

Sonderprobleme nach Eurocode 3

EC 3-1-5 (12.10), NA: Deutschland

Stahlsorte

Stahlgüte S 355

Querschnitt

Träger: Profilparameter (Hohlkasten):

$h = 2424.0 \text{ mm}$, $t_w = 8.0 \text{ mm}$ (2x), $b_f = 2716.0 \text{ mm}$, $b_{\bar{u}} = 22.0 \text{ mm}$, $t_f = 12.0 \text{ mm}$

Längssteifen:

Trägersteg: Anzahl $n_{st} = 2$

Profilparameter (Trapez):

$h = 230.0 \text{ mm}$, $b_f = 135.0 \text{ mm}$, $t = 8.0 \text{ mm}$, $b = 300.0 \text{ mm}$

Abstand der ersten Steife von Oberkante Träger $d_{st,0} = 712.0 \text{ mm}$

gleichmäßiger Abstand der Steifen voneinander $d_{st} = 1000.0 \text{ mm}$

Flansch oben: Anzahl $n_{st} = 3$

Profilparameter (Trapez):

$h = 275.0 \text{ mm}$, $b_f = 135.0 \text{ mm}$, $t = 6.0 \text{ mm}$, $b = 300.0 \text{ mm}$

Abstand der ersten Steife vom Flanschrand rechts (ohne Überstand) $d_{st,0} = 608.0 \text{ mm}$

gleichmäßiger Abstand der Steifen voneinander $d_{st} = 750.0 \text{ mm}$

Flansch unten: Anzahl $n_{st} = 3$

Profilparameter (Trapez):

$h = 275.0 \text{ mm}$, $b_f = 135.0 \text{ mm}$, $t = 6.0 \text{ mm}$, $b = 300.0 \text{ mm}$

Abstand der ersten Steife vom Flanschrand rechts (ohne Überstand) $d_{st,0} = 608.0 \text{ mm}$

gleichmäßiger Abstand der Steifen voneinander $d_{st} = 750.0 \text{ mm}$

Parameter

Länge des Beulfelds $a = 400.0 \text{ cm}$

Verfahren der wirksamen Querschnittsfläche

Anordnung einer starren Auflagersteife

Nachweis am Zwischenauflager

mittragende Trägerlänge (Schubverzerrung) $L_e = 2890.0 \text{ cm}$

Beulwerte nach EC 3-1-5 berechnen

Gesamtfelder ggf. als äquivalente orthotrope Platte (bei drei oder mehr Längssteifen)

effektive Querschnittsgrößen aus resultierender Verteilung der Längsspannungen

Stabilitätsnachweis nach EC 3-1-1, 6.3

Belastung

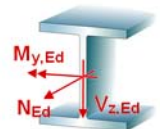
Schnittgrößen bezogen auf den versteiften Querschnitt:

Lk 1: $M_{Ed} = -29850.0 \text{ kNm}$ $V_{Ed} = 3300.0 \text{ kN}$

Materialsicherheitsbeiwerte

Beanspruchbarkeit von Querschnitten $\gamma_{M0} = 1.00$

Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen $\gamma_{M1} = 1.10$



Beulnachweise

Voraussetzung: Flanschinduziertes Stegbeulen ist ausgeschlossen.

Voraussetzung: Lokales Beulen der Steifen ist ausgeschlossen.

Voraussetzung: Rotationsfähigkeit der Steifen zur Spannungumlagerung ist ausreichend.

Voraussetzung: Das Blechfeld ist starr gelagert.



4H-EC310 / pcae-GmbH / Kopernikusstraße 4A / 30167 Hannover / Tel: (0511) 700830 / Fax: (0511) 7008399 / pcae/0000001

Querschnittsklasse 4 für $39.76 < c/t = 69.10$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 200.2 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 39.7 \text{ N/mm}^2$, $k_{\sigma} = 5.04$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 1.332$

Abminderungsfaktor $\rho = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)) / \lambda_p^2 = 0.640 \leq 1$ für $\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.731$, $\psi = 0.578$

wirksame Breite $b_{c,eff} = \rho \cdot b = 353.8 \text{ mm}$ ($b_{e1} = 160.0 \text{ mm}$, $b_{e2} = 193.8 \text{ mm}$)

Gesamtfeld, Steife 1:

Steife im Zugbereich $\Rightarrow \rho = 1$

wirksame Breiten der angrenzenden Beulfelder $b_{1,e2,eff} = \rho \cdot b_{1,c,eff} = 276.4 \text{ mm}$, $b_{2,e1,eff} = \rho \cdot b_{2,c,eff} = 234.6 \text{ mm}$

wirksame Fläche der Steife $A_{sl,eff} = \rho \cdot A_{st} = 48.77 \text{ cm}^2$

Gesamtfeld, Steife 2:

EC 3-1-5, Anhang A.2.2 (Ersatzstab mit elastischer Bettung):

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = \sigma_{cr,p,sl} \cdot \sigma_1 / \sigma_{sl} = 2046.8 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_1 / \sigma_{sl} = 2.147$, $\sigma_{cr,p,sl} = 953.2 \text{ N/mm}^2$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.395$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.901$

Abminderungsfaktor $\rho = 1$ für $\lambda_p < 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.862$, $\psi = -0.832$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,c,sl} \cdot \sigma_1 / \sigma_{sl} = 2031.1 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_1 / \sigma_{sl} = 2.147$, $\sigma_{cr,c,sl} = 945.9 \text{ N/mm}^2$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_c = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,c})^{1/2} = 0.397$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.901$

Abminderungsfaktor $\chi_c = 0.911 \leq 1$ für $\lambda_c > 0.2$

endgültiger Abminderungsfaktor $\rho = (\rho \cdot \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c = 0.913$ mit $\xi = 0.008$

$\sigma_{sl} = 142.1 \text{ N/mm}^2 < \rho \cdot f_y / \gamma_{M1} = 294.5 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$ Rotationsfähigkeit der Steife ausreichend **ok**.

wirksame Breiten der angrenzenden Beulfelder $b_{2,e2,eff} = \rho \cdot b_{2,c,eff} = 142.7 \text{ mm}$, $b_{3,e1,eff} = \rho \cdot b_{3,c,eff} = 176.9 \text{ mm}$

wirksame Fläche der Steife $A_{sl,eff} = \rho \cdot A_{st} = 44.51 \text{ cm}^2$

Flanschinduziertes Stegbeulen:

$h_w / t_w = 300.00 < (k \cdot E) / (f_y \cdot (A_w / A_{fc}))^{1/2} = 355.84$ **ok**. mit $k = 0.55$, $A_w = 192.00 \text{ cm}^2$, $A_{fc} = 160.51 \text{ cm}^2$

Flansch oben:

Spannungen am Blechrand $\sigma_o = -255.2 \text{ N/mm}^2 \leq 0$, $\sigma_u = -255.2 \text{ N/mm}^2 \leq 0 \Rightarrow$ keine Beulgefahr !!

Flansch unten:

Einzelfeld 1:

Querschnittsklasse 4 für $34.17 < c/t = 35.91$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 588.7 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 147.2 \text{ N/mm}^2$, $k_{\sigma} = 4.00$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.777$

Abminderungsfaktor $\rho = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)) / \lambda_p^2 = 0.923 \leq 1$ für $\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.673$, $\psi = 1.000$

wirksame Breite $b_{c,eff} = \rho \cdot b = 397.7 \text{ mm}$ ($b_{e1} = 198.9 \text{ mm}$, $b_{e2} = 198.9 \text{ mm}$)

Beulfelder der Steife 1: **lokales Beulen kann nicht ausgeschlossen werden**

Einzelfeld 2:

Querschnittsklasse 4 für $34.17 < c/t = 37.72$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 533.5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 133.4 \text{ N/mm}^2$, $k_{\sigma} = 4.00$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.816$

Abminderungsfaktor $\rho = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)) / \lambda_p^2 = 0.895 \leq 1$ für $\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.673$, $\psi = 1.000$

wirksame Breite $b_{c,eff} = \rho \cdot b = 405.3 \text{ mm}$ ($b_{e1} = 202.6 \text{ mm}$, $b_{e2} = 202.6 \text{ mm}$)

Beulfelder der Steife 2: **lokales Beulen kann nicht ausgeschlossen werden**

Einzelfeld 3:

Querschnittsklasse 4 für $34.17 < c/t = 37.72$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 533.5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 133.4 \text{ N/mm}^2$, $k_{\sigma} = 4.00$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.816$

Abminderungsfaktor $\rho = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)) / \lambda_p^2 = 0.895 \leq 1$ für $\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.673$, $\psi = 1.000$

wirksame Breite $b_{c,eff} = \rho \cdot b = 405.3 \text{ mm}$ ($b_{e1} = 202.6 \text{ mm}$, $b_{e2} = 202.6 \text{ mm}$)

Beulfelder der Steife 3: **lokales Beulen kann nicht ausgeschlossen werden**

Einzelfeld 4:

Querschnittsklasse 4 für $34.17 < c/t = 35.91$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 588.7 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 147.2 \text{ N/mm}^2$, $k_{\sigma} = 4.00$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.777$

Abminderungsfaktor $\rho = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)) / \lambda_p^2 = 0.923 \leq 1$ für $\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.673$, $\psi = 1.000$

wirksame Breite $b_{c,eff} = \rho \cdot b = 397.7 \text{ mm}$ ($b_{e1} = 198.9 \text{ mm}$, $b_{e2} = 198.9 \text{ mm}$)

Gesamtfeld, Steife 1:

EC 3-1-5, Anhang A.1 (Äquivalente orthotrope Platte):

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 1035.7 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 3.9 \text{ N/mm}^2$, $k_{\sigma} = 267.97$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.575$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.963$

Abminderungsfaktor $\rho = 1$ für $\lambda_p < 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.673$, $\psi = 1.000$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,c,sl} \cdot \sigma_1 / \sigma_{sl} = 1117.7 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_1 / \sigma_{sl} = 1.000$, $\sigma_{cr,c,sl} = 1117.7 \text{ N/mm}^2$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_c = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,c})^{1/2} = 0.553$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.963$

Abminderungsfaktor $\chi_c = 0.825 \leq 1$ für $\lambda_c > 0.2$

endgültiger Abminderungsfaktor $\rho = (\rho \cdot \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c = 0.825$ mit $\xi = 0.000$

$\sigma_{sl} = 306.5 \text{ N/mm}^2 > \rho \cdot f_y / \gamma_{M1} = 266.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$ Rotationsfähigkeit der Steife nicht ausreichend

wirksame Breiten der angrenzenden Beulfelder $b_{1,e2,eff} = \rho \cdot b_{1,c,eff} = 164.0 \text{ mm}$, $b_{2,e1,eff} = \rho \cdot b_{2,c,eff} = 167.1 \text{ mm}$

wirksame Fläche der Steife $A_{sl,eff} = \rho \cdot A_{st} = 34.56 \text{ cm}^2$

Gesamtfeld, Steife 2:

EC 3-1-5, Anhang A.1 (Äquivalente orthotrope Platte):

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 1035.7 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 3.9 \text{ N/mm}^2$, $k_{\sigma} = 267.97$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.573$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.957$

Abminderungsfaktor $\rho = 1$ für $\lambda_p < 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.673$, $\psi = 1.000$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,c,sl} \cdot \sigma_1 / \sigma_{sl} = 1110.3 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_1 / \sigma_{sl} = 1.000$, $\sigma_{cr,c,sl} = 1110.3 \text{ N/mm}^2$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_c = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,c})^{1/2} = 0.553$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.957$

Abminderungsfaktor $\chi_c = 0.824 \leq 1$ für $\lambda_c > 0.2$

endgültiger Abminderungsfaktor $\rho = (\rho \cdot \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c = 0.824$ mit $\xi = 0.000$

$\sigma_{sl} = 306.5 \text{ N/mm}^2 > \rho \cdot f_y / \gamma_{M1} = 266.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$ **Rotationsfähigkeit der Steife nicht ausreichend**

wirksame Breiten der angrenzenden Beulfelder $b_{2,e2,eff} = \rho \cdot b_{2,c,eff} = 167.1 \text{ mm}$, $b_{3,e1,eff} = \rho \cdot b_{3,c,eff} = 167.1 \text{ mm}$

wirksame Fläche der Steife $A_{sl,eff} = \rho \cdot A_{sl} = 34.55 \text{ cm}^2$

Gesamtfeld, Steife 3:

EC 3-1-5, Anhang A.1 (Äquivalente orthotrope Platte):

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,p} = k_\sigma \cdot \sigma_E = 1035.7 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 3.9 \text{ N/mm}^2$, $k_\sigma = 267.97$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_p = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,p})^{1/2} = 0.575$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.963$

Abminderungsfaktor $\rho = 1$ für $\lambda_p < 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{1/2} = 0.673$, $\psi = 1.000$

kritische Beulspannung $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,c,sl} \cdot \sigma_1 / \sigma_{sl} = 1117.7 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_1 / \sigma_{sl} = 1.000$, $\sigma_{cr,c,sl} = 1117.7 \text{ N/mm}^2$

Beulschlankheitsgrad $\lambda_c = (\beta_A \cdot f_y / \sigma_{cr,c})^{1/2} = 0.553$, $\beta_A = A_{sl,eff} / A_{sl} = 0.963$

Abminderungsfaktor $\chi_c = 0.825 \leq 1$ für $\lambda_c > 0.2$

endgültiger Abminderungsfaktor $\rho = (\rho \cdot \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c = 0.825$ mit $\xi = 0.000$

$\sigma_{sl} = 306.5 \text{ N/mm}^2 > \rho \cdot f_y / \gamma_{M1} = 266.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$ **Rotationsfähigkeit der Steife nicht ausreichend**

wirksame Breiten der angrenzenden Beulfelder $b_{3,e2,eff} = \rho \cdot b_{3,c,eff} = 167.1 \text{ mm}$, $b_{4,e1,eff} = \rho \cdot b_{4,c,eff} = 164.0 \text{ mm}$

wirksame Fläche der Steife $A_{sl,eff} = \rho \cdot A_{sl} = 34.56 \text{ cm}^2$

Traglasten bezogen auf den reduzierten Querschnitt:

res. Spannungen $\sigma_o = -256.6 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_u = 308.0 \text{ N/mm}^2$

Abstand des Schwerpunkts von oben $Z_{s,eff} = 1101.7 \text{ mm}$

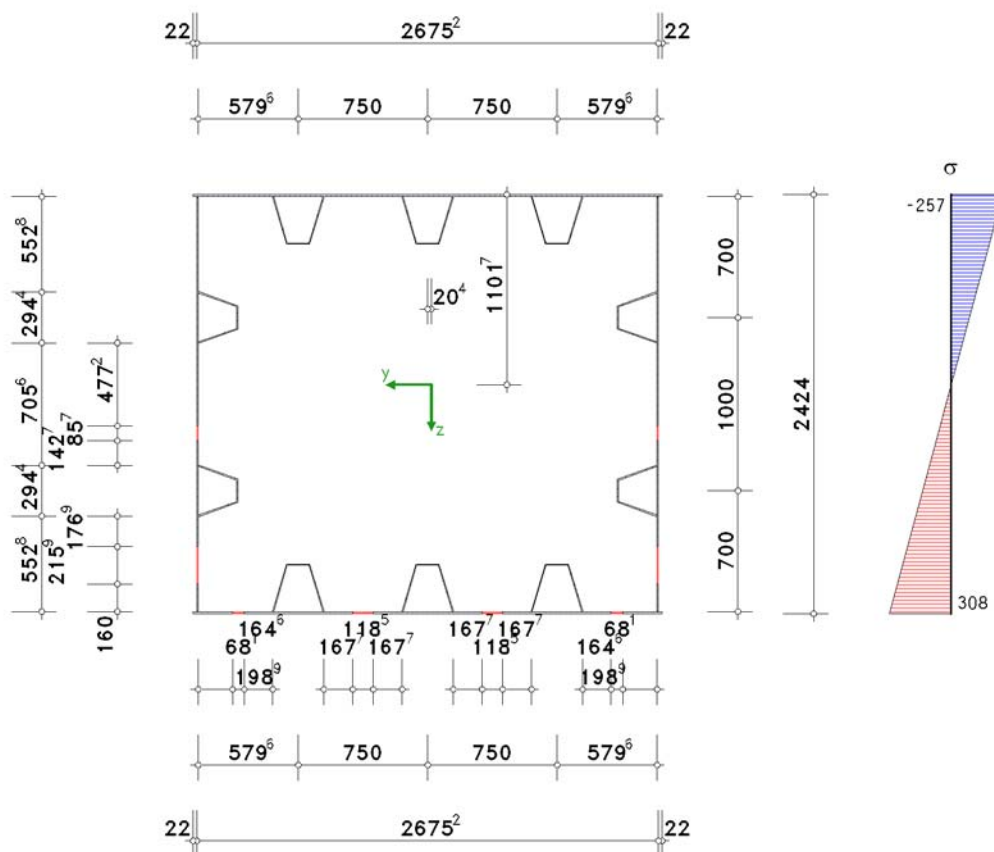
Querschnittsfläche $A_{eff} = 1318.66 \text{ cm}^2$

Flächenträgheitsmoment $I_{y,eff} = 12816639.18 \text{ cm}^4$

Widerstandsmomente $W_{y,eff,o} = 116970.57 \text{ cm}^3$, $W_{y,eff,u} = 97369.78 \text{ cm}^3$

Traglasten $N_{Rd} = (f_y \cdot A_{eff}) / \gamma_{M1} = 42556.90 \text{ kN}$

$M_{Rd,o} = (f_y \cdot W_{eff,o}) / \gamma_{M1} = 37749.59 \text{ kNm}$, $M_{Rd,u} = (f_y \cdot W_{eff,u}) / \gamma_{M1} = 31423.88 \text{ kNm}$



Nachweis

$M_{Ed} / M_{Rd,u} = 0.950 < 1$ **ok.**

Schubbeulen

Einzelfeld 1:

Schubbeulen: $h_w / t_w = 69.10 > 72 \cdot \epsilon / \eta = 48.82 \Rightarrow$ genauer Nachweis erforderlich !!

Schubbeulwert für $a / h_w = 7.24 > 1$: $k_\tau = 5.34 + 4 / (a / h_w)^2 = 5.42$

kritische Schubbeulspannung $\tau_{cr,p} = k_\tau \cdot \sigma_E = 215.3 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 39.7 \text{ N/mm}^2$

modifizierte Schlankheit $\lambda_w = 0.76 \cdot (f_y / \tau_{cr,p}) = 0.976$

Abminderungsfaktor $\chi_w = 0.83 / \lambda_w = 0.850$ für $0.83 / \eta = 0.692 \leq \lambda_w < 1.08$

Beanspruchbarkeit $V_{bw,Rd} = (\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M1}) = 3042.57 \text{ kN}$

2 Stege $\Rightarrow V_{bw,Rd} = 6085.14 \text{ kN}$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} = 6085.1 \text{ kN}$

Beulfeld im Bereich der Steife 1:

Schubbeulen: $h_w/t_w = 36.80 \leq 72 \cdot \epsilon / \eta = 48.82$ **ok.**

Einzelfeld 2:

Schubbeulen: $h_w/t_w = 88.20 > 72 \cdot \epsilon / \eta = 48.82 \Rightarrow$ genauer Nachweis erforderlich **!!**

Schubbeulwert für $a/h_w = 5.67 > 1$: $k_\tau = 5.34 + 4/(a/h_w)^2 = 5.46$

kritische Schubbeulspannung $\tau_{cr,p} = k_\tau \cdot \sigma_E = 133.3 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 24.4 \text{ N/mm}^2$

modifizierte Schlankheit $\lambda_w = 0.76 \cdot (f_y / \tau_{cr,p}) = 1.240$

Abminderungsfaktor $\chi_w = 1.37 / (0.7 + \lambda_w) = 0.706$ für $\lambda_w \geq 1.08$

Beanspruchbarkeit $V_{bw,Rd} = (\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M1}) = 2526.10 \text{ kN}$

2 Stege $\Rightarrow V_{bw,Rd} = 5052.20 \text{ kN}$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} = 5052.2 \text{ kN}$

Beulfeld im Bereich der Steife 2:

Schubbeulen: $h_w/t_w = 36.80 \leq 72 \cdot \epsilon / \eta = 48.82$ **ok.**

Einzelfeld 3:

Schubbeulen: $h_w/t_w = 69.10 > 72 \cdot \epsilon / \eta = 48.82 \Rightarrow$ genauer Nachweis erforderlich **!!**

Schubbeulwert für $a/h_w = 7.24 > 1$: $k_\tau = 5.34 + 4/(a/h_w)^2 = 5.42$

kritische Schubbeulspannung $\tau_{cr,p} = k_\tau \cdot \sigma_E = 215.3 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 39.7 \text{ N/mm}^2$

modifizierte Schlankheit $\lambda_w = 0.76 \cdot (f_y / \tau_{cr,p}) = 0.976$

Abminderungsfaktor $\chi_w = 0.83 / \lambda_w = 0.850$ für $0.83 / \eta = 0.692 \leq \lambda_w < 1.08$

Beanspruchbarkeit $V_{bw,Rd} = (\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M1}) = 3042.57 \text{ kN}$

2 Stege $\Rightarrow V_{bw,Rd} = 6085.14 \text{ kN}$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} = 6085.1 \text{ kN}$

Gesamtfeld:

Schubbeulen: $h_w/t_w = 300.00 > 31 \cdot \epsilon \cdot k_\tau^{1/2} / \eta = 89.23$, $k_\tau = 18.02 \Rightarrow$ genauer Nachweis erforderlich **!!**

Beitrag der Flansche:

aufnehmbares Moment $M_{f,Rd} = f_{N,f} \cdot M_{f,k} / \gamma_{M0} = 28444.8 \text{ kNm}$, $M_{f,k} = 28444.8 \text{ kNm}$, $f_{N,f} = 1.00$

$M_{Ed} \geq M_{f,Rd}$: Flansche voll ausgenutzt, Beanspruchbarkeit $V_{bf,Rd} = 0$

Beitrag des Stegs:

Schubbeulwert für $a/h_w = 1.67 < 3$: $k_\tau = 4.1 + (6.3 + 0.18 \cdot |s| / (h_w \cdot t_w^3)) / (a/h_w)^2 + 2.2 \cdot (|s| / (h_w \cdot t_w^3))^{1/3} = 18.02$

kritische Schubbeulspannung $\tau_{cr,p} = k_\tau \cdot \sigma_E = 38.0 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_E = 2.1 \text{ N/mm}^2$

modifizierte Schlankheit $\lambda_w = 0.76 \cdot (f_y / \tau_{cr,p}) = 2.323$

Abminderungsfaktor $\chi_w = 1.37 / (0.7 + \lambda_w) = 0.453$ für $\lambda_w \geq 1.08$

Beanspruchbarkeit $V_{bw,Rd} = (\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M1}) = 1621.43 \text{ kN}$

2 Stege $\Rightarrow V_{bw,Rd} = 3242.86 \text{ kN}$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} = 3242.9 \text{ kN}$

Traglasten $V_{b,Rd,min} = 3242.9 \text{ kN}$, $V_{bw,Rd,min} = 3242.9 \text{ kN}$

Nachweis: $V_{Ed} / V_{b,Rd,min} = 1.018 > 1$ **nicht ok. !!**

Interaktion zwischen Schub, Biegemoment und Normalkraft

Ausnutzung aus Schubbeulen des Stegs $\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd,min} = 1.018 > 0.5$

Ausnutzung aus Plattenbeulen $\eta_1 = M_{Ed} / M_{pl,Rd} = 0.673 > \eta_{1,lim} = M_{f,Rd} / M_{pl,Rd} = 0.641$

mit $M_{pl,Rd} = 44352.9 \text{ kNm}$, $M_{f,Rd} = 28444.8 \text{ kNm}$

Nachweis: $\eta_1 + (1 - \eta_{1,lim}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 = 1.057 > 1$ **nicht ok. !!**

Gesamtausnutzung: $U = 1.057 > 1$ **nicht ok. !!**

Voraussetzungen **nicht erfüllt !!**

Endergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 1.057 > 1$ **nicht ok. !!**

Voraussetzungen: **nicht erfüllt !!**

Tragfähigkeit nicht gewährleistet !!

Vorschriften

DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung;

Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Ausgabe Dezember 2010

DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang zur DIN EN 1990, Ausgabe Dezember 2010

DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -

Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;

Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur DIN EN 1993-1-1, Ausgabe Dezember 2010

DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -
Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile;

Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010

DIN EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang zur DIN EN 1993-1-5, Ausgabe Dezember 2010