & Geometrie

4-schnittige Stabdübelverbindung mit innenliegenden Schlitzblechen

Holzart: Brettschichtholz

Festigkeit: GL24h nach DIN EN 14080:2013-09

Breite b : 200 mm

Höhe h : 200 mm

Seitenholzdicke t_1 : 60 mm

Mittelholzdicke t_2 : 68 mm

Stahlsorte (Blech): S 235

Stahlblechdicke t_s : 6 mm

Stahlsorte (SDÜ): S 235

Durchmesser d : 12 mm

Reihen \parallel zur Faser n : 3

Reihen \perp zur Faser m : 3

Verbindungsmittelabstände:

a_1 : 60 mm

a_2 : 45 mm

$a_{3,t}$: 85 mm

$a_{4,c}$: 60 mm

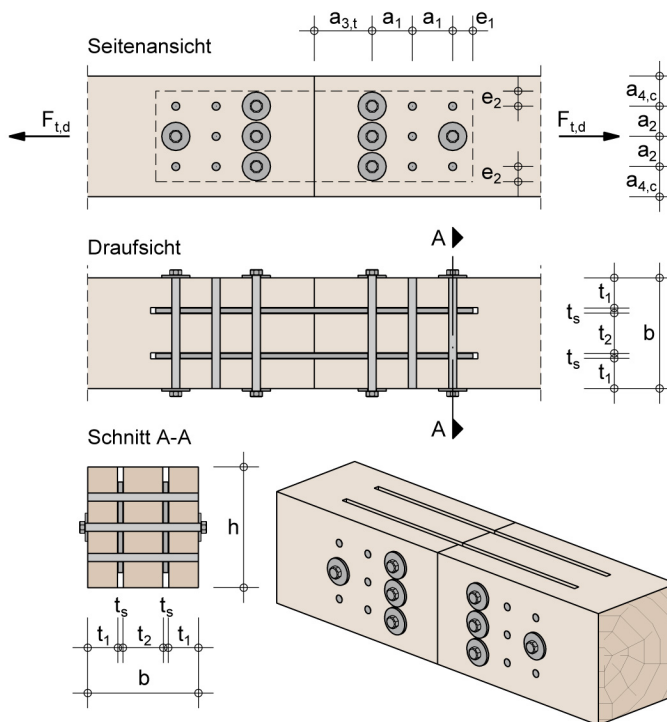
e_1 : 20 mm

e_2 : 20 mm

ausziehfestes VM: Passbolzen M 12 mit U-Scheibe Typ 44/4 nach DIN EN ISO 7094

Festigkeitsklasse: 4.8

Anzahl ausziehfester VM¹: 3



Beanspruchung

Beanspruchung $F_{t,d}$: 180.00 kN

Nutzungsstufe: NKL1 KLED: kurz Modifikationsbeiwert k_{mod} : 0.9

Nachweis:	$0.98 \leq 1.00$	Nachweis erfüllt
-----------	------------------	------------------

¹Die Anzahl ausziehfester Verbindungsmittel bezieht sich auf die erste Verbindungsmittelreihe. Um die Klemmwirkung zu erhöhen sollte bei Stabdübelanschlüssen mit mehr als sechs Stabdübeln etwa jeder sechste der statisch erforderlichen Stabdübel als Passbolzen ausgeführt werden.

Bemessung**Tragfähigkeitsnachweis Seitenholz - Zug im Nettoquerschnitt**

Luft je Schnitt $t_{s,L}$: 1.0 mm Berücksichtigung der Schlitzbreite im Holzabbund
 $k_{t,e}$: 0.67 Abminderung Zugtragfähigkeit nach NCI NA. 8.1.6

$$A_{1,netto} = (t_1 - t_{s,L}) * (h - m * d) * 10^{-2} = (60 - 1.0) * (200 - 3 * 12) * 10^{-2} = 96.76 \text{ cm}^2$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0.9 * \frac{19.2}{1.30} * 10^{-1} = 1.329 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{\frac{1}{s} * F_{t,d}}{A_{1,netto}} = \frac{\frac{1}{4} * 180.00}{96.76} = 0.465 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} = \left(\frac{600}{200} \right)^{0.1} = 1.12 \quad = 1.1 \right. \quad (3.2)$$

Tragfähigkeit Seitenholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_{t,e} * k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.465}{0.67 * 1.1 * 1.329} =$	$0.47 \leq 1.00$
---------------------------	---	------------------

Tragfähigkeitsnachweis Mittelholz - Zug im Nettoquerschnitt

$$A_{2,netto} = (t_2 - 2 * t_{s,L}) * (h - m * d) * 10^{-2} = (68 - 2 * 1.0) * (200 - 3 * 12) * 10^{-2} = 108.24 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{\frac{2}{s} * F_{t,d}}{A_{2,netto}} = \frac{\frac{2}{4} * 180.00}{108.24} = 0.831 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} = \left(\frac{600}{200} \right)^{0.1} = 1.12 \quad = 1.1 \right. \quad (3.2)$$

Tragfähigkeit Mittelholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.831}{1.1 * 1.329} =$	$0.57 \leq 1.00$
---------------------------	--	------------------

Tragfähigkeitsnachweis Stahlblech - Zug im Nettoquerschnitt

Streckgrenze f_y (S 235): 235 N/mm²

Zugfestigkeit f_u (S 235): 360 N/mm²

n_s : 2 Anzahl der Stahlbleche

γ_{M0} : 1,00

γ_{M2} : 1,25

d_0 : 13 mm max. Lochdurchmesser (DIN EN 1995-1-1/NA, NCI Zu 8.6)

$$A = n_s * t_s * (2 * e_2 + (m - 1) * a_2) = 2 * 6 * (2 * 20 + (3 - 1) * 45) = 1560 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = n_s * t_s * (2 * e_2 + (m - 1) * a_2 - m * d_0) = 2 * 6 * (2 * 20 + (3 - 1) * 45 - 3 * 13) = 1092 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} * 10^{-3} = \frac{1560 * 235}{1.00} * 10^{-3} = 366.6 \text{ kN} \quad (6.6)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} * 10^{-3} = \frac{0.9 * 1092 * 360}{1.25} * 10^{-3} = 283.0 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Tragfähigkeit Stahlblech:	$\frac{F_{t,d}}{N_{Rd}} = \frac{180.00}{283.0} =$	$0.64 \leq 1.00$
---------------------------	---	------------------

Verbindungsmittelnachweis - Zugtragfähigkeit des ausziehfesten Verbindungsmittels

Normalkraft in den einseitig beanspruchten Laschen

$$F_d = \frac{2}{s} * F_{t,d} = \frac{2}{4} * 180.00 = 90.00 \text{ kN}$$

$$F_{t,d} = \frac{F_d * t}{2 * n * a} = \frac{90.00 * 60}{2 * 3 * 60} = 15.00 \text{ kN} \quad (\text{DIN 1995-1-1/NA:2013-08, Gl. NA.108})$$

Zugkraft je ausziehfestem Verbindungsmittel

$$F_{aVM,t,d} = \frac{15.00}{3} = 5.00 \text{ kN}$$

Zugfestigkeit f_{ub} (PB 4.8): 400 N/mm²

Unterlegscheibe: M 12 nach DIN EN ISO 7094

Lochdurchmesser d_1 : 13.5 mm

Scheibendurchmesser: d_2 : 44.0 mm

Spannungsquerschnitt: A_s : 84.30 mm² des Passbolzens M 12

γ_M : 1.30

γ_{M2} : 1.25

Tragfähigkeit der Unterlegscheibe

$$A_{ef} = \pi * \left(\left(\frac{d_2}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \right) = 1377 \text{ mm}^2$$

$$F_{ax,Rk} = (3 * f_{c,90,g,k} * A_{ef}) * 10^{-3} = 10.3 \text{ kN} \quad (\text{DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08, 8.5.2 (2)})$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} = 0.9 * \frac{10.3}{1.30} = 7.13 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des Passbolzens

$$k_2 = 0.9$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 * 400 * 84.30}{1.25} = 24.28 \text{ kN} \quad (\text{DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tab. 3.4})$$

$$F_{Rd} = \min \begin{cases} F_{ax,Rd} = 7.13 \text{ kN} \\ F_{t,Rd} = 24.28 \text{ kN} \end{cases}$$

Nachweis ausziehfestes Verbindungsmittel:	$\frac{F_{aVM,t,d}}{F_{Rd}} = \frac{5.00}{7.13} =$	$0.70 \leq 1.00$
---	--	------------------

Verbindungsmittelnachweis - Tragfähigkeit des Verbindungsmittels im Stahlblech

n_s :	2	Anzahl der Stahlbleche
p_2 :	45 mm	entspricht Verbindungsmittelabstand a_2
d_0 :	13 mm	max. Lochdurchmesser (DIN EN 1995-1-1/NA, NCI Zu 8.6)
a_v :	0.6	nach DIN EN 1993-1-8:2010-12, Abs. 3.6, Tab. 3.4

$$k_1 = \min \begin{cases} 2.8 * \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 2.8 * \frac{20}{13} - 1.7 = 2.61 \\ 1.4 * \frac{p_2}{d_0} - 1.7 = 1.4 * \frac{45}{13} - 1.7 = 3.15 \\ 2.5 \end{cases} \quad (\text{DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tab. 3.4})$$

Zugfestigkeit (SDü) f_{ub} : 360 N/mm²Zugfestigkeit (Blech) f_u : 360 N/mm² $\gamma_{M,2}$: 1,25 nach DIN EN 1993-1-8:2010-12, Abs. 2.2, Tab. 2.1

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{20}{3 * 13} = 0.51$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} \alpha_d = 0.51 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{360}{360} = 1.00 \\ 1.00 \end{cases} \quad (\text{DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tab. 3.4})$$

Lochleibung:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t_s}{\gamma_{M,2}} * 10^{-3} = \frac{2.50 * 0.51 * 360 * 12 * 6}{1.25} * 10^{-3} = 26.44 \text{ kN}$$

Abscheren:

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2 = \frac{3.14}{4} * 12^2 = 113 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M,2}} * 10^{-3} = \frac{0.6 * 360 * 113}{1.25} * 10^{-3} = 19.53 \text{ kN}$$

Beanspruchung:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{t,d}}{n_{ef} * m * n_s} = \frac{180.00}{2.12 * 3 * 2} = 14.15 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit:

$$F_{Rd} = \min \begin{cases} F_{b,Rd} = 26.44 \text{ kN} \\ 2 * F_{v,Rd} = 2 * 19.53 = 39.06 \text{ kN} \end{cases}$$

Nachweis des Verbindungsmittels im Blech:	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{Rd}} = \frac{14.15}{26.44} =$	$0.54 \leq 1.00$
---	---	------------------

Blockversagen im Stahlblech n_s : 2 Anzahl der Stahlbleche

Stahlsorte (Blech): S 235

$$A_{nt} = (m - 1) * (a_2 - d_0) * t_s = (3 - 1) * (45 - 13) * 6 = 384 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = \left((n-1) * (a_1 - d_0) + \left(e_1 - \frac{d_0}{2} \right) \right) * t_s * 2$$

$$= \left((3-1) * (60 - 13) + \left(20 - \frac{13}{2} \right) \right) * 6 * 2 = 1290 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \left(f_u * \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} * \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}} \right) * 10^{-3}$$

$$= \left(360 * \frac{384}{1.25} + \frac{235}{\sqrt{3}} * \frac{1290}{1.00} \right) * 10^{-3} = 285.62 \text{ kN}$$

(DIN EN 1993-1-8:2010-12, Gl. 3.9)

Beanspruchung:

$$F_{t,d} = 180.00 \text{ kN}$$

Blockversagen im Blech:	$\frac{F_{t,d}}{n_s * V_{eff,1,Rd}} = \frac{180.00}{2 * 285.62} =$	$0.32 \leq 1.00$
-------------------------	--	------------------

Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im Holzbauteil (genaues Bemessungsverfahren)

Rohdichte (GL24h) ρ_k : 385 kg/m²

Zugfestigkeit (SDü) $f_{u,k}$: 360 N/mm²

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 12) * 385 = 27.78 \text{ N/mm}^2 \tag{8.32}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 360 * 12^{2,6} = 69071 \text{ Nmm} \tag{8.30}$$

Scherfuge I und IV:

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} = 27.78 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{v,Rk,I} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(f)} f_{h,1,k} * t_1 * d \\ \text{(g)} f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ \text{(h)} 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(f)} 27.78 * 60 * 12 = 20002 \text{ N} \\ \text{(g)} 27.78 * 60 * 12 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 69071}{27.78 * 12 * 60^2}} - 1 \right] + 0 = 9869 \text{ N} \\ \text{(h)} 2.3 * \sqrt{69071 * 27.78 * 12} + 0 = 11037 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$= 9869 \text{ N} \tag{8.11}$$

Scherfuge II:

$$f_{h,2,k} = f_{h,0,k} = 25.26 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{v,Rk,II} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(l)} 0.5 * f_{h,2,k} * t_2 * d \\ \text{(m)} 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(l)} 0.5 * 27.78 * 68 * 12 = 11334 \text{ N} \\ \text{(m)} 2.3 * \sqrt{69071 * 27.78 * 12} + 0 = 11037 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$= 11037 \text{ N} \tag{8.13}$$

Scherfuge III:

$$f_{h,2,k} = f_{h,0,k} = 27.78 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{v,Rk,III} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(f)} f_{h,2,k} * t_2 * d \\ \text{(h)} 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(f)} 27.78 * 68 * 12 = 22668 \text{ N} \\ \text{(h)} 2.3 * \sqrt{69071 * 27.78 * 12} + 0 = 11037 \text{ N} \end{array} \right. \quad (8.11)$$

$$= 11037 \text{ N}$$

charakteristische Gesamttragfähigkeit eines Stabdübels auf Abscheren:

$$F_{v,Rk} = 2 * F_{v,Rk,I} + 2 * \min \left\{ \begin{array}{l} F_{v,Rk,II} \\ F_{v,Rk,III} \end{array} \right.$$

$$= 2 * 9869 + 2 * 11037 = 41812 \text{ N}$$

wirksame Stabdübelanzahl pro Reihe:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n = 3 \\ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 * d}} = 3^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{60}{13 * 12}} = 2.12 \end{array} \right.$$

$$= 2.12 \quad (8.34)$$

charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung:

$$F_{v,Rk,ges} = n_{ef} * m * F_{v,Rk} * 10^{-3} = 2.12 * 3 * 41812 * 10^{-3} = 265.92 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk,ges}}{\gamma_M} = 0.9 * \frac{265.92}{1.3} = 184.10 \text{ kN}$$

Nachweis des Verbindungsmittels im Holz:	$\frac{F_{t,d}}{F_{v,Rd}} = \frac{180.00}{184.10} =$	$0.98 \leq 1.00$
--	--	------------------

Nachweis Blockscherversagen

$$l_{v,1} = a_{3,t} - \frac{d}{2} = 85 - \frac{12}{2} = 79.0 \text{ mm}$$

$$l_{v,2} = a_1 - d = 60 - 12 = 48.0 \text{ mm}$$

$$l_{t,1} = a_2 - d = 45 - 12 = 33.0 \text{ mm}$$

$$L_{net,v} = 2 * l_{v,1} + 2 * (n - 1) * l_{v,2} = 2 * 79.0 + 2 * (3 - 1) * 48.0 = 350.0 \text{ mm} \quad (A.4)$$

$$L_{net,t} = (m - 1) * l_{t,1} = (3 - 1) * 33.0 = 66.0 \text{ mm} \quad (A.5)$$

Luft je Schnitt $t_{s,L}$: 1.0 mm Berücksichtigung der Schlitzbreite im HolzabbundSchnittigkeit s : 4

$$A_{net,t} = L_{net,t} * (2 * t_1 + t_2 - s * t_{s,L}) = 66.0 * (2 * 60 + 68 - 4 * 1.0) = 12144 \text{ mm}^2$$

$$t_{ef} = \begin{cases} \text{(e) (h)} & 2 * \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d}} \\ \text{(d) (g)} & t_1 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] \end{cases} \quad (\text{DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07, Gl. A.7})$$

$$= \begin{cases} \text{(e) (h)} & 2 * \sqrt{\frac{69071}{27.78 * 12}} = 28.8 \text{ mm} \\ \text{(d) (g)} & 60 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 69071}{27.78 * 12 * 60^2}} - 1 \right] = 29.6 \text{ mm} \end{cases}$$

Scherfuge I und IV:

$$A_{net,v,I} = \min \begin{cases} \text{(f)} & L_{net,v} * (t_1 - t_{s,L}) = 350.0 * (60 - 1.0) = 20650 \text{ mm}^2 \\ \text{(g)} & \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) = \frac{350.0}{2} * (66.0 + 2 * 29.6) = 21910 \text{ mm}^2 \\ \text{(h)} & \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) = \frac{350.0}{2} * (66.0 + 2 * 28.8) = 21630 \text{ mm}^2 \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

$$= 20650 \text{ mm}^2$$

Scherfuge II:

$$A_{net,v,II} = (l/m) L_{net,v} * (t_2 - 2 * t_{s,L}) = 350.0 * (68 - 2 * 1.0) = 23100 \text{ mm}^2 \quad (\text{A.3})$$

Scherfuge III:

$$A_{net,v,III} = \min \begin{cases} \text{(f)} & L_{net,v} * (t_2 - 2 * t_{s,L}) = 350.0 * (68 - 2 * 1.0) = 23100 \text{ mm}^2 \\ \text{(h)} & \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) = \frac{350.0}{2} * (66.0 + 2 * 28.8) = 21630 \text{ mm}^2 \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

$$= 21630 \text{ mm}^2$$

Nettoscherfläche in Faserrichtung des Holzes:

$$A_{net,v} = 2 * A_{net,v,I} + 2 * \min \begin{cases} A_{net,v,II} \\ A_{net,v,III} \end{cases}$$

$$= 2 * 20650 + 2 * 21630 = 84560 \text{ mm}^2$$

charakteristische Tragfähigkeit infolge Blockscheren:

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1.50 * A_{net,t} * f_{t,0,k} * 10^{-3} = 1.50 * 12144 * 19.2 * 10^{-3} = 349.7 \text{ kN} \\ 0.70 * A_{net,v} * f_{v,k} * 10^{-3} = 0.70 * 84560 * 3.5 * 10^{-3} = 207.2 \text{ kN} \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit:

$$F_{bs,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{bs,Rk}}{1.30} = 0.9 * \frac{349.7}{1.30} = 242.10 \text{ kN}$$

Nachweis Blockscheren im Holz:

$$\frac{F_{t,d}}{F_{bs,Rd}} = \frac{180.00}{242.10} =$$

$$0.74 \leq 1.00$$

Zusammenstellung der Ergebnisse

Tragfähigkeit Seitenholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_{t,e} * k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.465}{0.67 * 1.1 * 1.329} =$	$0.47 \leq 1.00$
Tragfähigkeit Mittelholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.831}{1.1 * 1.329} =$	$0.57 \leq 1.00$
Tragfähigkeit Stahlblech:	$\frac{N_{Rd}}{F_{t,d}} = \frac{180.00}{283.0} =$	$0.64 \leq 1.00$
Nachweis ausziehfestes Verbindungsmittel:	$\frac{F_{aVM,t,d}}{F_{Rd}} = \frac{5.00}{7.13} =$	$0.70 \leq 1.00$
Nachweis des Verbindungsmittels im Blech:	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{Rd}} = \frac{14.15}{26.44} =$	$0.54 \leq 1.00$
Blockversagen im Blech:	$\frac{F_{t,d}}{n_s * V_{eff,1,Rd}} = \frac{180.00}{2 * 285.62} =$	$0.32 \leq 1.00$
Nachweis des Verbindungsmittels im Holz:	$\frac{F_{v,Rd}}{F_{t,d}} = \frac{184.10}{180.00} =$	$0.98 \leq 1.00$
Nachweis Blockscheren im Holz:	$\frac{F_{t,d}}{F_{bs,Rd}} = \frac{180.00}{242.10} =$	$0.74 \leq 1.00$

Nachweis:	$0.98 \leq 1.00$	Nachweis erfüllt
-----------	------------------	-------------------------

verwendete Normen

DIN EN 14080:2013-09	Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz
DIN EN 1993-1-1:2010-12	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1
DIN EN 1993-1-8:2010-12	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-8
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)