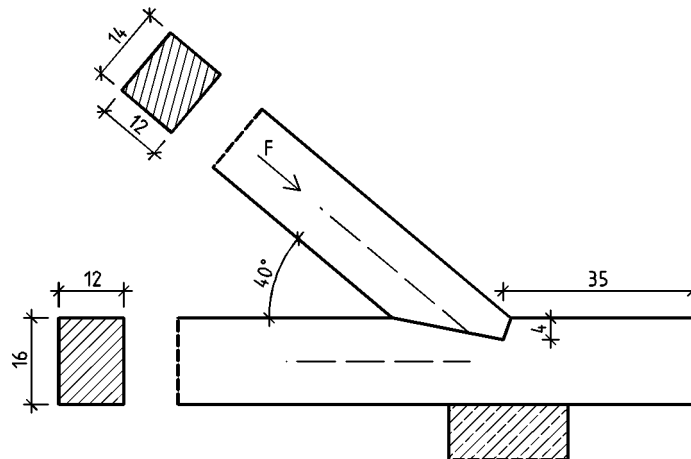


## HO2 – Beispiel 1: Stirnversatz nach DIN 1052:2008

### System



Lasten:	$F_{G,k} = 14 \text{ kN}$ (ständige Last)
	$F_{Q,k} = 12 \text{ kN}$ (Wind)
Material:	NH C30
	Nutzungsklasse 2
Geometrie:	Druckstrebe: $b_D/h_D = 12/14$
	Schwelle: $b_S/h_S = 12/16$
	Anschlusswinkel: $\gamma = 40^\circ$
	Einschnitttiefe: $t_v = 4 \text{ cm}$
	Vorholzlänge: $l_v = 35 \text{ cm}$
	Druckstrebenlänge: $l_{D,ef} = 208 \text{ cm}$

### Maßgebender Lastfall

Lastfall 1: nur Eigengewicht

$$F_{d,1} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 14 \text{ kN} = 18,9 \text{ kN}$$

Lastfall 2: Eigengewicht und Wind

$$F_{d,2} = \gamma_G \cdot F_{G,k} + \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,35 \cdot 14 \text{ kN} + 1,50 \cdot 12 \text{ kN} = 36,9 \text{ kN}$$

Bestimmung des maßgebenden Lastfalls

$$\frac{F_{d,1}}{k_{\text{mod},1}} = \frac{18,9}{0,6} = 31,5 < \underline{41,0} = \frac{36,9}{0,9} = \frac{F_{d,2}}{k_{\text{mod},2}}$$

Lastfall 2 („Eigengewicht und Wind“) maßgebend für die Bemessung:

$$F_d = F_{d,2} = 36,9 \text{ kN}$$

## Tragfähigkeit der Stirnfläche

### Querschnittswerte

Druckstrebenneigung

$$\gamma = 40^\circ$$

Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung am Stirnversatz

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{40^\circ}{2} = 20^\circ$$

Einschnitttiefe

$$t_v = 4 \text{ cm} \leq 4 \text{ cm} = \frac{16 \text{ cm}}{4} = \frac{h_s}{4}$$

Druckfläche am Stirnversatz

$$A_{90} = \frac{b_D \cdot t_v}{\cos \alpha} = \frac{12 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm}}{\cos 20^\circ} = 51,1 \text{ cm}^2$$

### Bemessungswerte der Festigkeiten

Nutzungsklasse 2 und „kurze“ Lasteinwirkungsdauer:  $k_{\text{mod}} = 0,9$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 23,0 \text{ MN/m}^2 = 15,92 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{c,90,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 2,7 \text{ MN/m}^2 = 1,87 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 2,0 \text{ MN/m}^2 = 1,38 \text{ MN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 f_{c,\alpha,d} &= \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left( \frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha \right)^2 + \left( \frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot 1,4 \cdot f_{v,d}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right)^2 + \cos^4 \alpha}} \\
 &= \frac{15,92 \text{ MN/m}^2}{\sqrt{\left( \frac{15,92 \text{ MN/m}^2}{2 \cdot 1,87 \text{ MN/m}^2} \cdot \sin^2 20^\circ \right)^2 + \left( \frac{15,92 \text{ MN/m}^2}{2 \cdot 1,4 \cdot 1,38 \text{ MN/m}^2} \cdot \sin 20^\circ \cdot \cos 20^\circ \right)^2 + \cos^4 20^\circ}} \\
 &= 9,55 \text{ MN/m}^2
 \end{aligned}$$

### Tragfähigkeit

Tragfähigkeit senkrecht zur Stirnfläche

$$R_{S,\alpha,d} = f_{c,\alpha,d} \cdot A_{90} = 9,55 \text{ MN/m}^2 \cdot 51,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 48,8 \text{ kN}$$

Transformation in Richtung der Druckstrebe

$$R_{S,d} = \frac{R_{S,\alpha,d}}{\cos \alpha} = \frac{48,8 \text{ kN}}{\cos 20^\circ} = \underline{\underline{51,9 \text{ kN}}}$$

## Tragfähigkeit der Vorholzscherfläche

### Querschnittswerte

Vorholzscherfläche

$$l_v = 35 \text{ cm} > 8 \cdot t_v = 8 \cdot 4 \text{ cm} = \underline{32 \text{ cm}}$$

$$A_v = b_D \cdot l_v = 12 \text{ cm} \cdot 32 \text{ cm} = 384 \text{ cm}^2$$

### Bemessungswerte der Festigkeiten

Nutzungsklasse 2 und „kurze“ Lasteinwirkungsdauer:  $k_{\text{mod}} = 0,9$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 2,0 \text{ MN/m}^2 = 1,38 \text{ MN/m}^2$$

### Tragfähigkeit

Tragfähigkeit in Richtung der Scherfläche

$$R_{v,0,d} = f_{v,d} \cdot A_v = 1,38 \text{ MN/m}^2 \cdot 384 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 53,0 \text{ kN}$$

Transformation in Richtung der Druckstrebe

$$R_{v,d} = \frac{R_{v,0,d}}{\cos \gamma} = \frac{53,0 \text{ kN}}{\cos 40^\circ} = \underline{69,2 \text{ kN}}$$

### Nachweis des Versatzes

$$\min R_d = \min \begin{cases} R_{s,d} \\ R_{v,d} \end{cases} = \min \begin{cases} 51,9 \text{ kN} \\ 69,2 \text{ kN} \end{cases} = 51,9 \text{ kN}$$

$$\frac{F_d}{\min R_d} = \frac{36,9 \text{ kN}}{51,9 \text{ kN}} = \underline{0,71 < 1}$$

### Nachweis der Druckdiagonale

#### Schnittlasten

Drucknormalkraft

$$N_{D,d} = F_d = 36,9 \text{ kN}$$

Ausmitte durch Versatz

$$e = \frac{h_D - t_v}{2} = \frac{14 \text{ cm} - 4 \text{ cm}}{2} = 5 \text{ cm}$$

Versatzmoment

$$\Delta M_{y,d} = N_{D,d} \cdot e = 36,9 \text{ kN} \cdot 5 \text{ cm} = 184,5 \text{ kNcm}$$

#### Querschnittswerte

$$A_D = b_D \cdot d_D = 12 \text{ cm} \cdot 14 \text{ cm} = 168 \text{ cm}^2$$

$$W_{D,y} = \frac{b_D \cdot d_D^2}{6} = \frac{12 \text{ cm} \cdot (14 \text{ cm})^2}{6} = 392 \text{ cm}^3$$

$$I_{D,y} = \frac{b_D \cdot d_D^3}{12} = \frac{12 \text{ cm} \cdot (14 \text{ cm})^3}{12} = 2744 \text{ cm}^4$$

### Bemessungswerte der Beanspruchungen

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{D,d}}{A_D} = \frac{36,9 \cdot 10^{-3} \text{ MN}}{168 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 2,20 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{\Delta M_{y,d}}{W_{D,y}} = \frac{184,5 \cdot 10^{-5} \text{ MNm}}{392 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 4,71 \text{ MN/m}^2$$

### Bemessungswerte der Festigkeiten

Nutzungsstufe 2 und „kurze“ Lasteinwirkungsdauer:  $k_{\text{mod}} = 0,9$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 23,0 \text{ MN/m}^2 = 15,92 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 30,0 \text{ MN/m}^2 = 20,77 \text{ MN/m}^2$$

### Beiwerte des Ersatzstabverfahren

Knicken

$$i_D = \sqrt{\frac{I_{D,z}}{A_D}} = \sqrt{\frac{2744 \text{ cm}^4}{168 \text{ cm}^2}} = 4,04 \text{ cm}$$

$$\lambda_D = \frac{l_{D,ef}}{i_D} = \frac{208 \text{ cm}}{4,04 \text{ cm}} = 51,5$$

$$k_c = 0,776$$

Kippen

$$\frac{l_{ef} \cdot h_D}{b_D^2} = \frac{208 \text{ cm} \cdot 14 \text{ cm}}{(12 \text{ cm})^2} = 20,2 = 140$$

$$k_m = 1,0$$

### Nachweise

Druckstab-Stabilität

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{2,20 \text{ MN/m}^2}{0,776 \cdot 15,92 \text{ MN/m}^2} + \frac{4,71 \text{ MN/m}^2}{1,0 \cdot 20,77 \text{ MN/m}^2} = 0,18 + 0,22 = \underline{\underline{0,40 < 1}}$$

Oder umgestellt

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_m} \cdot \frac{f_{c,0,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,20 \text{ MN/m}^2}{0,776} + \frac{4,71 \text{ MN/m}^2}{1,0} \cdot \frac{15,92 \text{ MN/m}^2}{20,77 \text{ MN/m}^2} = \underline{\underline{6,44 \text{ MN/m}^2 < 15,92 \text{ MN/m}^2}} = f_{c,0,d}$$

## Nachweis des Anschlussstabes

### Schnittlasten

Zugnormalkraft

$$N_{S,d} = N_{D,d} \cdot \cos 40^\circ = 36,9 \text{ kN} \cdot \cos 40^\circ = 28,3 \text{ kN}$$

Ausmitte durch Versatz

$$e = \frac{t_v}{2} = \frac{4 \text{ cm}}{2} = 2 \text{ cm}$$

Versatzmoment

$$\Delta M_{y,d} = N_{S,d} \cdot e = 28,3 \text{ kN} \cdot 2 \text{ cm} = 56,6 \text{ kNcm}$$

### Querschnittswerte

$$A_S = b_S \cdot (d_S - t_v) = 12 \text{ cm} \cdot (16 \text{ cm} - 4 \text{ cm}) = 144 \text{ cm}^2$$

$$W_{S,y} = \frac{b_D \cdot (d_D - t_v)^2}{6} = \frac{12 \text{ cm} \cdot (16 \text{ cm} - 4 \text{ cm})^2}{6} = 288 \text{ cm}^3$$

### Bemessungswerte der Beanspruchungen

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{S,d}}{A_S} = \frac{28,3 \cdot 10^{-3} \text{ MN}}{144 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,96 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{\Delta,y,d}}{W_{S,y}} = \frac{56,6 \cdot 10^{-5} \text{ MNm}}{288 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 1,97 \text{ MN/m}^2$$

### Bemessungswerte der Festigkeiten

Nutzungsklasse 2 und „kurze“ Lasteinwirkungsdauer:  $k_{\text{mod}} = 0,9$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 18,0 \text{ MN/m}^2 = 12,46 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 30,0 \text{ MN/m}^2 = 20,77 \text{ MN/m}^2$$

### Nachweise

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} &= \frac{1,96 \text{ MN/m}^2}{12,46 \text{ MN/m}^2} + \frac{1,97 \text{ MN/m}^2}{20,77 \text{ MN/m}^2} \\ &= 0,16 + 0,09 = \underline{\underline{0,25 < 1}} \end{aligned}$$

Oder umgestellt

$$\begin{aligned} \sigma_{t,0,d} + \sigma_{m,d} \cdot \frac{f_{t,0,d}}{f_{m,d}} &= 1,96 \text{ MN/m}^2 + 1,97 \text{ MN/m}^2 \cdot \frac{12,46 \text{ MN/m}^2}{20,77 \text{ MN/m}^2} \\ &= \underline{\underline{3,14 \text{ MN/m}^2 < 12,46 \text{ MN/m}^2}} = f_{t,0,d} \end{aligned}$$

Die durch Versatz verbundenen Einzelteile sind in Ihrer Lage zu sichern.