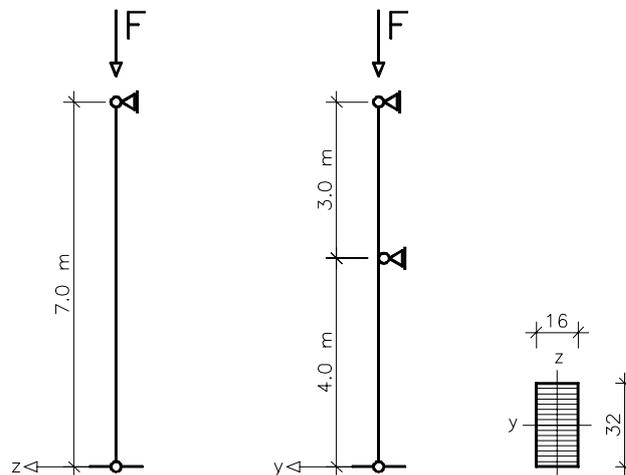


## HO1+ Beispiel 1: Reiner Druckstab nach DIN EN 1995/NA:2013

### System



Lasten:  $F_{G,k} = 114 \text{ kN}$  (ständige Last)

$F_{Q,k} = 34 \text{ kN}$  (Wind)

Nutzungsklasse 2

Material Brettschichtholz GL28h nach EN 14080:2013 für Stütze und Schwelle

### Nachweise der Tragfähigkeit unter Normaltemperatur

#### Bemessungswerte der Einwirkungen

Lastfall 1: nur Eigengewicht

$$N_d = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 114,0 = 153,9 \text{ kN}$$

Lastfall 2: Eigengewicht und Wind

$$N_d = \gamma_G \cdot F_{G,k} + \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,35 \cdot 114 \text{ kN} + 1,50 \cdot 34 \text{ kN} = 204,9 \text{ kN}$$

Bestimmung des maßgebenden Lastfalls

$$\frac{153,9}{0,6} = \underline{256,5} > 204,9 = \frac{204,9}{1,0}$$

Lastfall 1 („nur Eigengewicht“) maßgebend für die Bemessung.

#### Querschnittswerte

$$A = b \cdot d = 16 \text{ cm} \cdot 32 \text{ cm} = 512 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{b \cdot d^3}{12} = \frac{16 \text{ cm} \cdot (32 \text{ cm})^3}{12} = 43691 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{b^3 \cdot d}{12} = \frac{(16 \text{ cm})^3 \cdot 32 \text{ cm}}{12} = 10923 \text{ cm}^4$$

## Bemessungswerte der Beanspruchungen

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{153,9 \cdot 10^3 \text{ N}}{512 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

## Bemessungswerte der Festigkeiten

Nutzungsklasse 2 und „ständige“ Lasteinwirkungsdauer:  $k_{\text{mod}} = 0,6$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} = \frac{0,6}{1,3} \cdot 28,0 \text{ N/mm}^2 = 12,92 \text{ N/mm}^2$$

## Beiwerte des Ersatzstabverfahren

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{43961 \text{ cm}^4}{512 \text{ cm}^2}} = 9,24 \text{ cm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{10923 \text{ cm}^4}{512 \text{ cm}^2}} = 4,62 \text{ cm}$$

Knicklängen:

Vereinfacht aus Geometrie:

$$l_{\text{ef},y} = 700 \text{ cm}, l_{\text{ef},z} = 400 \text{ cm}$$

Genaue Berechnung aus Stabwerk bzw. Petersen:

$$l_{\text{ef},y} = 700 \text{ cm}, l_{\text{ef},z} = 357 \text{ cm} \text{ (Ermittlung siehe Seite 5)}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{\text{ef},y}}{i_y} = \frac{700 \text{ cm}}{9,24 \text{ cm}} = 75,8$$

$$\lambda_z = \frac{l_{\text{ef},z}}{i_z} = \frac{357 \text{ cm}}{4,62 \text{ cm}} = \underline{\underline{77,3}}$$

Da der Bemessungswert des ständigen Lastanteils 70 % des Bemessungswertes der Gesamtlast überschreitet, ist der Einfluss des Kriechens durch eine Abminderung der Steifigkeit zu berücksichtigen.

$$E_d = \frac{E_{0,05}}{1 + k_{\text{def}}} = \frac{10500 \text{ N/mm}^2}{1 + 0,8} = 5833 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_d}} = \frac{77,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{28,0 \text{ N/mm}^2}{5833 \text{ N/mm}^2}} = 1,705$$

$$k = 0,5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},c} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c}^2 \right) = 0,5 \cdot \left( 1 + 0,1 \cdot (1,705 - 0,3) + 1,705^2 \right) = 2,023$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel},c}^2}} = \frac{1}{2,023 + \sqrt{2,023^2 - 1,705^2}} = 0,321$$

## Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3,00 \text{ N/mm}^2}{0,321 \cdot 12,92 \text{ N/mm}^2} = \underline{\underline{72 \%}}$$

## Nachweise der Tragfähigkeit im Brandfall

### Bemessungswerte der Einwirkungen

Außergewöhnliche Lastfallkombination:

$$N_{d,fi} = \gamma_G \cdot F_{G,k} + \psi_1 \cdot F_{Q,k} = 1,0 \cdot 114 \text{ kN} + 0,20 \cdot 34 \text{ kN} = 120,8 \text{ kN}$$

### Querschnittswerte

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \text{ mm/min} \cdot 30 \text{ min} = 21 \text{ mm}$$

$$b_r = 16 \text{ cm} - 2 \cdot 2,1 \text{ cm} = 11,8 \text{ cm}$$

$$d_r = 32 \text{ cm} - 2 \cdot 2,1 \text{ cm} = 27,8 \text{ cm}$$

$$U_r = 2 \cdot 11,8 \text{ cm} + 2 \cdot 27,8 \text{ cm} = 79,2 \text{ cm} = 79,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_r = 11,8 \text{ cm} \cdot 27,8 \text{ cm} = 328 \text{ cm}^2 = 328 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_{y,r} = \frac{b_r \cdot d_r^3}{12} = \frac{11,8 \text{ cm} \cdot (27,8 \text{ cm})^3}{12} = 21127 \text{ cm}^4$$

$$I_{z,r} = \frac{b_r^3 \cdot d_r}{12} = \frac{(11,8 \text{ cm})^3 \cdot 27,8 \text{ cm}}{12} = 3806 \text{ cm}^4$$

### Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{79,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{328 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,807$$

$$k_{mod,E,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{79,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{328 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,927$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad \gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,c,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,807 \cdot 1,15 \cdot \frac{28,0 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 25,98 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,E,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_d}{\gamma_{M,fi}} = 0,927 \cdot 1,15 \cdot \frac{5833 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 6222 \text{ N/mm}^2$$

### Bemessungswerte der Beanspruchungen

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{120,8 \cdot 10^3 \text{ N}}{328 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 3,68 \text{ N/mm}^2$$

### Beierte des Ersatzstabverfahren

$$i_{y,r} = \sqrt{\frac{I_{y,r}}{A_r}} = \sqrt{\frac{21127 \text{ cm}^4}{328 \text{ cm}^2}} = 8,03 \text{ cm}$$

$$i_{z,r} = \sqrt{\frac{I_{z,r}}{A_r}} = \sqrt{\frac{3806 \text{ cm}^4}{328 \text{ cm}^2}} = 3,41 \text{ cm}$$

$$\lambda_{y,r} = \frac{l_{ef,y}}{i_{y,r}} = \frac{700 \text{ cm}}{8,03 \text{ cm}} = 87,2 \quad \lambda_{z,r} = \frac{l_{ef,z}}{i_{z,r}} = \frac{357 \text{ cm}}{3,41 \text{ cm}} = \underline{\underline{104,7}}$$

$$\lambda_{\text{rel,c}} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{c,0,d,fi}}}{E_{\text{d,fi}}}} = \frac{104,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,98 \text{ N/mm}^2}{6222 \text{ N/mm}^2}} = 2,156$$

$$k = 0,5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel,c}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,c}}^2\right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot (2,156 - 0,3) + 2,156^2\right) = 2,918$$

$$k_{\text{c,fi}} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel,c}}^2}} = \frac{1}{2,918 + \sqrt{2,918^2 - 2,156^2}} = 0,205$$

### Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{c,0,d,fi}}}{k_{\text{c,fi}} \cdot f_{\text{c,0,d,fi}}} = \frac{3,68 \text{ N/mm}^2}{0,205 \cdot 25,98 \text{ N/mm}^2} = \underline{\underline{69 \%}}$$

## Nachweise der Tragfähigkeit der Schwelle

### Bemessungswerte der Einwirkungen

$$N_d = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 114,0 = 153,9 \text{ kN}$$

### Querschnittswerte

$$A_{\text{ef}} = 32 \text{ cm} \cdot (16 \text{ cm} + 2 \cdot 3 \text{ cm}) = 704 \text{ cm}^2$$

### Bemessungswerte der Beanspruchungen

$$\sigma_{\text{c,90,d}} = \frac{N_d}{A_{\text{ef}}} = \frac{153,9 \cdot 10^3 \text{ N}}{704 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 2,19 \text{ N/mm}^2$$

### Bemessungswerte der Festigkeiten

$$f_{\text{c,90,d}} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{\text{c,90,k}} = \frac{0,6}{1,3} \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2 = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

### Querdrukbeiwert

Annahme: Weitere Lasteinleitungen in ausreichendem Abstand.

$$k_{\text{c,90}} = 1,50$$

### Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{c,90,d}}}{k_{\text{c,90}} \cdot f_{\text{c,90,d}}} = \frac{2,19 \text{ N/mm}^2}{1,50 \cdot 1,15 \text{ N/mm}^2} = \underline{\underline{127 \% > 100 \%}}$$

### Änderungsvorschlag

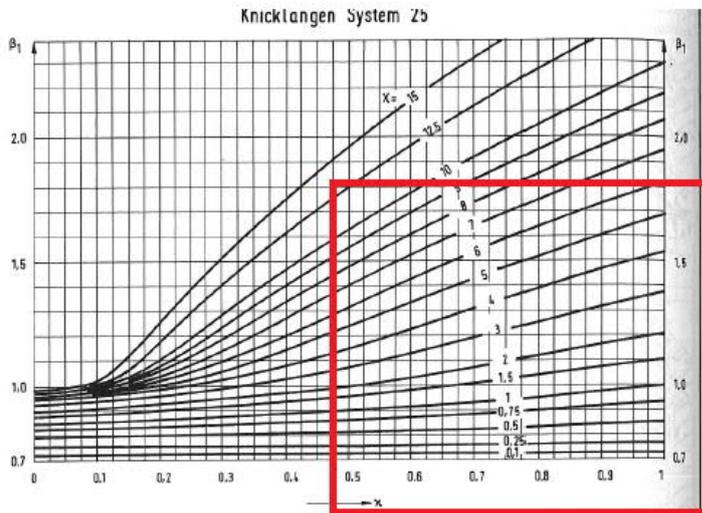
Verwendung von Laubholz für die Schwelle, z.B. D24 nach EN 338:2016

$$f_{\text{c,90,d}} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{\text{c,90,k}} = \frac{0,6}{1,3} \cdot 4,9 \text{ N/mm}^2 = 2,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\text{c,90,d}}}{k_{\text{c,90}} \cdot f_{\text{c,90,d}}} = \frac{2,19 \text{ N/mm}^2}{1,00 \cdot 2,26 \text{ N/mm}^2} = \underline{\underline{97 \%}}$$

### Knicklänge nach Petersen

(Statik und Stabilität der Baukonstruktion 2. Auflage Seite 401+402)



Knickgleichung:

$$\chi \cdot \sin \epsilon_1 (\epsilon_1 \cdot \sqrt{\chi \kappa} \cdot \cos(\epsilon_1 \cdot \sqrt{\chi \kappa}) - \sin(\epsilon_1 \cdot \sqrt{\chi \kappa})) + \chi \kappa \cdot \sin(\epsilon_1 \cdot \sqrt{\chi \kappa}) \cdot (\epsilon_1 \cdot \cos \epsilon_1 - \sin \epsilon_1) = 0$$

Parameter:

$$\chi = \frac{EI_1}{EI_2} \cdot \frac{l_2}{l_1} \quad ; \quad \kappa = \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{l_2}{l_1}$$

Knicklängen:

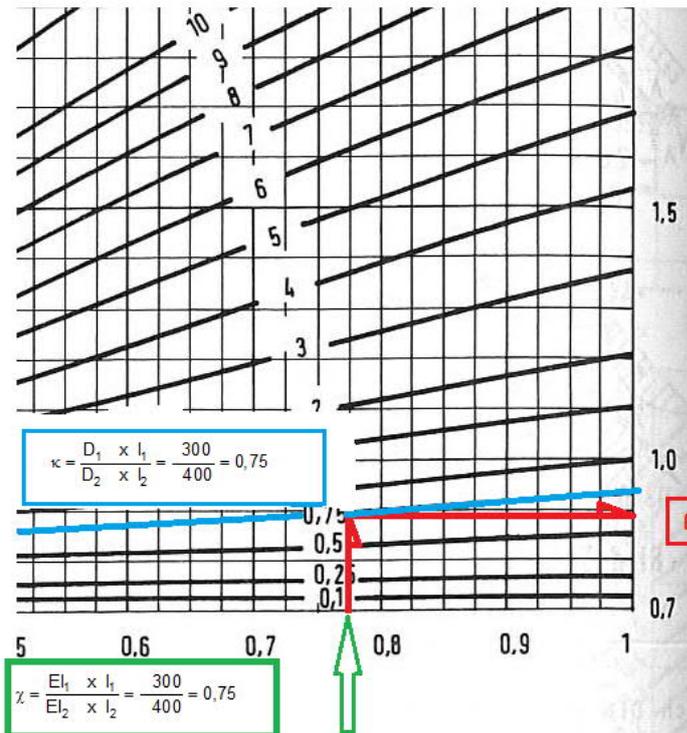
$$s_{k1} = \beta_1 l_1; \quad \beta_1: \text{Diagramm}$$

$$s_{k2} = \beta_2 l_2; \quad \beta_2 = \frac{\beta_1}{\sqrt{\chi \kappa}}$$

Knickklassen:

$$D_{ki1} = \frac{1}{\beta_1^2} \cdot \pi^2 \cdot \frac{EJ}{l_1^2}$$

$$D_{ki2} = \frac{D_2}{D_1} \cdot D_{ki1}$$



$$l_1 = 400 \text{ cm} \quad l_2 = 300 \text{ cm}$$

$$EI_1 = EI_2 \quad \text{und} \quad D_1 = D_2$$

$$\chi = \frac{EI_1}{EI_2} \cdot \frac{l_2}{l_1} = \frac{300}{400} = 0,75$$

$$\kappa = \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{l_2}{l_1} = \frac{300}{400} = 0,75$$

aus Diagramm  $\beta_1 \approx 0,89$

$$s_{k1} = \beta_1 \times l_1 = 0,89 \times 400 \text{ cm} = 356 \text{ cm}$$