Prüfung Holzbau III vom 11. 7. 2008 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Name, Vorname: ______________________________ Matr.-Nr.: ______________

Aufgabe	1	2	3	4	Summe
Punkte					/100

Aufgabe 1 (25 Punkte)

Für den querzugbelasteten Bereich des nachfolgend dargestellten Satteldachträgers mit gekrümmtem unteren Rand soll die innen liegende Verstärkung bemessen werden.

Folgende Werte sind gegeben:

$M_{\mathrm{ap,d}} = 326\ \mathrm{kNm}$ Bemessungswert des Momentes im Firstquerschnitt, KLED=kurz, NKL=1

Gewindestangen M16, Festigkeitsklasse 4.8, einreihige Anordnung: $n = 1$

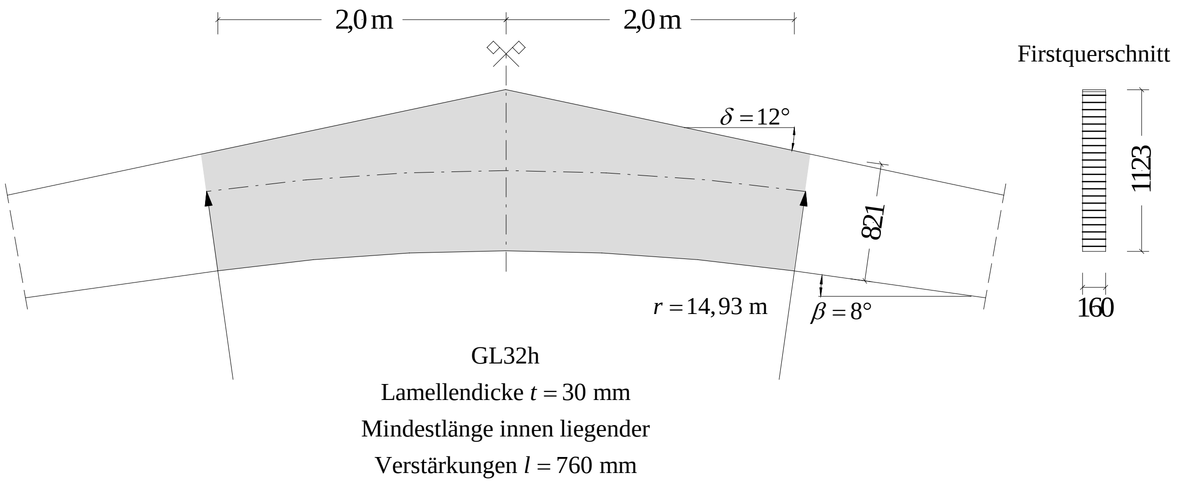
Führen Sie die Bemessung in folgenden Schritten durch

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Querzugspannung im Firstbereich und Nachweis, welche Verstärkung erforderlich ist (vollständige Aufnahme oder Aufnahme klimabedingter Spannungen)

b) Ermittlung des Bemessungswertes der maximalen Tragfähigkeit von Klebfuge und Gewindestange

c) Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Maximalabstands der Gewindestangen in den beiden inneren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches

d) Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Maximalabstands der Gewindestangen in den beiden äußeren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches



Aufgabe 2 (35 Punkte)

Der in der nachfolgenden Zeichnung dargestellte Pultdachträger aus GL24h soll bemessen werden. Die Trägerenden sind gabelgelagert. Die Belastung ist wie folgt gegeben:

$q_{g,k} = 5{,}1\ \mathrm{kN/m}$ Ständige Last

$q_{p,k} = 26{,}1\ \mathrm{kN/m}$ Veränderliche Last, Kategorie E: Lagerräume, KLED=lang

Dachneigung $\delta = 9°$, Nutzungsklasse NKL 2.

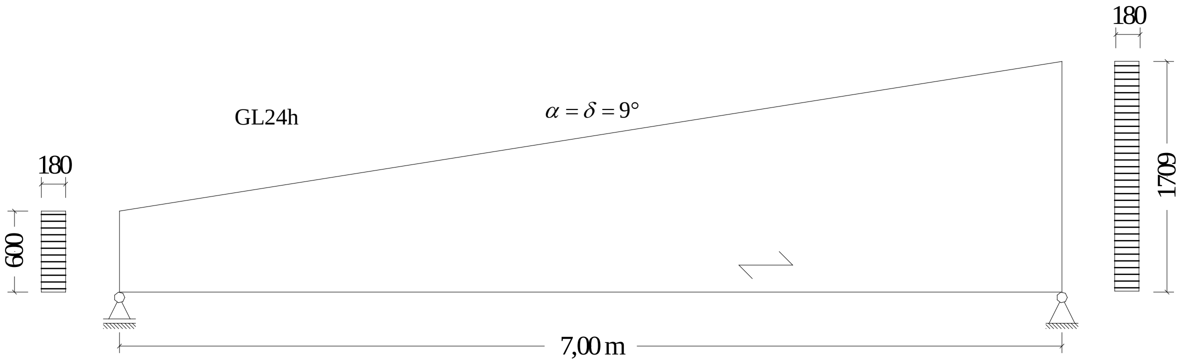
Führen Sie den Standsicherheitsnachweis in folgenden Schritten:

a) Berechnen Sie den Bemessungswert der Lastkombination aus ständiger und veränderlicher Last für den Tragfähigkeitsnachweis.

b) Ermitteln Sie die Stelle "x", die für den Nachweis der max. Biegespannung maßgeblich ist, sowie die Trägerhöhe und den Bemessungswert des Biegemomentes an dieser Stelle.

c) Führen Sie den Nachweis der Biegerandspannungen für den oberen und den unteren Trägerrand an der Stelle "x".

d) Ermitteln Sie, ob zusätzliche Kippstabilisierungen erforderlich sind, unter der Bedingung, dass die Lasten am oberen Rand angreifen.



Aufgabe 3 (15 Punkte)

Führen Sie für das System und die Belastung aus Aufgabe 2 den Gebrauchstauglichkeitsnachweis in folgenden Schritten:

a) Berechnung der Anteile der Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung. Verformungsanteile aus Schub sollen berücksichtigt werden.

b) Durchbiegungsnachweise für die üblichen Grenzwerte der Durchbiegung. Der Träger wird ohne Überhöhung hergestellt.

Nutzungsbedingungen: NKL 2.

Aufgabe 4 (25 Punkte)

Ein gekrümmter Träger aus GL32h mit konstantem Querschnitt soll bemessen werden. Der Träger ist ausreichend gegen seitliches Ausweichen gehalten. Die Trägerenden sind gabelgelagert.

Charakteristische Werte der Belastung (Gleichstreckenlast):

$G_k = 8,2$ kN/m Eigengewicht

$Q_k = 33,1$ kN/m Schneelast an einem Ort in einer Höhe unter NN +1.000 m (KLED = kurz)

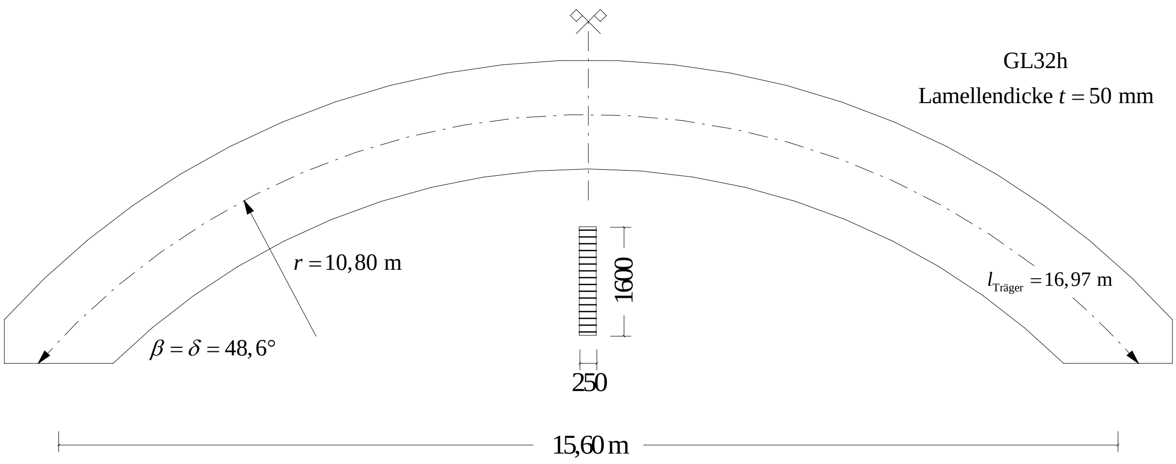
Führen Sie den Nachweis der Standsicherheit in folgenden Schritten:

a) Berechnung des maximalen Momentes und Nachweis der Biegerandspannungen für den ungeschwächten Firstquerschnitt.

b) Berechnung der Querzugspannungen im Firstquerschnitt und Ermittlung, ob Querzugverstärkungen erforderlich sind.

c) Berechnung der elastischen Anfangsdurchbiegung aus ständiger Last.

Nutzungsbedingungen: <u>KLED kurz</u> und <u>NKL 1</u>.



Lösung der Prüfung Holzbau III vom 11. 7. 2008 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Aufgabe 1 $\sum 25$

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Querzugspannung im Firstbereich

1 $k_{ap} = h_{ap}/r = 1.123/14.930 = 0{,}07522$

1 $k_5 = 0{,}2 \cdot \tan\delta = 0{,}2 \cdot \tan 12° = 0{,}04251$

1 $k_6 = 0{,}25 - 1{,}5 \cdot \tan\delta + 2{,}6 \cdot \tan^2\delta = 0{,}25 - 1{,}5 \cdot \tan 12° + 2{,}6 \cdot \tan^2 12° = 0{,}04863$

1 $k_7 = 2{,}1 \cdot \tan\delta - 4 \cdot \tan^2\delta = 2{,}1 \cdot \tan 12° - 4 \cdot \tan^2 12° = 0{,}26565$

1 $k_p = k_5 + k_6 \cdot k_{ap} + k_7 \cdot k_{ap}^2 = 0{,}0477$

1 $\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \dfrac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0{,}0477 \cdot \dfrac{6 \cdot 326 \cdot 10^6}{160 \cdot 1.123^2} = 0{,}462\ \text{N/mm}^2$

1 $f_{t,90,d} = 0{,}9 \cdot \dfrac{0{,}5}{1{,}3} = 0{,}346\ \text{N/mm}^2$

$r_{in} = 14{,}93 + \dfrac{1{,}123}{2} = 14{,}37$

1 $V = 2 \cdot \left[\dfrac{1}{2} \cdot \left(r_{in} + h_{ap}\right)^2 \cdot \dfrac{\sin\beta}{\sin\left(90° + \alpha\right)} \cdot \sin\left(90° - \delta\right) - \dfrac{\beta}{360°} \cdot \pi \cdot r_{in}^2\right] \cdot b$

$V = 2 \cdot \left[\dfrac{1}{2} \cdot \left(14{,}37 + 1{,}123\right)^2 \cdot \dfrac{\sin 8°}{\sin\left(90° + 4°\right)} \cdot \sin\left(90° - 12°\right) - \dfrac{8°}{360°} \cdot \pi \cdot 14{,}37^2\right] \cdot 0{,}160 = 0{,}628\ \text{m}^3$

1 $\dfrac{\sigma_{t,90,d}}{1{,}7 \cdot \left(0{,}01/V\right)^{0{,}2} \cdot f_{t,90,d}} + \cancel{\dfrac{\tau_d}{f_{v,d}}} = \dfrac{0{,}462}{1{,}7 \cdot \left(0{,}01/0{,}628\right)^{0{,}2} \cdot 0{,}346} = \dfrac{0{,}462}{0{,}257} = 1{,}80 > 1$ Verstärkung erforderlich

1 $\dfrac{\sigma_{t,90,d}}{1{,}3 \cdot \left(h_0/h_{ap}\right)^{0{,}3} \cdot f_{t,90,d}} + \cancel{\left(\dfrac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2} = \dfrac{0{,}462}{1{,}3 \cdot \left(600/1.123\right)^{0{,}3} \cdot 0{,}346} = \dfrac{0{,}462}{0{,}373} = 1{,}24 > 1$ Verstärkung zur vollständigen Aufnahme der Querzugspannungen erforderlich

b) Ermittlung des Bemessungswertes der max. Tragfähigkeit von Klebfuge und Gewindestange

1 Tragfähigkeit einer Gewindestange M16: $N_{R,d} = 40{,}2\ \text{kN}$

Tragfähigkeit der Klebefuge

1 $l_{ad} = 380\ \text{mm}$

2 $\max F_{t,90,d} = 1{,}125 \cdot \left(380/400\right) \cdot 24{,}7 = 26{,}4\ \text{kN} \rightarrow$ maßgeblich

c) Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Mindestabstands der Gewindestangen in den beiden inneren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches

2 $F_{t,90,d} = \dfrac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \leq 26.400\ \text{N}$

2 $a_1 \leq \dfrac{26.400 \cdot n}{\sigma_{t,90,d} \cdot b} = \dfrac{26.400 \cdot 1}{0{,}462 \cdot 160} = 357\ \text{mm} \approx 350\ \text{mm}$

2 $250 \leq a_1 \leq 0{,}75 \cdot h_{ap} \rightarrow 250 \leq 350 \leq 842\left(= 0{,}75 \cdot 1.123\right) \rightarrow \text{ist erfüllt}$

d) Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Mindestabstands der Gewindestangen in den beiden äußeren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches

2 $F_{t,90,d} = \dfrac{2}{3} \cdot \dfrac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \rightarrow a_1 \leq \dfrac{3}{2} \cdot 358\ \text{mm} \approx 530\ \text{mm}$

2 $250 \leq a_1 \leq 0{,}75 \cdot h_{ap} \rightarrow 250 \leq 530 \leq 842\left(= 0{,}75 \cdot 1.123\right) \rightarrow \text{ist erfüllt}$

Aufgabe 2 $\sum 35$

a) Bemessungswert Last für den Tragfähigkeitsnachweis

2 $q_{\mathrm{d}} = 1{,}35 \cdot q_{\mathrm{g,k}} + 1{,}5 \cdot q_{\mathrm{p,k}} = 1{,}35 \cdot 5{,}1 + 1{,}5 \cdot 26{,}1 = 46{,}035 \approx 46{,}0\ \mathrm{kN/m}$

b) Stelle "x"

2 $x = \dfrac{l}{1 + h_{\mathrm{ap}} / h_{\mathrm{s}}} = \dfrac{7.000}{1 + 1709/600} = 1.819\ \mathrm{mm}$

2 $h_{\mathrm{x}} = 600 + 1.819 \cdot \tan 9° = 888\ \mathrm{mm}$

2 $A = q_d \cdot \dfrac{l}{2} = 46{,}0 \cdot \dfrac{7{,}0}{2} = 161\ \mathrm{kN}$

2 $M_{\mathrm{d}} = A \cdot x - \dfrac{q_{\mathrm{d}} \cdot x^2}{2} = 161 \cdot 1{,}819 - \dfrac{46{,}0 \cdot 1{,}819^2}{2} = 216{,}8\ \mathrm{kNm}$

c) Nachweis der Biegerandspannungen

2 $f_{\mathrm{m,d}} = 0{,}70 \cdot \dfrac{24}{1{,}3} = 12{,}9\ \mathrm{N/mm^2}$

Biegerandspannungen faserparalleler Rand unten

3 $\sigma_{\mathrm{m,0,d}} = \dfrac{6 \cdot M_{\mathrm{d}}}{b \cdot h^2} = \dfrac{6 \cdot 216{,}8 \cdot 10^6}{180 \cdot 888^2} = 9{,}16\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $\dfrac{\sigma_{\mathrm{m,0,d}}}{f_{\mathrm{m,d}}} = \dfrac{9{,}16}{12{,}9} = 0{,}71 < 1$

Biegerandspannungen angeschnittener Rand oben (Druckbereich)

2 $\sigma_{\mathrm{m},\alpha,\mathrm{d}} = \sigma_{\mathrm{m,0,d}} = 9{,}16\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $\dfrac{\sigma_{\mathrm{m},\alpha,\mathrm{d}}}{k_{\mathrm{m},\alpha,\mathrm{c}} \cdot f_{\mathrm{m,d}}} = \dfrac{9{,}16}{0{,}720 \cdot 12{,}9} = 0{,}99 < 1$

d) Kippstabilisierungen

2 $M = q_{\mathrm{d}} \cdot l^2 / 8 = 46{,}0 \cdot 7^2 / 8 = 281{,}75\ \mathrm{kNm}$

Querschnittshöhe im Abstand der 0,65-fachen Länge vom "kleineren" Stabende

2 $h = 600 + 0{,}65 \cdot (1.709 - 600) = 1.321\ \mathrm{mm}$

2 $l_{\mathrm{ef}} = \dfrac{l}{a_1 \cdot \left[1 - a_2 \cdot \dfrac{a_z}{l} \cdot 2{,}0\right]} = \dfrac{7.000}{1{,}13 \cdot \left[1 - 1{,}44 \cdot \dfrac{1.321/2}{7.000} \cdot 2{,}0\right]} = 8.506\ \mathrm{mm}$

2 $\dfrac{l_{\mathrm{ef}} \cdot h}{b^2} = \dfrac{8.506 \cdot 1.321}{180^2} = 346{,}8 > 207 \rightarrow$ Nachweis der Kippstabilität erforderlich

2 $\lambda_{\mathrm{rel,m}} = \kappa_{\mathrm{m}} \cdot \sqrt{\dfrac{l_{\mathrm{ef}} \cdot h}{b^2}} = 0{,}0521 \cdot \sqrt{346{,}8} = 0{,}970 \rightarrow k_{\mathrm{crit}} = 0{,}833$

Kippnachweis mit Biegerandspannungen angeschnittener Rand oben (Druckbereich)

2 $\sigma_{\mathrm{m},\alpha,\mathrm{d}} = \dfrac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \dfrac{6 \cdot 281{,}75 \cdot 10^6}{180 \cdot 1.321^2} = 5{,}38\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $\dfrac{\sigma_{\mathrm{m},\alpha,\mathrm{d}}}{k_{\mathrm{crit}} \cdot k_{\mathrm{m},\alpha,\mathrm{c}} \cdot f_{\mathrm{m,d}}} = \dfrac{5{,}38}{0{,}833 \cdot 0{,}720 \cdot 12{,}9} = 0{,}70 < 1 \rightarrow$ keine Kippstabilisierungen erforderlich

Aufgabe 3 $\sum 15$

a) Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung

1 $I_s = \dfrac{180 \cdot 600^3}{12} = 3{,}24 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

1 $A_s = 180 \cdot 600 = 108 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

1 $M_{\max} = q_d \cdot l^2 / 8 = 5{,}1 \cdot 7^2 / 8 = 31{,}238 \text{ kNm}$

2 $\dfrac{h_{ap}}{h_s} = \dfrac{1.709}{600} = 2{,}85 \rightarrow \begin{cases} k_m \approx 0{,}175 \\ k_v \approx 0{,}60 \end{cases}$

2
$$w_{inst,G} = \frac{M_{\max} \cdot l^2}{9{,}6 \cdot E_{0,mean} \cdot I_s} \cdot k_m + \frac{1{,}2 \cdot M_{\max}}{G_{mean} \cdot A_s} \cdot k_v$$
$$w_{inst,G} = \frac{31{,}238 \cdot 10^6 \cdot 7.000^2}{9{,}6 \cdot 11.500 \cdot 3{,}24 \cdot 10^9} \cdot 0{,}175 + \frac{1{,}2 \cdot 31{,}238 \cdot 10^6}{720 \cdot 108 \cdot 10^3} \cdot 0{,}60 = 0{,}749 + 0{,}290 = 1{,}038 \approx 1{,}0 \text{ mm}$$

1 $w_{inst,Q,1} = \dfrac{q_{p,k}}{q_{g,k}} \cdot w_{G,inst} = \dfrac{26{,}1}{5{,}1} \cdot 1{,}038 = 5{,}31 \approx 5{,}3 \text{ mm}$

b) Durchbiegungsnachweise

1 $k_{def} = 0{,}8 \qquad \psi_{2,1} = 0{,}8$

2 $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} = 1{,}0 + 5{,}3 = 6{,}3 < \dfrac{7.000}{300} = 23{,}3 \text{ mm}$

2 $w_{fin} = w_{inst} + \left(w_{inst,G} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i} \right) \cdot k_{def} = 6{,}3 + (1{,}0 + 0{,}8 \cdot 5{,}3) \cdot 0{,}8 = 10{,}5 \text{ mm} < \dfrac{7.000}{200} = 35 \text{ mm}$

2 $w_{net,fin} = \left(w_{inst,G} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i} \right) \cdot (1 + k_{def}) - w_c = (1{,}0 + 0{,}8 \cdot 5{,}3) \cdot (1 + 0{,}8) = 9 \text{ mm} < \dfrac{7.000}{300} = 35 \text{ mm}$

Aufgabe 4 $\sum 25$

2 $$f_{\mathrm{m,d}} = 0{,}90 \cdot \frac{32}{1{,}3} = 22{,}2\ \mathrm{N/mm^2} \qquad f_{\mathrm{t,90,d}} = 0{,}90 \cdot \frac{0{,}5}{1{,}3} = 0{,}346\ \mathrm{N/mm^2}$$

Bemessungswert der Belastung und des maximalen Momentes

2 $$q_{\mathrm{d}} = 1{,}35 \cdot q_{\mathrm{g,k}} + 1{,}5 \cdot q_{\mathrm{p,k}} = 1{,}35 \cdot 8{,}2 + 1{,}5 \cdot 33{,}1 = 60{,}72\ \mathrm{kN/m}$$

2 $$M = \frac{60{,}72 \cdot 15{,}6^2}{8} = 1.847\ \mathrm{kNm}$$

Biegerandspannungen im Firstquerschnitt

2 $$k_{\mathrm{ap}} = \frac{h_{\mathrm{ap}}}{r} = \frac{1.600}{10.800} = 0{,}148$$

3 $$\sigma_{\mathrm{m,d}} = \left(1 + 0{,}35 \cdot k_{\mathrm{ap}} + 0{,}6 \cdot k_{\mathrm{ap}}^2\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{\mathrm{ap,d}}}{b \cdot h_{\mathrm{ap}}^2} = \underbrace{\left(1 + 0{,}35 \cdot 0{,}148 + 0{,}6 \cdot 0{,}148^2\right)}_{1{,}065} \cdot \underbrace{\frac{6 \cdot 1.847 \cdot 10^6}{250 \cdot 1.600^2}}_{17{,}32}$$

$$\sigma_{\mathrm{m,d}} = 1{,}065 \cdot 17{,}32 = 18{,}44\ \mathrm{N/mm^2}$$

2 $$r_{\mathrm{in}} = r - \frac{h}{2} = 10.800 - 800 = 10.000\ \mathrm{mm}$$

2 $$\frac{r_{\mathrm{in}}}{t} = \frac{10.000}{50} = 200 < 240 \rightarrow k_{\mathrm{r}} = 0{,}76 + 0{,}001 \cdot r_{\mathrm{in}}/t = 0{,}76 + 0{,}001 \cdot 200 = 0{,}96$$

2 $$\frac{\sigma_{\mathrm{m,d}}}{k_{\mathrm{r}} \cdot f_{\mathrm{m,d}}} = \frac{18{,}44}{0{,}96 \cdot 22{,}2} = 0{,}87 < 1$$

Querzugspannungen im Firstquerschnitt

1 $$\sigma_{\mathrm{t,90,d}} = 0{,}25 \cdot k_{\mathrm{ap}} \cdot \frac{6 \cdot M_{\mathrm{ap,d}}}{b \cdot h_{\mathrm{ap}}^2} = 0{,}25 \cdot 0{,}148 \cdot 17{,}32 = 0{,}641$$

1 $$V = \underbrace{\frac{2}{3}}_{\frac{2}{3}\ \text{Gesamtvolumen}} \cdot \frac{2 \cdot \delta}{360°} \cdot \pi \cdot \left[\left(r + \frac{h_{\mathrm{ap}}}{2}\right)^2 - \left(r - \frac{h_{\mathrm{ap}}}{2}\right)^2\right] \cdot b = \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot 48{,}6°}{360°} \cdot \pi \cdot \left[11{,}60^2 - 10{,}00^2\right] \cdot 0{,}250 = 4{,}89\ \mathrm{m^3}$$

1 $$\frac{\sigma_{\mathrm{t,90,d}}}{1{,}4 \cdot \left(0{,}01/V\right)^{0{,}2} \cdot f_{\mathrm{t,90,d}}} + \cancel{\frac{\tau_{\mathrm{d}}}{f_{\mathrm{v,d}}}} \le 1 = \frac{0{,}641}{1{,}4 \cdot \left(0{,}01/4{,}89\right)^{0{,}2} \cdot 0{,}346} = 4{,}57 > 1$$ Verstärkung erforderlich

1 $$\frac{\sigma_{\mathrm{t,90,d}}}{1{,}15 \cdot \left(h_0/h_{\mathrm{ap}}\right)^{0{,}3} \cdot f_{\mathrm{t,90,d}}} + \underbrace{\left(\frac{\tau_{\mathrm{d}}}{f_{\mathrm{v,d}}}\right)^2}_{0} = \frac{0{,}641}{1{,}15 \cdot \left(600/1.600\right)^{0{,}3} \cdot 0{,}346} = 2{,}16 > 1$$ Verstärkung zur vollständigen Aufnahme der Querzugspannungen erforderlich

c) elastische Anfangsdurchbiegung aus ständiger Last

2 $$I = b \cdot h^3/12 = 250 \cdot 1.600^3/12 = 8{,}533 \cdot 10^{10}\ \mathrm{mm^4}$$

2 $$w_{\mathrm{inst,G}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \cdot \frac{l_{\mathrm{Träger}}}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8{,}2 \cdot 15.600^4}{13.700 \cdot 8{,}533 \cdot 10^{10}} \cdot \underbrace{\frac{16{,}97}{15{,}60}}_{1{,}088}$$

$$w_{\mathrm{inst,G}} = 5{,}41 \cdot 1{,}088 = 5{,}9\ \mathrm{mm}$$

Prüfung Holzbau III vom 16. 7. 2009 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Name, Vorname: ______________________________ Matr.-Nr.: ______________

Aufgabe	1	2	3	4	Summe
Punkte					/100

Aufgabe 1 (35 Punkte)

Die nachfolgende Zeichnung stellt die linke Hälfte eines Gelenkträgers mit 9 Feldern bis zur Symmetrieachse dar. Die charakteristischen Werte der Belastung sind gegeben:

$q_{g,k} = 8,5$ kN/m ständige Last

$q_{p,k} = 36,5$ kN/m veränderliche Last, KLED=kurz

Führen Sie den Nachweis der Tragfähigkeit in folgenden Schritten unter der Voraussetzung, dass der Träger kippstabil ist:

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Belastung.

b) Legen Sie den Gelenkabstand e so fest, dass die Stütz- und Feldmomente aller Innenfelder den gleichen Wert haben.

c) Führen Sie den Nachweis der Tragfähigkeit (Biegung) nur für die <u>Innenfelder</u> für den unter b) ermittelten Gelenkabstand e.

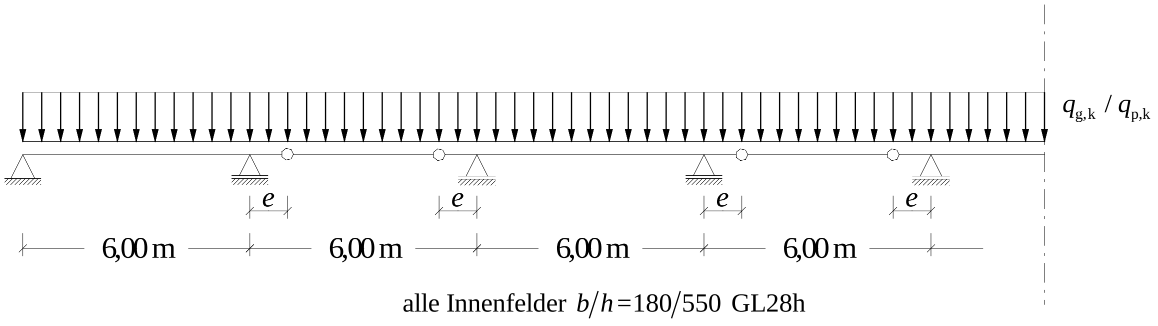
d) Ermittlung des Bemessungswertes der Gelenkkraft für den unter b) ermittelten Gelenkabstand e.

Optimieren Sie den Träger im Hinblick auf eine möglichst kleine Durchbiegung der Innenfelder in folgenden Schritten:

e) Ermittlung des Bemessungswertes des maximal aufnehmbaren Momentes des gegebenen Querschnitts.

f) Festlegung des Gelenkabstandes e mit einer Genauigkeit von $0,01 \cdot l$ (gegebene Tabellenwerte) und Berechnung der Anfangsdurchbiegung aus der veränderlichen Last $q_{p,k}$.

Nutzungsklasse: NKL 1



Aufgabe 2 (35 Punkte)

Der in der nachfolgenden Zeichnung dargestellte Satteldachträger aus GL28h mit lose aufgelegtem Firstkeil soll bemessen werden. Die Belastung ist wie folgt gegeben:

$q_\mathrm{d} = 25{,}0\ \mathrm{kN/m}$ KLED = kurz

Führen Sie den Standsicherheitsnachweis in folgenden Schritten:

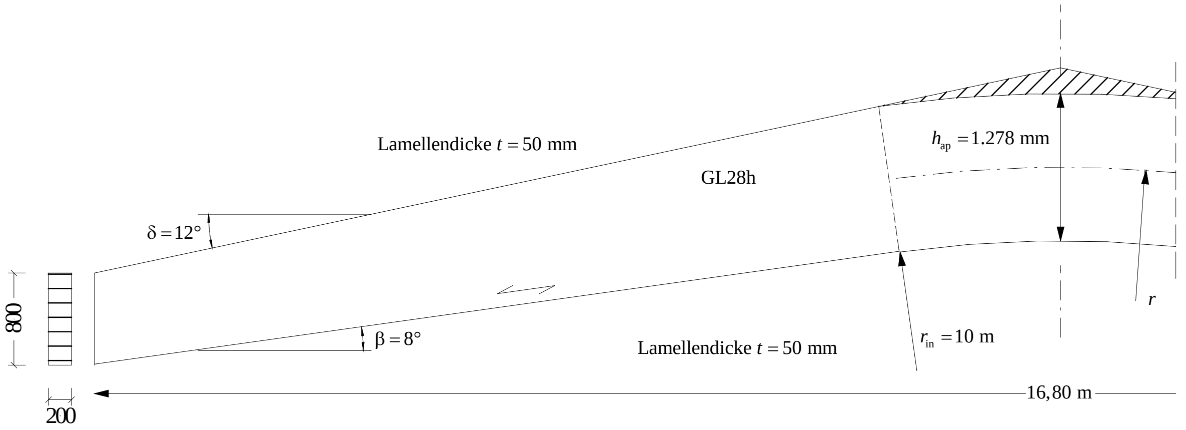
a) Ermitteln Sie die Stelle "x", die für den Nachweis der max. Biegespannung maßgeblich ist, sowie die Trägerhöhe und den Bemessungswert des Biegemomentes an dieser Stelle.

b) Führen Sie den Nachweis der Biegerandspannungen für den oberen und den unteren Trägerrand an der Stelle "x".

c) Führen Sie den Nachweis der Biegerandspannungen für den Firstquerschnitt.

d) Ermitteln Sie die Querzugspannungen im Firstquerschnitt und stellen Sie fest, ob Verstärkungen zur Aufnahme von Querzugspannungen notwendig sind.

Nutzungsbedingungen: NKL 1



Aufgabe 3 (15 Punkte)

Das nachfolgend dargestellte System ist durch Gleichstreckenlasten wie folgt belastet (charakteristische Werte):

$G_k = 4,2$ kN/m ständige Last

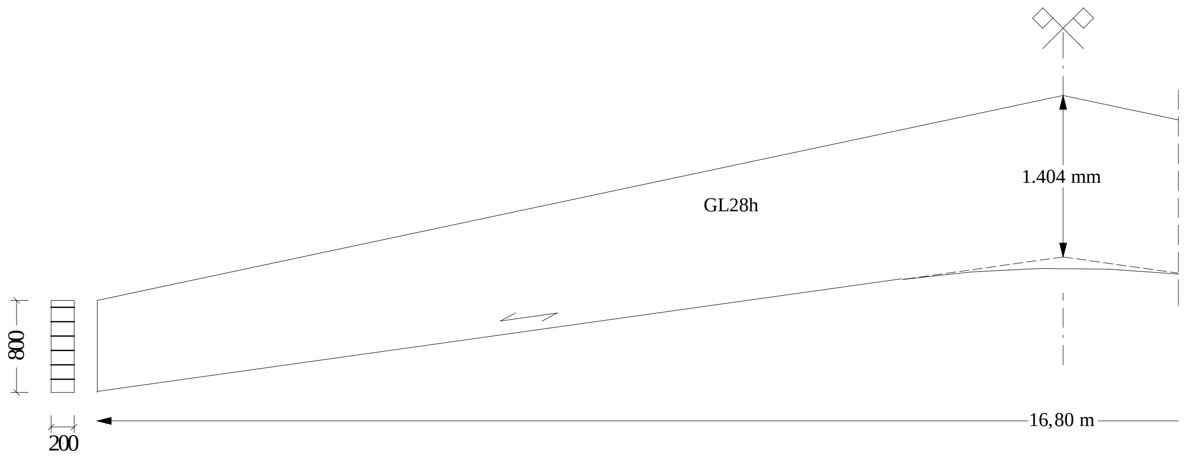
$Q_k = 12,9$ kN/m veränderliche Last, KLED=kurz (aus Schneelasten unterhalb NN+1.000 m) $\psi_2 = 0,0$

Führen Sie den Gebrauchstauglichkeitsnachweis in folgenden Schritten:

a) Berechnung der Anteile der Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung. Verformungsanteile aus Schub sollen berücksichtigt werden.

b) Durchbiegungsnachweise für die üblichen Grenzwerte der Durchbiegung. Der Träger wird ohne Überhöhung hergestellt.

Nutzungsbedingungen: NKL 1, KLED=kurz.



Aufgabe 4 (15 Punkte)

Für den querzugbelasteten Bereich des nachfolgend dargestellten Satteldachträgers mit gekrümmtem unteren Rand und lose aufgelegtem Firstkeil soll die innen liegende Verstärkung bemessen werden.

Folgende Werte sind gegeben:

$\sigma_{t,90,d} = 0{,}50\ \mathrm{N/mm^2}$ Bemessungswert der Querzugspannung im Firstquerschnitt, KLED=kurz, NKL=1

Betonrippenstahl nach DIN 488-1, Durchmesser $d_r = 12\ \mathrm{mm}$, zweireihige Anordnung: $n = 2$

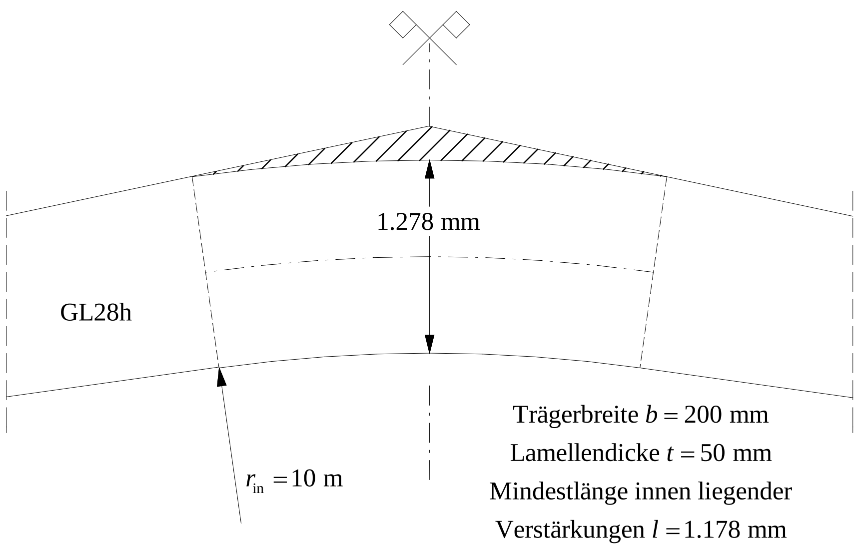
Führen Sie die Bemessung in folgenden Schritten durch

a) Ermittlung des Bemessungswertes der maximalen Tragfähigkeit von Klebefuge und Gewindestange

b) Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Maximalabstands der Stahlstäbe in den beiden inneren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches

c) Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Maximalabstands der Stahlstäbe in den beiden äußeren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches

Nutzungsbedingungen: KLED kurz und NKL 1.



Lösung der Prüfung Holzbau III vom 16. 7. 2009 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Aufgabe 1 $\sum 35$

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Belastung

2 $q_d = 1{,}35 \cdot g + 1{,}5 \cdot p = 1{,}35 \cdot 8{,}5 + 1{,}5 \cdot 36{,}5 = 66{,}225 \text{ kN/m}$

b) Gelenkabstand e, Stütz- und Feldmomente aller Innenfelder gleicher Wert

2 $e = 0{,}1465 \cdot 6.000 = 879{,}0 \text{ mm}$

c) Nachweis der Tragfähigkeit nur für die Innenfelder für den unter b) ermittelten Gelenkabstand e

2 $f_{\text{m,d}} = \underbrace{1{,}009}_{k_\text{h}} \cdot 1{,}125 \cdot 17{,}2 = 19{,}5 \text{ N/mm}^2$

2 $M_2 = 0{,}0625 \cdot q_d \cdot l^2 = 0{,}0625 \cdot 66{,}225 \cdot 6{,}00^2 = 149{,}0 \text{ kNm} = 149 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

2 $W = \dfrac{b \cdot h^2}{6} = \dfrac{180 \cdot 550^2}{6} = 9{,}075 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

2 $\sigma_{\text{m,d}} = \dfrac{149 \cdot 10^6}{9{,}075 \cdot 10^6} = 16{,}42 \text{ N/mm}^2$

2 $\dfrac{\sigma_{\text{m,d}}}{f_{\text{m,d}}} = \dfrac{16{,}42}{19{,}5} = 0{,}84 \le 1$

d) Gelenkkraft für den unter b) ermittelten Gelenkabstand

3 $l = 6.000 - 2 \cdot 879 = 4.242 \text{ mm}$

3 $G_d = 66{,}225 \cdot \dfrac{4.242}{2} = 140.460 \text{ N} = 140{,}5 \text{ kN}$

e) Bemessungswertes des maximal aufnehmbaren Momentes des gegebenen Querschnitts

3 $\dfrac{M_{\text{max,d}}}{W} \le f_{\text{m,d}} \rightarrow M_{\text{max,d}} \le f_{\text{m,d}} \cdot W = 19{,}6 \cdot 9{,}075 \cdot 10^6 = 177.870.000 \text{ Nmm} = 177{,}9 \text{ kNm}$

f) Gelenkabstand und Anfangsdurchbiegung aus der veränderlichen Last

wenn e vergrößert wird, werden die Durchbiegungen der Innenfelder geringer, jedoch die Stützmomente größer. Da die Stützmomente nicht größer werden dürfen als das maximal vom Querschnitt aufnehmbare, gilt $M_\text{C} \le M_{\text{max,d}}$. Daraus lässt sich der maximale Faktor x zur Ermittlung von

3 M_C berechnen:

$x \cdot q_d \cdot l^2 \le 177{,}9 \text{ kNm} \rightarrow x \le \dfrac{177{,}9}{66{,}225 \cdot 6{,}00^2} = 0{,}0746$

2 $\rightarrow e = 0{,}180 \cdot l = 0{,}180 \cdot 6.000 = 1.080 \text{ mm}$

3 $f = 0{,}0038 \cdot \dfrac{q_{\text{q,k}} \cdot l^4}{E \cdot I}$

2 $I = \dfrac{b \cdot h^3}{12} = \dfrac{180 \cdot 550^3}{12} = 2{,}496 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

2 $w_{\text{instQ}} = 0{,}0038 \cdot \dfrac{36{,}5 \cdot 6.000^4}{12.600 \cdot 2{,}496 \cdot 10^9} = 5{,}7 \text{ mm}$

Aufgabe 2 $\sum 35$

a) Stelle "x", Trägerhöhe und Bemessungswert des Biegemomentes

2 $h_1 = h_s + \frac{l}{2} \cdot \left(\tan\delta - \tan\beta\right) = 800 + \frac{16.800}{2} \cdot \left(\tan 12° - \tan 8°\right) = 1.405 \text{ mm}$

2 $x = \frac{l \cdot h_s}{2 \cdot h_1} = \frac{16.800 \cdot 800}{2 \cdot 1.405} = 4.783 \text{ mm}$

2 $h'_x = h_s + x \cdot \left(\tan\delta - \tan\beta\right) = 800 + 4.783 \cdot \left(\tan 12° - \tan 8°\right) = 1.144 \text{ mm}$

2 $h_x = \frac{h'_x}{2} \cdot \left(\frac{\cos\delta}{\cos\alpha} + \cos\beta\right) = \frac{1.144}{2} \cdot \left(\frac{\cos 12°}{\cos 4°} + \cos 8°\right) = 1.128 \text{ mm}$

2 $A = q_d \cdot \frac{l}{2} = 25{,}0 \cdot \frac{16{,}8}{2} = 210 \text{ kN} \rightarrow M_{x,d} = A \cdot x - \frac{q_d \cdot x^2}{2} = 210 \cdot 4{,}783 - \frac{25 \cdot 4{,}783^2}{2} = 718{,}5 \text{ kNm}$

b) Nachweis der Biegerandspannungen für den oberen und den unteren Trägerrand an der Stelle "x"

2 $f_{m,d} = 0{,}90 \cdot \frac{28}{1{,}3} = 19{,}38 \text{ N/mm}^2$

1 $\sigma_{m,0,d} = \sigma_{m,\alpha,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_x^2} = 16{,}94 \text{ N/mm}^2$

- unten (Zugbereich)

2 $\frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,d}} = \frac{16{,}94}{19{,}38} = 0{,}87 < 1$

- oben (Druckbereich)

2 $\frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{k_{m,\alpha,c} \cdot f_{m,d}} = \frac{16{,}94}{0{,}925 \cdot 19{,}38} = 0{,}94 < 1$

c) Biegerandspannungen im Firstquerschnitt

2 $M_{ap,d} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{25 \cdot 16{,}8^2}{8} = 882 \text{ kNm}$

2 $k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r} = \frac{1.278}{10.000 + 0{,}5 \cdot 1.278} = \frac{1.278}{10.639} = 0{,}1201$

3 $\sigma_{m,d} = \left(1 + 0{,}35 \cdot k_{ap} + 0{,}6 \cdot k_{ap}^2\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = \underbrace{\left(1 + 0{,}35 \cdot 0{,}1201 + 0{,}6 \cdot 0{,}1201^2\right)}_{1{,}0507} \cdot \underbrace{\frac{6 \cdot 882 \cdot 10^6}{200 \cdot 1.278^2}}_{16{,}20} = 17{,}02 \text{ N/mm}^2$

2 $\frac{r_{in}}{t} = \frac{10.000}{50} = 200 < 240 \rightarrow k_r = 0{,}76 + 0{,}001 \cdot r_{in}/t = 0{,}96$

2 $\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \frac{17{,}02}{0{,}96 \cdot 19{,}38} = 0{,}91 < 1$

d) Querzugspannungen im Firstquerschnitt

2 $f_{t,90,d} = 0{,}90 \cdot \frac{0{,}45}{1{,}3} = 0{,}312 \text{ N/mm}^2$

2 $\sigma_{t,90,d} = 0{,}25 \cdot k_{ap} \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0{,}25 \cdot 0{,}1201 \cdot 16{,}20 = 0{,}486 \text{ N/mm}^2$

1 $V=\frac{2\cdot\beta}{360°}\cdot\pi\cdot\left[\left(r+\frac{h_{\text{ap}}}{2}\right)^2-\left(r-\frac{h_{\text{ap}}}{2}\right)^2\right]\cdot b=\frac{2\cdot 8°}{360°}\cdot\pi\cdot\left[11{,}278^2-10{,}00^2\right]\cdot 0{,}200=0{,}759\ \text{m}^3$

1 $\frac{\sigma_{\text{t,90,d}}}{1{,}4\cdot\left(0{,}01/V\right)^{0{,}2}\cdot f_{\text{t,90,d}}}+\cancel{\frac{\tau_{\text{d}}}{f_{\text{v,d}}}}\le 1=\frac{0{,}486}{1{,}4\cdot\left(0{,}01/0{,}759\right)^{0{,}2}\cdot 0{,}312}=2{,}66>1$ Verstärkung erforderlich

1 $\frac{\sigma_{\text{t,90,d}}}{1{,}15\cdot\left(h_0/h_{\text{ap}}\right)^{0{,}3}\cdot f_{\text{t,90,d}}}+\underbrace{\left(\frac{\tau_{\text{d}}}{f_{\text{v,d}}}\right)^2}_{0}=\frac{0{,}486}{1{,}15\cdot\left(600/1.278\right)^{0{,}3}\cdot 0{,}312}=1{,}68>1$ Verstärkung zur vollständigen Aufnahme der Querzugspannungen erforderlich

Aufgabe 3 $\sum 15$

a) Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung

1 $I_{\text{s}}=b\cdot h_{\text{s}}^3/12=200\cdot 800^3/12=8{,}533\cdot 10^9\ \text{mm}^4$
$A_{\text{s}}=b\cdot h_{\text{s}}=200\cdot 800=0{,}16\cdot 10^6\ \text{mm}^2$

2 $k_{\text{m}}=\frac{\left(h_{\text{s}}/h_{\text{l}}\right)^3}{0{,}15+0{,}85\cdot\left(h_{\text{s}}/h_{\text{l}}\right)}=\frac{\left(800/1.404\right)^3}{0{,}15+0{,}85\cdot\left(800/1.404\right)}=0{,}292$

2 $k_{\text{v}}=\frac{2}{1+\left(h_{\text{l}}/h_{\text{s}}\right)^{2/3}}=\frac{2}{1+\left(1.404/800\right)^{2/3}}=0{,}815$

b) Durchbiegungsnachweise

1 $M_{\max}=G_{\text{k}}^2\cdot\frac{l^2}{8}=4{,}2\cdot\frac{16{,}8^2}{8}=148{,}2\ \text{kNm}$

2 $w_{\text{m}}=\frac{M_{\max}\cdot l^2}{9{,}6\cdot E_{0,\text{mean}}\cdot I_{\text{s}}}\cdot k_{\text{m}}=\frac{148{,}2\cdot 10^6\cdot 16.800^2}{9{,}6\cdot 12.600\cdot 8{,}533\cdot 10^9}\cdot 0{,}292=11{,}8\ \text{mm}$

2 $w_{\text{v}}=\frac{1{,}2\cdot M_{\max}}{G_{\text{mean}}\cdot A_{\text{s}}}\cdot k_{\text{v}}=\frac{1{,}2\cdot 148{,}2\cdot 10^6}{780\cdot 0{,}16\cdot 10^6}\cdot 0{,}815=1{,}2\ \text{mm}$

1 $w_{\text{inst,G}}=11{,}8+1{,}2=13\ \text{mm}$ $\qquad w_{\text{inst,Q,1}}=\frac{12{,}9}{4{,}2}\cdot 13=39{,}9\ \text{mm}$

1 $w_{\text{inst}}=w_{\text{inst,G}}+w_{\text{inst,Q,1}}=13+39{,}9=52{,}9\ \text{mm}<\frac{16.800}{300}=56\ \text{mm}$

1 $w_{\text{fin}}=w_{\text{inst}}+\left(w_{\text{inst,G}}+\sum_{i=1}^{n}\psi_{2,\text{i}}\cdot w_{\text{inst,Q,i}}\right)\cdot k_{\text{def}}=52{,}9+\left(13+0{,}0\cdot 39{,}9\right)\cdot 0{,}6=60{,}7<\frac{16.800}{200}=84\ \text{mm}$

2 $w_{\text{net,fin}}=\left(w_{\text{inst,G}}+\sum_{i=1}^{n}\psi_{2,\text{i}}\cdot w_{\text{inst,Q,i}}\right)\cdot\left(1+k_{\text{def}}\right)-w_{\text{c}}=\left(13+0{,}0\cdot 39{,}9\right)\cdot\left(1+0{,}6\right)=21\ \text{mm}<\frac{16.800}{300}=56\ \text{mm}$

Aufgabe 4 $\sum 15$

a) Tragfähigkeit von Klebefuge und Betonrippenstahl

1 $N_{\mathrm{R.d}} = 45{,}2\ \mathrm{kN}$

2 $f_{\mathrm{k1,k}} = 4{,}0\ \mathrm{N/mm^2}$

1 $f_{\mathrm{k1,d}} = k_{\mathrm{mod}} \cdot \dfrac{f_{\mathrm{k1,k}}}{\gamma_{\mathrm{M}}} = 0{,}9 \cdot \dfrac{4{,}0}{1{,}3} = 2{,}77\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $\max F_{\mathrm{t,90,d}} = 1{,}125 \cdot \left(589/550\right) \cdot 25{,}5 = 30{,}7 \rightarrow$ maßgeblich

b) Maximalabstands der Gewindestangen in den beiden inneren Vierteln

2 $F_{\mathrm{t,90,d}} = \dfrac{\sigma_{\mathrm{t,90,d}} \cdot b \cdot a_1}{n} \leq 30.700\ \mathrm{N}$

2 $a_1 \leq 30.700 \cdot \dfrac{n}{\sigma_{\mathrm{t,90,d}} \cdot b} = 30.700 \cdot \dfrac{2}{0{,}5 \cdot 200} = 614\ \mathrm{mm} \approx 600\ \mathrm{mm}$

2 $250 \leq \left(a_1 = 600\right) \leq \left(0{,}75 \cdot 1.278 = 959\right) \rightarrow \text{ist erfüllt}$

c) Maximalabstands der Gewindestangen in den beiden äußeren Vierteln

2 $F_{\mathrm{t,90,d}} = \dfrac{2}{3} \cdot \dfrac{\sigma_{\mathrm{t,90,d}} \cdot b \cdot a_1}{n} \rightarrow a_1 \leq \dfrac{3}{2} \cdot 614\ \mathrm{mm} = 921\ \mathrm{mm} \rightarrow \text{gewählt } 900\ \mathrm{mm}$

1 $250 \leq \left(a_1 = 900\right) \leq \left(0{,}75 \cdot 1.278 = 959\right) \rightarrow \text{ist erfüllt}$

Prüfung Holzbau III vom 13. 7. 2010 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Name, Vorname: ________________________________ Matr.-Nr.: ______________

Aufgabe	1	2	3	4	Summe
Punkte					/100

Aufgabe 1 (25 Punkte)

Der dargestellte Deckenbalken wird als Koppelträger über 7 Felder ausgeführt. Es werden in allen Feldern gleiche Holz-Querschnitte verwendet. In den Endfeldern liegen jeweils zwei Querschnitte. Die charakteristischen Werte der Belastung sind gegeben:

$q_{g,k} = 2{,}0\ \mathrm{kN/m}$ ständige Last

$q_{p,k} = 2{,}9\ \mathrm{kN/m}$ veränderliche Last, KLED=kurz

Führen Sie den Nachweis der Tragsicherheit in folgenden Schritten unter der Voraussetzung, dass der Träger kippstabil ist:

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Belastung.

b) Führen Sie den Nachweis der Tragsicherheit (Biegung) für die Endfelder.

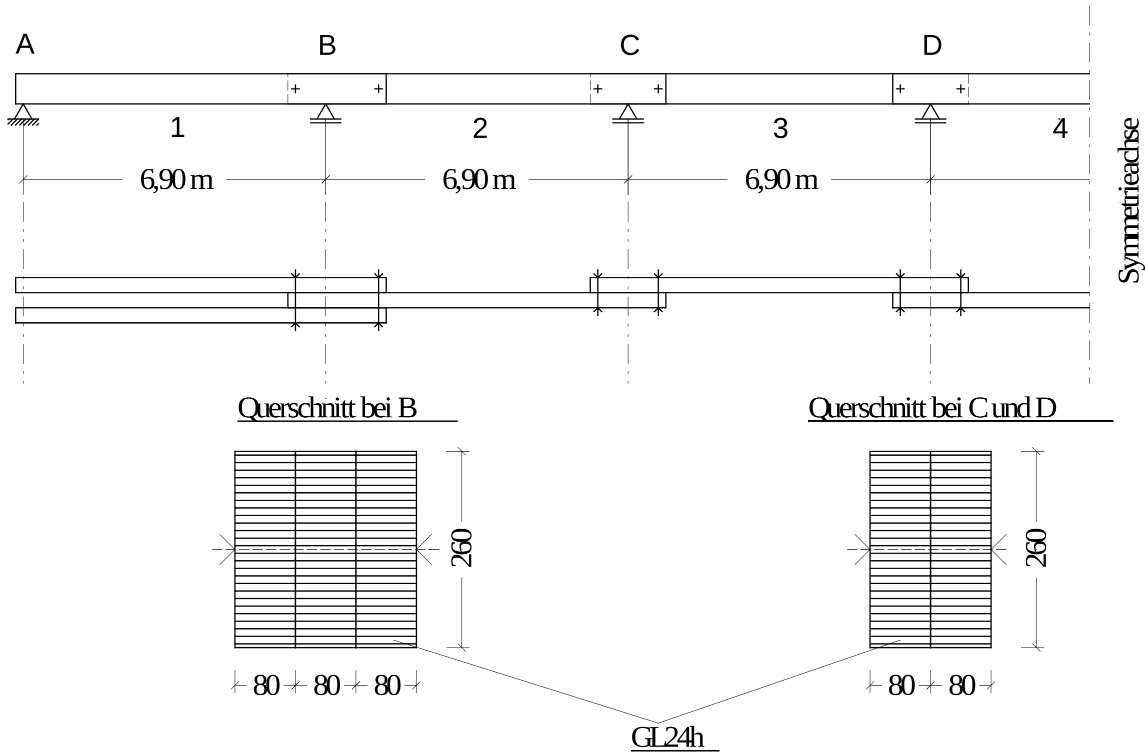
c) Führen Sie den Nachweis der Tragsicherheit (Biegung) für die Innenfelder.

d) Führen Sie den Nachweis der Tragsicherheit (Biegung) für das maßgebliche Stützmoment bei den Auflagern C bzw. D

e) Ermitteln Sie den Bemessungswert der maximalen Kopplungskraft in diesem System.

f) Ermitteln Sie die Anfangsdurchbiegung aus der veränderlichen Last für das maßgebliche Feld.

Nutzungsklasse: NKL 1



Aufgabe 2 (35 Punkte)

Der in der nachfolgenden Zeichnung dargestellte Satteldachträger aus GL36h soll bemessen werden. Die Belastung ist wie folgt gegeben:

$q_{\mathrm{d}} = 59{,}0\ \mathrm{kN/m}$ KLED=kurz

Führen Sie den Standsicherheitsnachweis in folgenden Schritten:

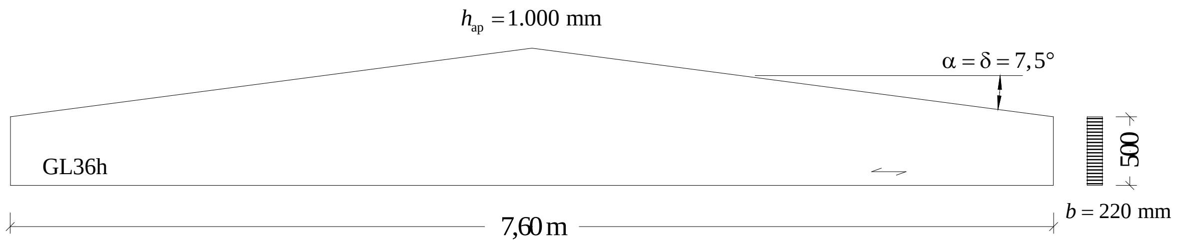
a) Ermitteln Sie die Stelle "x", die für den Nachweis der max. Biegespannung maßgeblich ist, sowie die Trägerhöhe und den Bemessungswert des Biegemomentes an dieser Stelle.

b) Führen Sie den Nachweis der Biegerandspannungen für den oberen und den unteren Trägerrand an der Stelle "x".

c) Führen Sie den Nachweis der Biegerandspannungen für den Firstquerschnitt.

d) Ermitteln Sie die Querzugspannungen im Firstquerschnitt und stellen Sie fest, ob und welcher Art Verstärkungen zur Aufnahme von Querzugspannungen notwendig sind.

Nutzungsbedingungen: NKL 1



Aufgabe 3 (15 Punkte)

Das System aus Aufgabe 2 ist durch Gleichstreckenlasten wie folgt belastet (charakteristische Werte):

$G_{\mathrm{k}} = 10{,}9\ \mathrm{kN/m}$ ständige Last

$Q_{\mathrm{k}} = 29{,}5\ \mathrm{kN/m}$ veränderliche Last, KLED=kurz (aus Schneelasten unterhalb NN+1.000 m)

Führen Sie den Gebrauchstauglichkeitsnachweis in folgenden Schritten:

a) Berechnung der Anteile der Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung. Verformungsanteile aus Schub sollen berücksichtigt werden.

b) Durchbiegungsnachweise für die üblichen Grenzwerte der Durchbiegung. Der Träger wird ohne Überhöhung hergestellt.

Nutzungsbedingungen: NKL 1, KLED=kurz.

<u>Aufgabe 4 (25 Punkte)</u>

Die Verstärkung einer rechtwinkligen Ausklinkung am Ende eines Biegestabes soll für zwei Varianten bemessen werden.

Führen Sie die Bemessung für die linke Variante in folgenden Schritten durch

a) Ermittlung des Bemessungswertes der maximalen Tragfähigkeit von Klebefuge und Betonrippenstahl nach DIN 488-1, Durchmesser $d_{\mathrm{r}} = 20\ \mathrm{mm}$

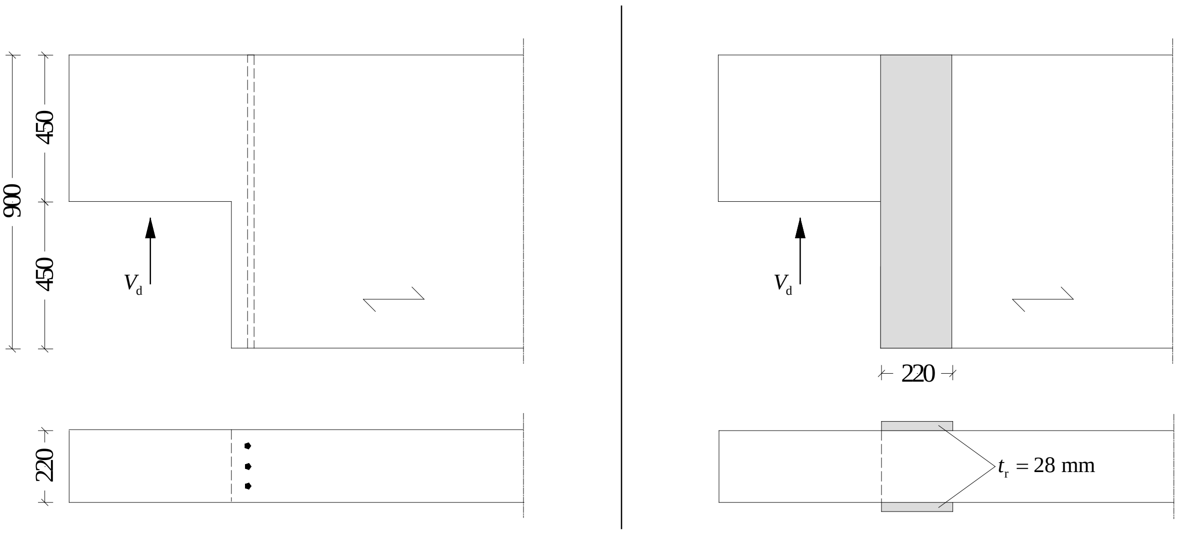
b) Nachweis der Tragsicherheit für $V_{\mathrm{d}} = 270\ \mathrm{kN}$

Führen Sie die Bemessung für die rechte Variante in folgenden Schritten durch

c) Überprüfen Sie die Zulässigkeit der Breite der aufgeklebten Sperrholzplatte

d) Ermitteln Sie den Bemessungswert der maximal aufnehmbaren Auflagerkraft V_{d} für die Verstärkung mit beidseitig aufgeklebten Sperrholzplatten aus der Tragfähigkeit der Klebfuge und der Tragfähigkeit des Sperrholzes. Der Bemessungswert der Zugfestigkeit des Sperrholzes beträgt: $f_{\mathrm{t,d}} = 24{,}9\ \mathrm{N/mm^2}$

Nutzungsbedingungen: <u>KLED kurz</u> und <u>NKL 1</u>.



Lösung der Prüfung Holzbau III vom 13. 7. 2010 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Aufgabe 1 $\sum 25$

2 $h = 260 \text{ mm} \rightarrow f_{\text{m,d}} = f_{\text{m,,yd}} = 1{,}087 \cdot k_{\text{mod}} \cdot \dfrac{f_{\text{m,k}}}{\gamma_{\text{M}}} = 1{,}087 \cdot 0{,}9 \cdot \dfrac{24}{1{,}3} = 18{,}1 \text{ N/mm}^2$

2 $$\left.\begin{aligned} W &= \frac{80 \cdot 260^2}{6} = 0{,}901 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ I &= \frac{80 \cdot 260^3}{12} = 0{,}117 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}\right\} \text{für 1 Querschnitt}$$

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Belastung

2 $q_d = 1{,}35 \cdot q_{\text{g,k}} + 1{,}5 \cdot q_{\text{p,k}} = 1{,}35 \cdot 2{,}0 + 1{,}5 \cdot 2{,}9 = 7{,}05 \text{ kN/m}$

b) Nachweis der Tragsicherheit (Biegung) für die Endfelder

2 $M_{1,\text{d}} = 0{,}0778 \cdot q_{\text{d}} \cdot l^2 = 0{,}0778 \cdot 7{,}05 \cdot 6{,}9^2 = 26{,}11 \text{ kNm}$

2 $$\frac{\sigma_{\text{m,d}}}{f_{\text{m,d}}} = \frac{\dfrac{26{,}11 \cdot 10^6}{2 \cdot 0{,}901 \cdot 10^6}}{18{,}1} = \frac{14{,}5}{18{,}1} = 0{,}80 \le 1$$

c) Nachweis der Tragsicherheit für die <u>Innenfelder</u>

2 $M_{3,\text{d}} = 0{,}0440 \cdot q_{\text{z,d}} \cdot l^2 = 0{,}0440 \cdot 7{,}05 \cdot 6{,}9^2 = 14{,}77 \text{ kNm}$

2 $$\frac{\sigma_{\text{m,d}}}{f_{\text{m,d}}} = \frac{\dfrac{14{,}77 \cdot 10^6}{0{,}901 \cdot 10^6}}{18{,}1} = \frac{16{,}4}{18{,}1} = 0{,}91 \le 1$$

d) Nachweis der Tragsicherheit (Biegung) für das maßgebliche Stützmoment

3 $M_{\text{D,d}} = 0{,}0845 \cdot q_{\text{z,d}} \cdot l^2 = 0{,}0845 \cdot 7{,}05 \cdot 6{,}9^2 = 28{,}36 \text{ kNm}$

2 $$\frac{\sigma_{\text{m,y,d}}}{f_{\text{m,y,d}}} = \frac{\dfrac{28{,}36 \cdot 10^6}{2 \cdot 0{,}901 \cdot 10^6}}{18{,}1} = \frac{15{,}7}{18{,}1} = 0{,}87 \le 1$$

e) Bemessungswert der maximalen Kopplungskraft

3 $F_{Cl,\text{d}} = 0{,}430 \cdot q_{\text{d}} \cdot l = 0{,}430 \cdot 7{,}05 \cdot 6.900 = 20.917 \text{ N} = 20{,}9 \text{ kN}$

f) Anfangsdurchbiegung aus der veränderlichen Last für das maßgebliche Feld

3 Endfeld: $f_1 = 0{,}00642 \cdot \dfrac{q_{\text{q,k}} \cdot l^4}{E \cdot I} = 0{,}00642 \cdot \dfrac{2{,}9 \cdot 6.900^4}{11.600 \cdot 2 \cdot 0{,}117 \cdot 10^9} = 15{,}5 \text{ mm}$

Aufgabe 2 $\sum 35$

a) Stelle "x", Trägerhöhe und Bemessungswert des Biegemomentes

2 $$x = \frac{l \cdot h_s}{2 \cdot h_{ap}} = \frac{7.600 \cdot 500}{2 \cdot 1.000} = 1.900 \text{ mm}$$

2 $$h_x = h_s + x \cdot \tan\alpha = 500 + 1.900 \cdot \tan 7{,}5° = 750 \text{ mm}$$

2 $$A = q_d \cdot \frac{l}{2} = 59{,}0 \cdot \frac{7{,}60}{2} = 224{,}2 \text{ kN} \rightarrow M_{x,d} = A \cdot x - \frac{q_d \cdot x^2}{2} = 224{,}2 \cdot 1{,}90 - \frac{59 \cdot 1{,}90^2}{2} = 319{,}5 \text{ kNm}$$

b) Nachweis der Biegerandspannungen für den oberen und den unteren Trägerrand an der Stelle "x"

1 $$f_{m,d} = 0{,}90 \cdot \frac{36}{1{,}3} = 24{,}9 \text{ N/mm}^2$$

Biegerandspannungen bei Position x faserparalleler Rand unten (Zugbereich)

2 $$\sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_x^2} = \frac{6 \cdot 319{,}5 \cdot 10^6}{\underbrace{220 \cdot 750^2}_{15{,}49}} = 15{,}49 \text{ N/mm}^2$$

2 $$\frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,d}} = \frac{15{,}49}{24{,}9} = 0{,}62 < 1$$

Biegerandspannungen bei Position x angeschnittener Rand oben (Druckbereich)

2 $$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_x^2} = \frac{6 \cdot 319{,}5 \cdot 10^6}{220 \cdot 750^2} = 15{,}49 \text{ N/mm}^2$$

2 $$k_{m,\alpha,c} = \frac{0{,}819 + 0{,}777}{2} = 0{,}798$$

2 $$\frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{k_{m,\alpha,c} \cdot f_{m,d}} = \frac{15{,}49}{0{,}798 \cdot 24{,}9} = 0{,}78 < 1$$

c) Biegerandspannungen im Firstquerschnitt

2 $$M_{ap,d} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{59 \cdot 7{,}60^2}{8} = 426{,}0 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = \left(1 + 1{,}4 \cdot \tan\alpha + 5{,}4 \cdot \tan^2\alpha\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$$

3 $$\sigma_{m,d} = \underbrace{\left(1 + 1{,}4 \cdot \tan 7{,}5° + 5{,}4 \cdot \tan^2 7{,}5°\right)}_{1{,}278} \cdot \frac{6 \cdot 426{,}0 \cdot 10^6}{\underbrace{220 \cdot 1.000^2}_{11{,}62}} = 14{,}85 \text{ N/mm}^2$$

3 $$\frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,d}} = \frac{14{,}85}{24{,}9} = 0{,}60 < 1$$

d) Querzugspannungen im Firstquerschnitt

2 $$f_{t,90,d} = 0{,}90 \cdot \frac{0{,}6}{1{,}3} = 0{,}415 \text{ N/mm}^2$$

2 $$\sigma_{t,90,d} = 0{,}2 \cdot \tan\alpha \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0{,}2 \cdot \tan 7{,}5° \cdot 11{,}62 = 0{,}3060$$

3 $$V = \left(1 - 0{,}25 \cdot \tan\alpha\right) \cdot h_{ap}^2 \cdot b = \left(1 - 0{,}25 \cdot \tan 7{,}5°\right) \cdot 1{,}0^2 \cdot 0{,}220 = 0{,}213 \text{ m}^3$$

3 $$\frac{\sigma_{t,90,d}}{1{,}4 \cdot \left(0{,}01/V\right)^{0{,}2} \cdot f_{t,90,d}} + \cancel{\frac{\tau_d}{f_{v,d}}} = \frac{0{,}3060}{1{,}4 \cdot \left(0{,}01/0{,}213\right)^{0{,}2} \cdot 0{,}415} = 0{,}97 < 1$$ keine Verstärkung erforderlich

Aufgabe 3 $\sum 15$

a) Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung

1 $E_{0,\text{mean}} = 14.700 \text{ N/mm}^2$

1 $G_{\text{mean}} = 910 \text{ N/mm}^2$

1 $I_s = b \cdot h_s^3 / 12 = 220 \cdot 500^3 / 12 = 2{,}292 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$
$A_s = b \cdot h_s = 220 \cdot 500 = 0{,}110 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$

2 $k_m = \dfrac{(h_s/h_{ap})^3}{0{,}15 + 0{,}85 \cdot (h_s/h_{ap})} = \dfrac{(500/1.000)^3}{0{,}15 + 0{,}85 \cdot (500/1.000)} = 0{,}217$

2 $k_v = \dfrac{2}{1 + (h_{ap}/h_s)^{2/3}} = \dfrac{2}{1 + (1.000/500)^{2/3}} = 0{,}773$

b) Durchbiegungsnachweise

1 $M_{\max} = G_k^2 \cdot \dfrac{l^2}{8} = 10{,}9 \cdot \dfrac{7{,}60^2}{8} = 78{,}70 \text{ kNm}$

1 $w_m = \dfrac{M_{\max} \cdot l^2}{9{,}6 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I_s} \cdot k_m = \dfrac{78{,}70 \cdot 10^6 \cdot 7.600^2}{9{,}6 \cdot 14.700 \cdot 2{,}292 \cdot 10^9} \cdot 0{,}217 = 3{,}1 \text{ mm}$

1 $w_v = \dfrac{1{,}2 \cdot M_{\max}}{G_{\text{mean}} \cdot A_s} \cdot k_v = \dfrac{1{,}2 \cdot 78{,}70 \cdot 10^6}{910 \cdot 0{,}110 \cdot 10^6} \cdot 0{,}773 = 0{,}7 \text{ mm}$

1 $w_{\text{inst,G}} = 3{,}1 + 0{,}7 = 3{,}8 \text{ mm}$

1 $w_{\text{inst,Q,1}} = \dfrac{29{,}5}{10{,}9} \cdot 14{,}8 = 10{,}2 \text{ mm}$

1 $w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q,1}} = 3{,}8 + 10{,}2 = 14{,}0 < \dfrac{7.600}{300} = 25{,}3 \text{ mm}$

1 $w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot k_{\text{def}} = 14{,}0 + (3{,}8 + 0 \cdot 10{,}2) \cdot 0{,}6 = 16{,}3 \text{ mm} < \dfrac{7.600}{200} = 38 \text{ mm}$

1 $w_{\text{net,fin}} = \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c = (3{,}8 + 0 \cdot 10{,}2) \cdot (1 + 0{,}6) = 6 \text{ mm} < \dfrac{7.600}{300} = 25{,}3 \text{ mm}$

Aufgabe 4 $\sum 25$

a) Bemessungswerte der maximalen Tragfähigkeit von Klebefuge und Betonrippenstahl

1 $N_{\mathrm{R,d}} = 126\ \mathrm{kN}$

Tragfähigkeit der Klebfuge eines eingeklebten Betonrippenstahls

1 $l_{\mathrm{ad}} = 450\ \mathrm{mm} > \max\left\{0{,}5 \cdot 20^2; 10 \cdot 20\right\} = 200\ \mathrm{mm} \rightarrow \text{eingehalten}$

3 $\max F_{\mathrm{t,90,d}} = 1{,}125 \cdot 52{,}2 = 58{,}7 \rightarrow$ maßgeblich

b) Nachweis der Tragsicherheit

2 $\alpha = h_{\mathrm{e}}/h = 450/900 = 0{,}5$

2 $F_{\mathrm{t,90,d}} = 1{,}3 \cdot V_{\mathrm{d}} \cdot \left[3 \cdot (1-\alpha)^2 - 2 \cdot (1-\alpha)^3\right] = 1{,}3 \cdot 270 \cdot \left[\underbrace{3 \cdot (1-0{,}5)^2 - 2 \cdot (1-0{,}5)^3}_{0{,}50}\right] = 175{,}5\ \mathrm{kN}$

2 Benötigte Anzahl von Gewindestangen: $n = \dfrac{175{,}5}{58{,}7} = 2{,}99 < 3$

c) Zulässigkeit der Breite der aufgeklebten Sperrholzplatte

1 $h_{\min} = \min\left\{h_{\mathrm{e}}; (h - h_{\mathrm{e}})\right\} = \min\left\{450; (900-450)\right\} = 450\ \mathrm{mm}$

1 $\dfrac{l_{\mathrm{r}}}{h_{\min}} = \dfrac{220}{450} = 0{,}49 \rightarrow 0{,}25 \leq 0{,}49 \leq 0{,}5$

d) Bemessungswert der maximal aufnehmbaren Auflagerkraft V_{d} für aufgeklebte Sperrholzplatten

Tragfähigkeit der Klebfuge

2 $f_{\mathrm{k2,d}} = 0{,}9 \cdot \dfrac{0{,}75}{1{,}3} = 0{,}519\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $\tau_{\mathrm{ef,d}} = \dfrac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{2 \cdot h_{\min} \cdot l_{\mathrm{r}}} \leq f_{\mathrm{k2,d}} \rightarrow F_{\mathrm{t,90,d}} \leq f_{\mathrm{k2,d}} \cdot 2 \cdot h_{\min} \cdot l_{\mathrm{r}} = 0{,}519 \cdot 2 \cdot 450 \cdot 220 = 102.800\ \mathrm{N} = 102{,}8\ \mathrm{kN}$

Tragfähigkeit der Sperrholzplatten

2 $2{,}0 \cdot \dfrac{\sigma_{\mathrm{t,d}}}{f_{\mathrm{t,d}}} \leq 1$ und $\sigma_{\mathrm{t,d}} = \dfrac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{2 \cdot t_{\mathrm{r}} \cdot l_{\mathrm{r}}} \rightarrow 2{,}0 \cdot \dfrac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{2 \cdot t_{\mathrm{r}} \cdot l_{\mathrm{r}}} \leq f_{\mathrm{t,d}} \rightarrow F_{\mathrm{t,90,d}} \leq f_{\mathrm{t,d}} \cdot t_{\mathrm{r}} \cdot l$

2 $F_{\mathrm{t,90,d}} \leq 24{,}9 \cdot 28 \cdot 220 = 153.380\ \mathrm{N} = 153{,}8\ \mathrm{kN}$

2 $F_{\mathrm{t,90,d}} = 1{,}3 \cdot V_{\mathrm{d}} \cdot \left(1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3\right) \rightarrow V_{\mathrm{d}} = \dfrac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{1{,}3 \cdot \left(1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3\right)}$

2 $V_{\mathrm{d}} \leq \dfrac{102{,}8}{1{,}3 \cdot \underbrace{\left(1 - 3 \cdot 0{,}5^2 + 2 \cdot 0{,}5^3\right)}_{0{,}50}} = \dfrac{102{,}8}{0{,}65} = 158{,}2\ \mathrm{kN}$

Prüfung Holzbau III vom 5. 7. 2011 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Name, Vorname: ______________________________ Matr.-Nr.: ______________

Aufgabe	1	2	3	4	Summe
Punkte					/100

Aufgabe 1 (35 Punkte)

Im Bereich einer Auskragung eines 200 mm breiten Brettschichtholzträgers sind ein rechteckiger Durchbruch und ein runder Durchbruch erforderlich. Es muss der Nachweis geführt werden, dass diese Durchbrüche ohne Verstärkung zulässig sind.

$F_d = 100$ kN   KLED=kurz, NKL 1

Führen Sie den Nachweis der Tragsicherheit im Bereich der Durchbrüche in folgenden Schritten:

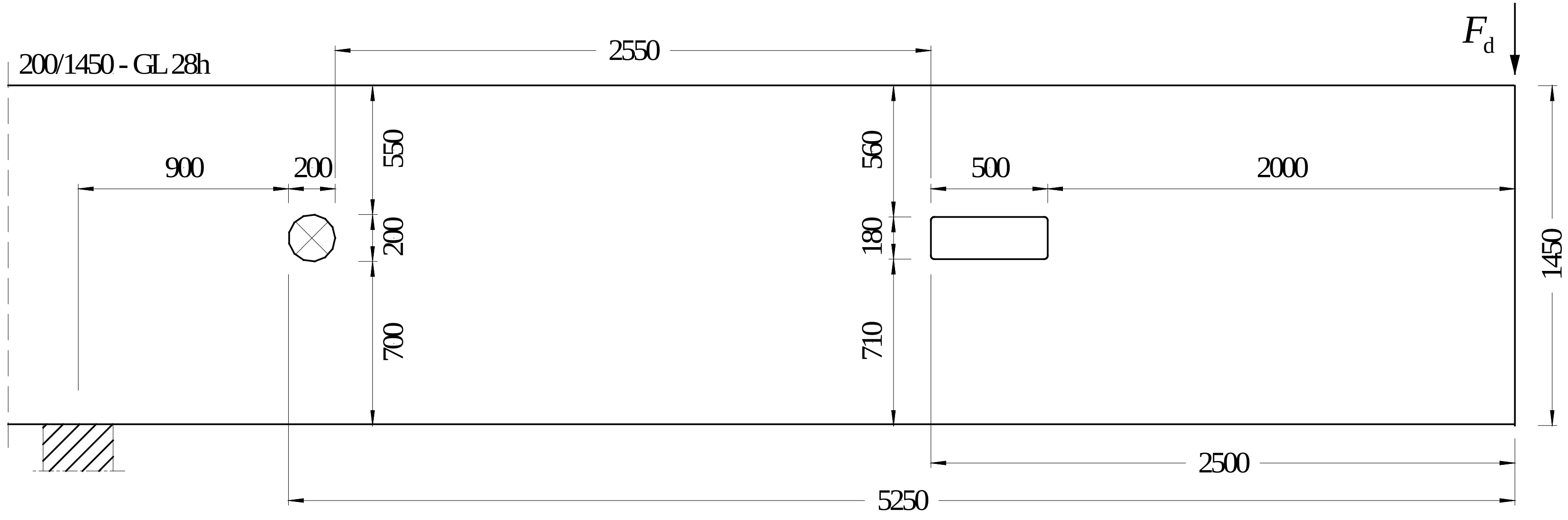
a) Überprüfung der geometrischen Bedingungen für beide Durchbrüche.

b) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des rechteckigen Durchbruchs.

c) Tragfähigkeitsnachweis der Biegespannungen am rechteckigen Durchbruch mit Biegerandspannungen in der Mitte des Durchbruchs (ohne Erhöhung) $\sigma_{m,d,o} = 3,37$ N/mm² $\quad \sigma_{m,d,u} = 3,15$ N/mm².

d) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des kreisförmigen Durchbruchs.

Maße in mm



Aufgabe 2 (25 Punkte)

Im Bereich einer Auskragung eines 200 mm breiten Brettschichtholzträgers sind ein rechteckiger Durchbruch und ein runder Durchbruch erforderlich. Es muss der Nachweis geführt werden, dass diese Durchbrüche mit Verstärkung zulässig sind.

$F_d = 200\ \mathrm{kN}$ KLED=kurz, NKL 1

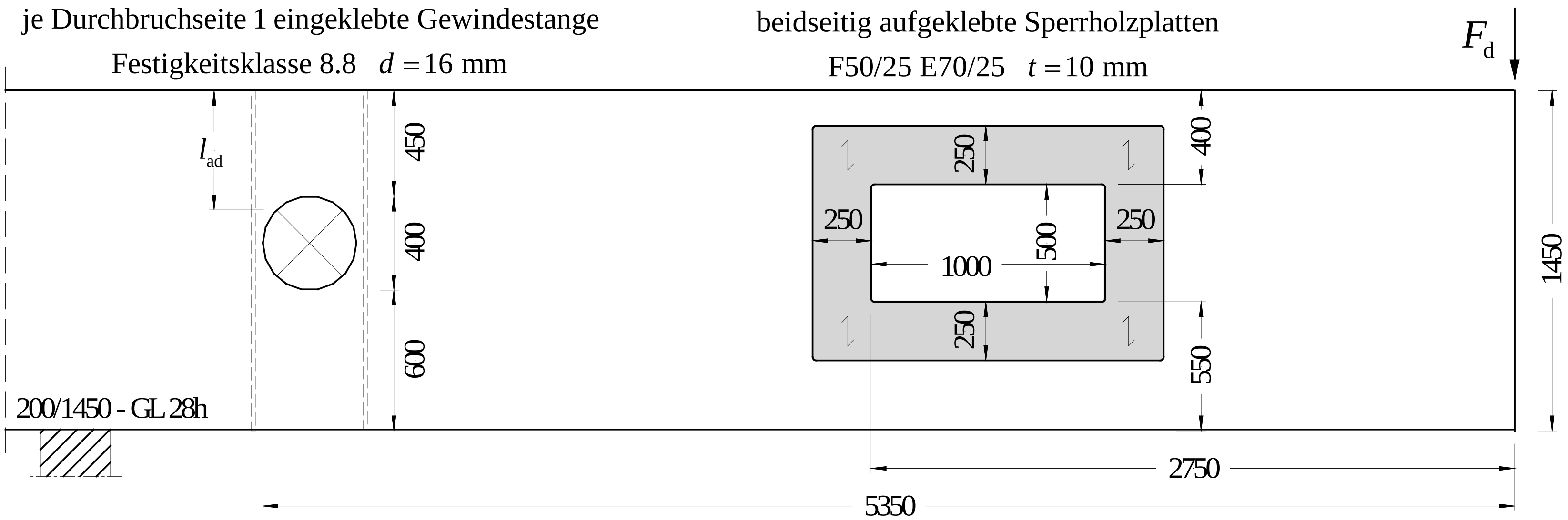
Wichtig: die Überprüfung von Lage und Größe der Durchbrüche sowie der Geometrie der Verstärkungen ist nicht erforderlich.

Führen Sie den Nachweis der Tragsicherheit im Bereich der Durchbrüche in folgenden Schritten:

a) Nachweis der innen liegenden Verstärkung für den kreisförmigen Durchbruch mit einem Durchmesser von 400 mm.

b) Nachweis der außen liegenden Verstärkung des rechteckigen Durchbruchs mit aufgeklebten Sperrholzplatten.

Maße in mm



Aufgabe 3 (25 Punkte)

Ein gekrümmter Träger aus GL24h mit konstantem Querschnitt soll bemessen werden.
Der Träger ist ausreichend gegen seitliches Ausweichen gehalten. Die Trägerenden sind gabelgelagert.

Charakteristische Werte der Belastung (Gleichstreckenlast):

$G_k = 9,4$ kN/m Eigengewicht

$Q_k = 7,5$ kN/m KLED = mittel

Führen Sie den Nachweis der Standsicherheit in folgenden Schritten:

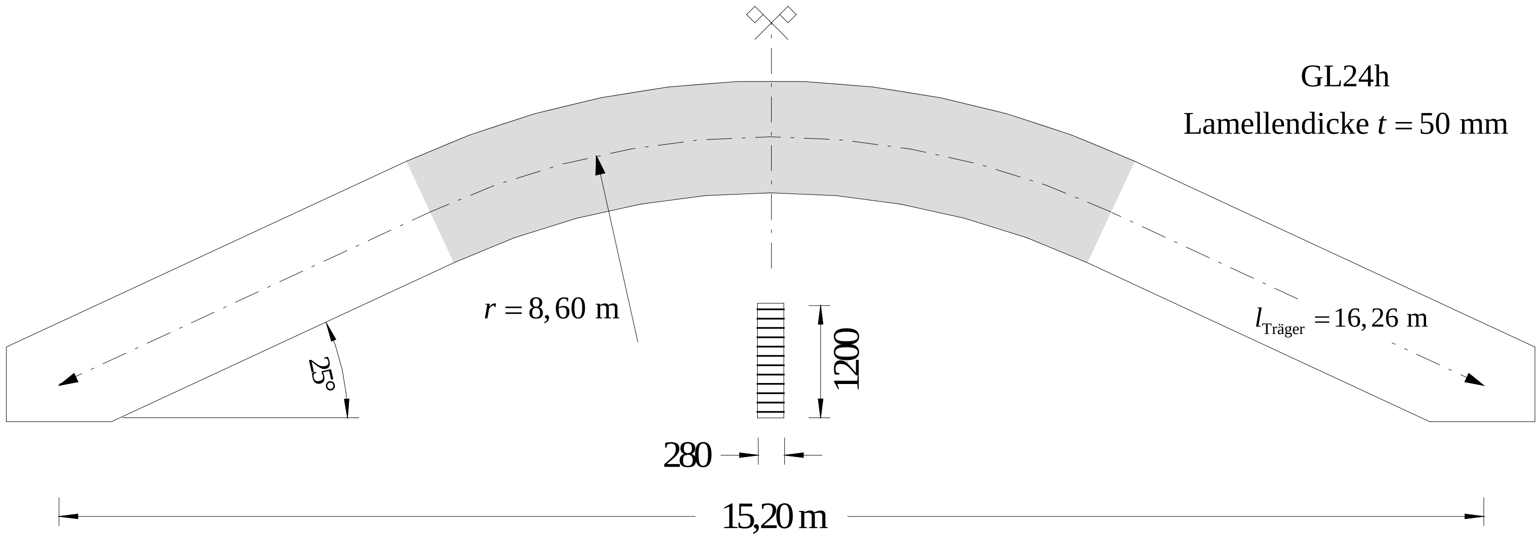
a) Berechnung des maximalen Momentes und Nachweis der Biegerandspannungen für den ungeschwächten Firstquerschnitt.

b) Berechnung der Querzugspannungen im Firstquerschnitt und Ermittlung, ob Querzugverstärkungen erforderlich sind.

c) Berechnung der elastischen Anfangsdurchbiegung aus ständiger Last.

Nutzungsbedingungen: KLED mittel und NKL 1.

Maße in m bzw. mm



Aufgabe 4 (15 Punkte)

Der nachfolgend dargestellte Satteldachträger mit gekrümmtem unteren Rand ist durch Gleichstreckenlasten wie folgt belastet (charakteristische Werte):

$G_k = 5{,}0$ kN/m ständige Last

$Q_k = 12{,}3$ kN/m veränderliche Last, KLED=kurz (aus Schneelasten unterhalb NN+1.000 m)

Führen Sie den Gebrauchstauglichkeitsnachweis in folgenden Schritten:

a) Berechnung der Anteile der Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung. Verformungsanteile aus Schub müssen berücksichtigt werden.

b) Durchbiegungsnachweise für die üblichen Grenzwerte der Durchbiegung. Der Träger wird mit einer Überhöhung von 50 mm hergestellt.

Nutzungsbedingungen: NKL 1, KLED=kurz.

Maße in m bzw. mm

Lösung der Prüfung Holzbau III vom 5. 7. 2011 (nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Aufgabe 1 $\sum 35$

1 $$f_{\mathrm{t,90,d}} = 0{,}9 \cdot \frac{0{,}45}{1{,}3} = 0{,}312 \text{ N/mm}^2$$

1 $$k_{\mathrm{t,90}} = \min\begin{Bmatrix} \sqrt{450/h} \\ 1 \end{Bmatrix} = \min\begin{Bmatrix} \sqrt{450/1.450} \\ 1 \end{Bmatrix} = 0{,}557$$

a) Überprüfung der geometrischen Bedingungen für beide Durchbrüche

6

geometrische Bedingung	rechteckiger Durchbruch	kreisförmiger Durchbruch
$l_{\mathrm{v}} \geq h$	$2.000 > 1.450$	
$l_{\mathrm{z}} \geq 1{,}5 \cdot h$ und $l_{\mathrm{z}} \geq 300$	$2.550 > (1{,}5 \cdot 1.45 = 2.175)$ und $2.550 > 300$	
$l_{\mathrm{A}} \geq 0{,}5 \cdot h$		$900 > (0{,}5 \cdot 1.450 = 725)$
$h_{\mathrm{ro}} \geq 0{,}35 \cdot h$	$560 > (0{,}35 \cdot 1.450 = 507{,}5)$	$550 > 507{,}5$
$h_{\mathrm{ru}} \geq 0{,}35 \cdot h$	$710 > 507{,}5$	$700 > 507{,}5$
$a \leq 0{,}4 \cdot h$	$500 < (0{,}4 \cdot 1.450 = 580)$	$200 < 580$
$h_{\mathrm{d}} \leq 0{,}15 \cdot h$	$180 < (0{,}15 \cdot 1450 = 217{,}5)$	$200 < 217{,}5$

b) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des rechteckigen Durchbruchs

1 $$V_{\mathrm{d}} = 100 \cdot 10^3 \qquad M_{\mathrm{d}} = V_{\mathrm{d}} \cdot 2.500 = 2{,}5 \cdot 10^8$$

1 $$h_{\mathrm{r}} = \min\{h_{\mathrm{ro}}; h_{\mathrm{ru}}\} = 560 \text{ mm}$$

2 $$F_{\mathrm{t,90,d}} = \frac{V_{\mathrm{d}} \cdot h_{\mathrm{d}}}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_{\mathrm{d}}^2}{h^2}\right) + 0{,}008 \cdot \frac{M_{\mathrm{d}}}{h_{\mathrm{r}}} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 180}{4 \cdot 1.450} \cdot \left(3 - \frac{180^2}{1.450^2}\right) + 0{,}008 \cdot \frac{2{,}5 \cdot 10^8}{560}$$

$$F_{\mathrm{t,90,d}} = 9.262{,}5 + 3.571{,}4 = 12.834 \text{ N}$$

1 $$l_{\mathrm{t,90}} = 0{,}5 \cdot (h_{\mathrm{d}} + h) = 0{,}5 \cdot (180 + 1.450) = 815 \text{ mm}$$

2 $$\frac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{0{,}5 \cdot l_{\mathrm{t,90}} \cdot b \cdot k_{\mathrm{t,90}} \cdot f_{\mathrm{t,90,d}}} = \frac{12.834}{0{,}5 \cdot 815 \cdot 200 \cdot 0{,}557 \cdot 0{,}312} = 0{,}91 < 1$$

c) Nachweis der Biegespannungen am rechteckigen Durchbruch mit
$\sigma_{\mathrm{m,d,o}} = 3{,}37 \text{ N/mm}^2$ $\quad \sigma_{\mathrm{m,d,u}} = 3{,}15 \text{ N/mm}^2$

2 $$V_{\mathrm{d,o}} = \frac{h_{\mathrm{ro}}}{h_{\mathrm{ro}} + h_{\mathrm{ru}}} \cdot V_{\mathrm{d}} = \frac{560}{560 + 710} \cdot 100.000 = 44.094 \text{ N}$$

1 $$\Delta M_{\mathrm{d,o}} = V_{\mathrm{do}} \cdot \frac{a}{2} = 44.094 \cdot \frac{500}{2} = 11{,}024 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

2 $$\Delta\sigma_{\mathrm{m,d,o}} = \frac{\Delta M_{\mathrm{do}}}{W_{\mathrm{o}}} = \frac{11{,}024 \cdot 10^6 \cdot 6}{200 \cdot 560^2} = 1{,}05 \text{ N/mm}^2$$

2 $$V_{\mathrm{d,u}} = \frac{h_{\mathrm{ru}}}{h_{\mathrm{ro}} + h_{\mathrm{ru}}} \cdot V_{\mathrm{d}} = \frac{710}{560 + 710} \cdot 100.000 = 55.906 \text{ N}$$

1 $$\Delta M_{\mathrm{d,u}} = V_{\mathrm{du}} \cdot \frac{a}{2} = 55.906 \cdot 0{,}5 \cdot 500 = 13{,}976 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

2 $$\Delta\sigma_{\mathrm{m,d,u}} = \frac{\Delta M_{\mathrm{du}}}{W_{\mathrm{u}}} = \frac{13{,}976 \cdot 10^6 \cdot 6}{200 \cdot 710^2} = 0{,}832 \text{ N/mm}^2$$

1 $$\max\sigma_{\mathrm{m,d}} = \sigma_{\mathrm{m,d,o}} + \Delta\sigma_{\mathrm{m,d,o}} = 3{,}37 + 1{,}05 = 4{,}42 \text{ N/mm}^2$$

1 $$f_{\mathrm{m,d}} = 0{,}9 \cdot \frac{28}{1{,}3} = 19{,}4\ \mathrm{N/mm^2}$$

1 $$\frac{\sigma_{\mathrm{m,d}}}{f_{\mathrm{m,d}}} = \frac{4{,}42}{19{,}4} = 0{,}23 < 1$$

d) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des kreisförmigen Durchbruchs

1 $$V_{\mathrm{d}} = 100{,}0 \cdot 10^3\ \mathrm{N} \qquad M_{\mathrm{d}} = V_{\mathrm{d}} \cdot 5.250 = 5{,}25 \cdot 10^8$$

1 $$h_{\mathrm{r}} = \min \begin{Bmatrix} h_{\mathrm{ro}} + 0{,}15 \cdot h_{\mathrm{d}} \\ h_{\mathrm{ru}} + 0{,}15 \cdot h_{\mathrm{d}} \end{Bmatrix} = 550 + 0{,}15 \cdot 200 = 580\ \mathrm{mm}$$

1 $$0{,}7 \cdot h_{\mathrm{d}} = 0{,}7 \cdot 200 = 140\ \mathrm{mm}$$

2 $$F_{\mathrm{t,90,d}} = \frac{V_{\mathrm{d}} \cdot h_{\mathrm{d}}}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_{\mathrm{d}}^2}{h^2}\right) + 0{,}008 \cdot \frac{M_{\mathrm{d}}}{h_{\mathrm{r}}} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 140}{4 \cdot 1.450} \cdot \left(3 - \frac{140^2}{1.450^2}\right) + 0{,}008 \cdot \frac{5{,}25 \cdot 10^8}{580}$$

$$F_{\mathrm{t,90,d}} = 7.218{,}9 + 7.241{,}4 = 14.460\ \mathrm{N}$$

1 $$l_{\mathrm{t,90}} = 0{,}353 \cdot h_{\mathrm{d}} + 0{,}5 \cdot h = 0{,}353 \cdot 200 + 0{,}5 \cdot 1.450 = 795{,}6\ \mathrm{mm}$$

1 $$\frac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{0{,}5 \cdot l_{\mathrm{t,90}} \cdot b \cdot k_{\mathrm{t,90}} \cdot f_{\mathrm{t,90,d}}} = \frac{14.460}{0{,}5 \cdot 795{,}6 \cdot 200 \cdot 0{,}557 \cdot 0{,}312} = 1{,}04 > 1$$

Aufgabe 2 $\sum 25$

a) Nachweis der innen liegenden Verstärkung für den kreisförmigen Durchbruch

1 $V_{\mathrm{d}} = 200 \cdot 10^3\ \mathrm{N}$ $\qquad M_{\mathrm{d}} = V_{\mathrm{d}} \cdot 5.350 = 10,7 \cdot 10^8$

2 $h_{\mathrm{r}} = \min \begin{Bmatrix} h_{\mathrm{ro}} + 0,15 \cdot h_{\mathrm{d}} \\ h_{\mathrm{ru}} + 0,15 \cdot h_{\mathrm{d}} \end{Bmatrix} = 450 + 0,15 \cdot 400 = 510\ \mathrm{mm}$

1 $0,7 \cdot h_{\mathrm{d}} = 0,7 \cdot 400 = 280\ \mathrm{mm}$

2 $F_{\mathrm{t,90,d}} = \frac{V_{\mathrm{d}} \cdot h_{\mathrm{d}}}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_{\mathrm{d}}^2}{h^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{M_{\mathrm{d}}}{h_{\mathrm{r}}} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 280}{4 \cdot 1.450} \cdot \left(3 - \frac{280^2}{1.450^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{10,7 \cdot 10^8}{510}$

$F_{\mathrm{t,90,d}} = 28.604,5 + 16.784,3 = 45.390\ \mathrm{N}$

2 $l_{\mathrm{ad}} = h_{\mathrm{ru}} + 0,15 \cdot h_{\mathrm{d}} = 450 + 0,15 \cdot 400 = 510\ \mathrm{mm}$

Die Zugtragfähigkeit Gewindestange

1 $N_{\mathrm{R.d}} = 80,4\ \mathrm{kN}$

Tragfähigkeit Klebfuge

3 $\max F_{\mathrm{t,90,d}} = 1,125 \cdot 43,1 = 48,5\ \mathrm{kN} \rightarrow$ maßgeblich

1 $\frac{45,39}{48,5} = 0,94 < 1$

b) Nachweis der Verstärkung des rechteckigen Durchbruchs mit aufgeklebten Sperrholzplatten

1 $V_{\mathrm{d}} = 200 \cdot 10^3\ \mathrm{N}$ $\qquad M_{\mathrm{d}} = V_{\mathrm{d}} \cdot 2.750 = 5,5 \cdot 10^8$

1 $h_{\mathrm{r}} = \min\{h_{\mathrm{ro}}; h_{\mathrm{ru}}\} = 400\ \mathrm{mm}$

2 $F_{\mathrm{t,90,d}} = \frac{V_{\mathrm{d}} \cdot h_{\mathrm{d}}}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_{\mathrm{d}}^2}{h^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{M_{\mathrm{d}}}{h_{\mathrm{r}}} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 500}{4 \cdot 1.450} \cdot \left(3 - \frac{500^2}{1.450^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{5,5 \cdot 10^8}{400}$

$F_{\mathrm{t,90,d}} = 49.674,0 + 11.000,0 = 60.674\ \mathrm{N}$

1 $f_{\mathrm{k2,d}} = k_{\mathrm{mod}} \cdot \frac{f_{\mathrm{k2,k}}}{\gamma_{\mathrm{M}}} = 0,9 \cdot \frac{0,75}{1,3} = 0,519\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $\tau_{\mathrm{ef,d}} = \frac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{2 \cdot a_r \cdot h_{\mathrm{ad}}} = \frac{60.674}{2 \cdot 250 \cdot 250} = 0,485\ \mathrm{N/mm^2}$ | 1 $\frac{\tau_{\mathrm{ef,d}}}{f_{\mathrm{k2,d}}} = \frac{0,485}{0,519} = 0,94 < 1$

Nachweis der Zugspannungen in den aufgeklebten Verstärkungsplatten

1 $f_{\mathrm{t,k}} = 1,125 \cdot 22,2 = 25,0\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $\sigma_{\mathrm{t,d}} = \frac{F_{\mathrm{t,90,d}}}{2 \cdot a_{\mathrm{r}} \cdot t_{\mathrm{r}}} = \frac{60.674}{2 \cdot 250 \cdot 10} = 12,14\ \mathrm{N/mm^2}$

1 $k_{\mathrm{k}} \cdot \frac{\sigma_{\mathrm{t,d}}}{f_{\mathrm{t,d}}} = 2,0 \cdot \frac{12,14}{25,0} = 0,97 < 1$

Aufgabe 3 $\sum 25$

2 $f_{\mathrm{m,d}} = 0,80 \cdot \dfrac{24}{1,3} = 14,8\ \mathrm{N/mm^2}$ $\qquad f_{\mathrm{t,90,d}} = 0,80 \cdot \dfrac{0,4}{1,3} = 0,246\ \mathrm{N/mm^2}$

a) Berechnung des maximalen Momentes und Nachweis der Biegerandspannungen für den ungeschwächten Firstquerschnitt

2 $q_{\mathrm{d}} = 1,35 \cdot q_{\mathrm{g,k}} + 1,5 \cdot q_{\mathrm{p,k}} = 1,35 \cdot 9,4 + 1,5 \cdot 7,5 = 23,94\ \mathrm{kN/m}$

2 $M = \dfrac{23,94 \cdot 15,2^2}{8} = 691,4\ \mathrm{kNm}$

2 $k_{\mathrm{ap}} = \dfrac{h_{\mathrm{ap}}}{r} = \dfrac{1.200}{8.600} = 0,140$

3 $$\sigma_{\mathrm{m,d}} = \left(1 + 0,35 \cdot k_{\mathrm{ap}} + 0,6 \cdot k_{\mathrm{ap}}^2\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{\mathrm{ap,d}}}{b \cdot h_{\mathrm{ap}}^2} = \underbrace{\left(1 + 0,35 \cdot 0,140 + 0,6 \cdot 0,140^2\right)}_{1,061} \cdot \underbrace{\frac{6 \cdot 691,4 \cdot 10^6}{280 \cdot 1.200^2}}_{10,29}$$

$\sigma_{\mathrm{m,d}} = 1,061 \cdot 10,29 = 10,91\ \mathrm{N/mm^2}$

2 $r_{\mathrm{in}} = r - \dfrac{h}{2} = 8.600 - 600 = 8.000\ \mathrm{mm}$

2 $\dfrac{r_{\mathrm{in}}}{t} = \dfrac{8.000}{50} = 160 < 240 \rightarrow k_{\mathrm{r}} = 0,76 + 0,001 \cdot r_{\mathrm{in}}/t = 0,76 + 0,001 \cdot 160 = 0,92$

2 $\dfrac{\sigma_{\mathrm{m,d}}}{k_{\mathrm{r}} \cdot f_{\mathrm{m,d}}} = \dfrac{10,91}{0,92 \cdot 14,8} = 0,80 < 1$

b) Berechnung der Querzugspannungen im Firstquerschnitt und Ermittlung, ob Querzugverstärkungen erforderlich sind

1 $\sigma_{\mathrm{t,90,d}} = 0,25 \cdot k_{\mathrm{ap}} \cdot \dfrac{6 \cdot M_{\mathrm{ap,d}}}{b \cdot h_{\mathrm{ap}}^2} = 0,25 \cdot 0,140 \cdot 10,29 = 0,360$

1 $$V = \frac{2 \cdot \beta}{360°} \cdot \pi \cdot \left[\left(r + \frac{h_{\mathrm{ap}}}{2}\right)^2 - \left(r - \frac{h_{\mathrm{ap}}}{2}\right)^2\right] \cdot b = \frac{2 \cdot 25°}{360°} \cdot \pi \cdot \left[9,20^2 - 8,0^2\right] \cdot 0,280 = 2,52\ \mathrm{m^3}$$

1 $\dfrac{\sigma_{\mathrm{t,90,d}}}{1,4 \cdot \left(0,01/V\right)^{0,2} \cdot f_{\mathrm{t,90,d}}} + \cancel{\dfrac{\tau_{\mathrm{d}}}{f_{\mathrm{v,d}}}} = \dfrac{0,360}{1,4 \cdot \left(0,01/2,52\right)^{0,2} \cdot 0,246} = 3,15 > 1$ Verstärkung erforderlich

1 $\dfrac{\sigma_{\mathrm{t,90,d}}}{1,15 \cdot \left(h_0/h_{\mathrm{ap}}\right)^{0,3} \cdot f_{\mathrm{t,90,d}}} + \underbrace{\left(\dfrac{\tau_{\mathrm{d}}}{f_{\mathrm{v,d}}}\right)^2}_{0} = \dfrac{0,360}{1,15 \cdot \left(600/1.200\right)^{0,3} \cdot 0,246} = 1,57 > 1$ Verstärkung zur vollständigen Aufnahme der Querzugspannungen erforderlich

c) elastische Anfangsdurchbiegung aus ständiger Last

2 $I = b \cdot h^3/12 = 280 \cdot 1.200^3/12 = 4,032 \cdot 10^{10}\ \mathrm{mm^4}$

2 $$w_{\mathrm{G,inst}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \cdot \frac{l_{\text{Träger}}}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{9,4 \cdot 15.200^4}{11.600 \cdot 4,032 \cdot 10^{10}} \cdot \underbrace{\frac{16,26}{15,20}}_{=1,070}$$

$w_{\mathrm{G,inst}} = 13,97 \cdot 1,070 = 14,9\ \mathrm{mm}$

Aufgabe 4 $\sum 15$

a) Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung

1
$$I_s = b \cdot h_s^3 / 12 = 200 \cdot 950^3 / 12 = 1{,}429 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$
$$A_s = b \cdot h_s = 200 \cdot 950 = 0{,}190 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

2
$$k_m = \frac{(h_s/h_l)^3}{0{,}15 + 0{,}85 \cdot (h_s/h_l)} = \frac{(950/1.704)^3}{0{,}15 + 0{,}85 \cdot (950/1.704)} = 0{,}278$$

2
$$k_v = \frac{2}{1 + (h_l/h_s)^{2/3}} = \frac{2}{1 + (1.704/950)^{2/3}} = 0{,}808$$

b) Durchbiegungsnachweise

1
$$M_{max} = G_k^2 \cdot \frac{l^2}{8} = 5{,}0 \cdot \frac{21{,}2^2}{8} = 280{,}9 \text{ kNm}$$

2
$$w_m = \frac{M_{max} \cdot l^2}{9{,}6 \cdot E_{0,mean} \cdot I_s} \cdot k_m = \frac{280{,}9 \cdot 10^6 \cdot 21.200^2}{9{,}6 \cdot 11.600 \cdot 1{,}429 \cdot 10^{10}} \cdot 0{,}278 = 22{,}0 \text{ mm}$$

2
$$w_v = \frac{1{,}2 \cdot M_{max}}{G_{mean} \cdot A_s} \cdot k_v = \frac{1{,}2 \cdot 280{,}9 \cdot 10^6}{720 \cdot 0{,}190 \cdot 10^6} \cdot 0{,}808 = 2{,}0 \text{ mm}$$

1
$$w_{inst,G} = 22{,}0 + 2{,}0 = 24 \text{ mm}$$

1
$$w_{inst,Q,1} = \frac{12{,}3}{5{,}0} \cdot 24 = 59 \text{ mm}$$

1
$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} = 24 + 59 = 83 < \frac{21.200}{200} = 106 \text{ mm}$$

1
$$w_{fin} = w_{inst} + \left(w_{inst,G} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i} \right) \cdot k_{def} = 83 + (24 + 59 \cdot 0) \cdot 0{,}6 = 97{,}4 < \frac{21.200}{150} = 141{,}3 \text{ mm}$$

1
$$w_{net,fin} = \left(w_{inst,G} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i} \right) \cdot (1 + k_{def}) - w_c$$
$$w_{net,fin} = (24 + 59 \cdot 0) \cdot (1 + 0{,}6) - 50 = -12 \text{ mm} < \frac{21.200}{250} = 84{,}8 \text{ mm}$$