

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 : 240 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 : 2

Reihen \perp zur Faser m : 4

Verbindungsmittelabstände:

a_1 : 60 mm

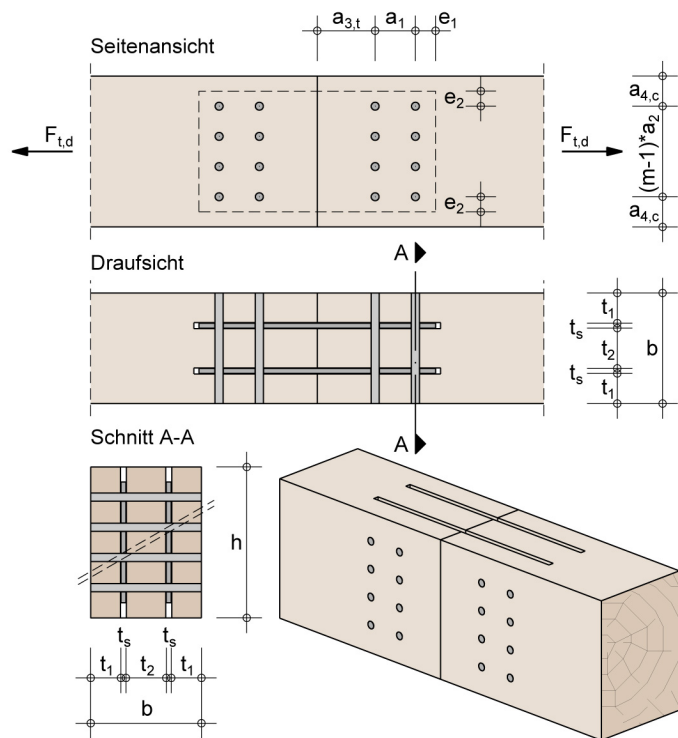
a_2 : 40 mm

$a_{3,t}$: 85 mm

$a_{4,c}$: 60 mm

e_1 : 20 mm

e_2 : 20 mm



Beanspruchung

Beanspruchung $F_{t,d}$: 140.00 kN

Nutzungsstufe: NKL1 KLED: mittel

Modifikationsbeiwert k_{mod} : 0.8

Nachweis:

$0.93 \leq 1.00$

Nachweis erfüllt

Bemessung**Tragfähigkeitsnachweis Seitenholz - Zug im Nettoquerschnitt**

Luft je Schnitt $t_{s,L}$: 1.0 mm Berücksichtigung der Schlitzbreite im Holzabbund
 $k_{t,e}$: 0.40 Abminderung Zugtragfähigkeit nach NCI NA. 8.1.6

$$A_{1,netto} = (t_1 - t_{s,L}) * (h - m * d) * 10^{-2} = (60 - 1.0) * (240 - 4 * 12) * 10^{-2} = 113.28 \text{ cm}^2$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0.8 * \frac{19.2}{1.30} * 10^{-1} = 1.182 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{\frac{1}{s} * F_{t,d}}{A_{1,netto}} = \frac{\frac{1}{4} * 140.00}{113.28} = 0.309 \text{ kN/cm}^2$$

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

Tragfähigkeit Seitenholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_{t,e} * k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.309}{0.40 * 1.1 * 1.182} =$	$0.59 \leq 1.00$
---------------------------	---	------------------

Tragfähigkeitsnachweis Mittelholz - Zug im Nettoquerschnitt

$$A_{2,netto} = (t_2 - 2 * t_{s,L}) * (h - m * d) * 10^{-2} = (68 - 2 * 1.0) * (240 - 4 * 12) * 10^{-2} = 126.72 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{\frac{2}{s} * F_{t,d}}{A_{2,netto}} = \frac{\frac{2}{4} * 140.00}{126.72} = 0.552 \text{ kN/cm}^2$$

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

Tragfähigkeit Mittelholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.552}{1.1 * 1.182} =$	$0.42 \leq 1.00$
---------------------------	--	------------------

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)

$$A = n_s * t_s * (2 * e_2 + (m - 1) * a_2) = 2 * 6 * (2 * 20 + (4 - 1) * 40) = 1920 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = n_s * t_s * (2 * e_2 + (m - 1) * a_2 - m * d_0) = 2 * 6 * (2 * 20 + (4 - 1) * 40 - 4 * 13) = 1296 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} * 10^{-3} = \frac{1920 * 235}{1.00} * 10^{-3} = 451.2 \text{ kN} \quad (6.6)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} * 10^{-3} = \frac{0.9 * 1296 * 360}{1.25} * 10^{-3} = 335.9 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Tragfähigkeit Stahlblech:	$\frac{F_{t,d}}{N_{Rd}} = \frac{140.00}{335.9} =$	$0.42 \leq 1.00$
---------------------------	---	------------------

Verbindungsmittelnachweis - Tragfähigkeit des Verbindungsmittels im Stahlblech

n_s :	2	Anzahl der Stahlbleche
p_2 :	40 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

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2.8 * \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 2.8 * \frac{20}{13} - 1.7 = 2.61 \\ 1.4 * \frac{p_2}{d_0} - 1.7 = 1.4 * \frac{40}{13} - 1.7 = 2.61 \\ 2.5 \end{array} \right. \quad (\text{DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tab. 3.4})$$

Zugfestigkeit (SDü) f_{ub} : 360 N/mm²

Zugfestigkeit (Blech) f_u : 360 N/mm²

γ_{M2} : 1,25 nach DIN EN 1993-1-8:2010-12, Abs. 2.2, Tab. 2.1

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

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

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:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{t,d}}{n_{ef} * m * n_s} = \frac{140.00}{1.47 * 4 * 2} = 11.90 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit:

$$F_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{b,Rd} = 26.44 \text{ kN} \\ 2 * F_{v,Rd} = 2 * 19.53 = 39.06 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Nachweis des Verbindungsmittels im Blech:	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{Rd}} = \frac{11.90}{26.44} =$	$0.45 \leq 1.00$
---	---	------------------

Blockversagen im Stahlblech

n_s : 2 Anzahl der Stahlbleche
Stahlsorte (Blech): S 235

$$A_{nt} = (m - 1) * (a_2 - d_0) * t_s = (4 - 1) * (40 - 13) * 6 = 486 \text{ mm}^2$$

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

$$= \left((2 - 1) * (60 - 13) + \left(20 - \frac{13}{2} \right) \right) * 6 * 2 = 726 \text{ mm}^2$$

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

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

$$= \left(360 * \frac{486}{1.25} + \frac{235}{\sqrt{3}} * \frac{726}{1.00} \right) * 10^{-3} = 238.47 \text{ kN}$$

Beanspruchung:

$$F_{t,d} = 140.00 \text{ kN}$$

Blockversagen im Blech: $\frac{F_{t,d}}{n_s * V_{eff,1,Rd}} = \frac{140.00}{2 * 238.47} = 0.29 \leq 1.00$

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:

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

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

$$= \min \begin{cases} \text{(f)} 27.78 * 60 * 12 = 20002 \text{ N} \\ \text{(g)} 27.78 * 60 * 12 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 69071}{27.78 * 12 * 60^2}} - 1 \right] + 0 = 9869 \text{ N} \\ \text{(h)} 2.3 * \sqrt{69071 * 27.78 * 12} + 0 = 11037 \text{ N} \end{cases} \tag{8.11}$$

$$= 9869 \text{ N}$$

Scherfuge II:

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

$$\begin{aligned}
 F_{v,Rk,II} &= \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(l)} 0.5 * f_{h,2,k} * t_2 * d \\ \text{(m)} 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \\
 &= \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(l)} 0.5 * 27.78 * 68 * 12 = 11334 \text{ N} \\ \text{(m)} 2.3 * \sqrt{69071 * 27.78 * 12} + 0 = 11037 \text{ N} \end{array} \right. \\
 &= 11037 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{8.13}$$

Scherfuge III:

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

$$\begin{aligned}
 F_{v,Rk,III} &= \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(f)} f_{h,2,k} * t_2 * d \\ \text{(h)} 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \\
 &= \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(f)} 27.78 * 68 * 12 = 22668 \text{ N} \\ \text{(h)} 2.3 * \sqrt{69071 * 27.78 * 12} + 0 = 11037 \text{ N} \end{array} \right. \\
 &= 11037 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{8.11}$$

charakteristische Gesamtt Tragfähigkeit eines Stabdübels auf Abscheren:

$$\begin{aligned}
 F_{v,Rk} &= 2 * F_{v,Rk,I} + 2 * \min \left\{ \begin{array}{l} F_{v,Rk,II} \\ F_{v,Rk,III} \end{array} \right. \\
 &= 2 * 9869 + 2 * 11037 = 41812 \text{ N}
 \end{aligned}$$

wirksame Stabdübelsanzahl pro Reihe:

$$\begin{aligned}
 n_{ef} &= \min \left\{ \begin{array}{l} n = 2 \\ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 * d}} = 2^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{60}{13 * 12}} = 1.47 \end{array} \right. \\
 &= 1.47
 \end{aligned} \tag{8.34}$$

charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung:

$$F_{v,Rk,ges} = n_{ef} * m * F_{v,Rk} * 10^{-3} = 1.47 * 4 * 41812 * 10^{-3} = 245.85 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk,ges}}{\gamma_M} = 0.8 * \frac{245.85}{1.3} = 151.29 \text{ kN}$$

Nachweis des Verbindungsmittels im Holz:	$\frac{F_{t,d}}{F_{v,Rd}} = \frac{140.00}{151.29} =$	$0.93 \leq 1.00$
--	--	------------------

Nachweis Blockscherensversagen

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

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

$$l_{t,1} = a_2 - d = 40 - 12 = 28.0 \text{ mm}$$

$$L_{net,v} = 2 * l_{v,1} + 2 * (n - 1) * l_{v,2} = 2 * 79.0 + 2 * (2 - 1) * 48.0 = 254.0 \text{ mm} \quad (\text{A.4})$$

$$L_{net,t} = (m - 1) * l_{t,1} = (4 - 1) * 28.0 = 84.0 \text{ mm} \quad (\text{A.5})$$

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

Schnittigkeit s : 4

$$A_{net,t} = L_{net,t} * (2 * t_1 + t_2 - s * t_{s,L}) = 84.0 * (2 * 60 + 68 - 4 * 1.0) = 15456 \text{ mm}^2$$

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

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

Scherfuge I und IV:

$$A_{net,v,I} = \min \begin{cases} \text{(f)} & L_{net,v} * (t_1 - t_{s,L}) = 254.0 * (60 - 1.0) = 14986 \text{ mm}^2 \\ \text{(g)} & \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) = \frac{254.0}{2} * (84.0 + 2 * 29.6) = 18186 \text{ mm}^2 \\ \text{(h)} & \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) = \frac{254.0}{2} * (84.0 + 2 * 28.8) = 17983 \text{ mm}^2 \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

$$= 14986 \text{ mm}^2$$

Scherfuge II:

$$A_{net,v,II} = (l/m) L_{net,v} * (t_2 - 2 * t_{s,L}) = 254.0 * (68 - 2 * 1.0) = 16764 \text{ mm}^2 \quad (\text{A.3})$$

Scherfuge III:

$$A_{net,v,III} = \min \begin{cases} \text{(f)} & L_{net,v} * (t_2 - 2 * t_{s,L}) = 254.0 * (68 - 2 * 1.0) = 16764 \text{ mm}^2 \\ \text{(h)} & \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) = \frac{254.0}{2} * (84.0 + 2 * 28.8) = 17983 \text{ mm}^2 \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

$$= 16764 \text{ mm}^2$$

Nettoscherfläche in Faserrichtung des Holzes:

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

$$= 2 * 14986 + 2 * 16764 = 63500 \text{ mm}^2$$

charakteristische Tragfähigkeit infolge Blockscheren:

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1.50 * A_{net,t} * f_{t,0,k} * 10^{-3} = 1.50 * 15456 * 19.2 * 10^{-3} = 445.1 \text{ kN} \\ 0.70 * A_{net,v} * f_{v,k} * 10^{-3} = 0.70 * 63500 * 3.5 * 10^{-3} = 155.6 \text{ kN} \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit:

$$F_{bs,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{bs,Rk}}{1.30} = 0.8 * \frac{445.1}{1.30} = 273.91 \text{ kN}$$

Nachweis Blockscheren im Holz:	$\frac{F_{t,d}}{F_{bs,Rd}} = \frac{140.00}{273.91} =$	$0.51 \leq 1.00$
--------------------------------	---	------------------

Zusammenstellung der Ergebnisse

Tragfähigkeit Seitenholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_{t,e} * k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.309}{0.40 * 1.1 * 1.182} =$	$0.59 \leq 1.00$
Tragfähigkeit Mittelholz:	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_h * f_{t,0,d}} = \frac{0.552}{1.1 * 1.182} =$	$0.42 \leq 1.00$
Tragfähigkeit Stahlblech:	$\frac{F_{t,d}}{N_{Rd}} = \frac{140.00}{335.9} =$	$0.42 \leq 1.00$
Nachweis des Verbindungsmittels im Blech:	$\frac{F_{Rd}}{F_{v,Ed}} = \frac{26.44}{11.90} =$	$0.45 \leq 1.00$
Blockversagen im Blech:	$\frac{F_{Rd}}{F_{t,d}} = \frac{140.00}{2 * 238.47} =$	$0.29 \leq 1.00$
Nachweis des Verbindungsmittels im Holz:	$\frac{F_{t,d}}{F_{v,Rd}} = \frac{140.00}{151.29} =$	$0.93 \leq 1.00$
Nachweis Blockscheren im Holz:	$\frac{F_{t,d}}{F_{bs,Rd}} = \frac{140.00}{273.91} =$	$0.51 \leq 1.00$
Nachweis:	$0.93 \leq 1.00$	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)