

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

Name, Vorname: _____ Matr.-Nr.: _____

Aufgabe	1	2	3	4	5	Summe
Punkte						/100

Aufgabe 1 (25 Punkte)

In einem 220 mm breiten Brettschichtholzträger auf zwei Stützen sind ein rechteckiger Durchbruch und ein runder Durchbruch erforderlich.

Es muss der Nachweis geführt werden, dass diese Durchbrüche ohne Verstärkung zulässig sind.

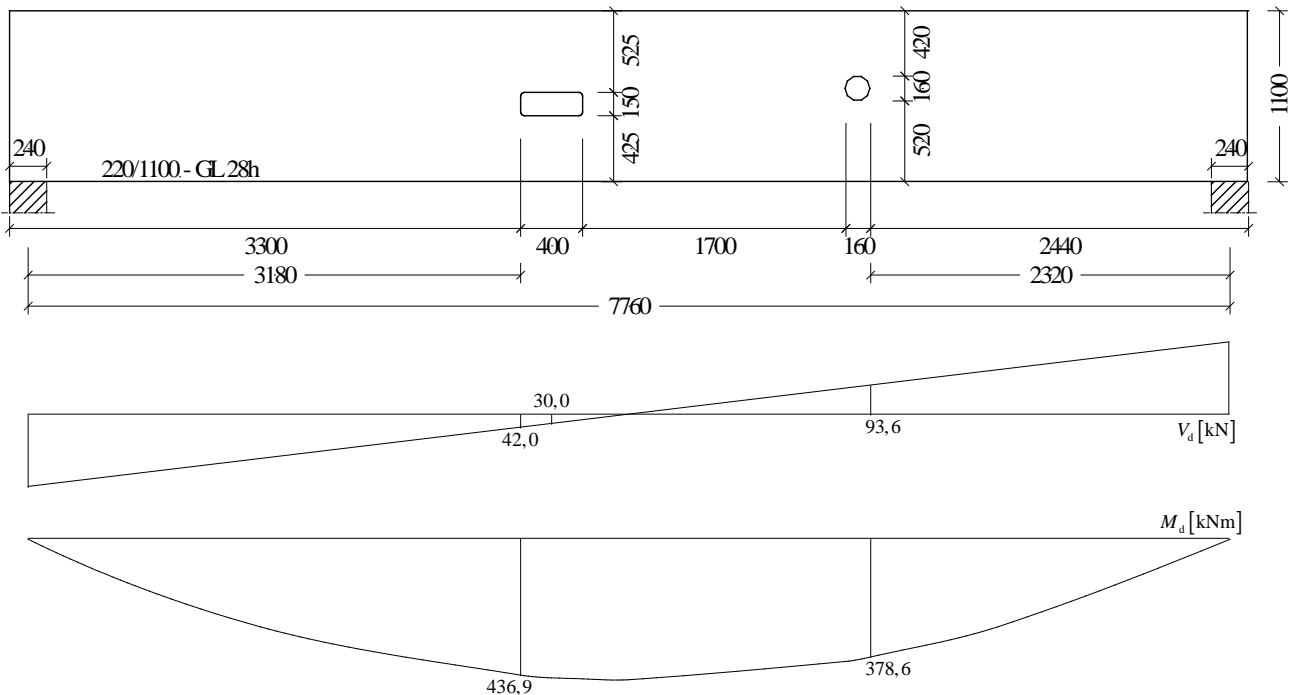
Die nach unten wirkende Gleichstreckenlast beträgt $q_d = 60 \text{ kN/m}$ KLED=kurz, NKL 1

Der Verlauf von Querkraft und Moment ist gegeben.

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

- Überprüfung der geometrischen Bedingungen für beide Durchbrüche.
- Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des rechteckigen Durchbruchs.
- Tragfähigkeitsnachweis der Biegespannungen am rechteckigen Durchbruch mit
 - Querkraft in der Mitte des Durchbruchs $V_d = 30,0 \text{ kN}$ und
 - Biegerandspannungen in der Mitte des Durchbruchs $\sigma_{m,d,o} = 9,81 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{m,d,u} = 10,50 \text{ N/mm}^2$.
- Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am rechten Rand des kreisförmigen Durchbruchs.

Maße in mm



Aufgabe 2 (20 Punkte)

In einem 220 mm breiten Brettschichtholzträger auf zwei Stützen sind ein rechteckiger Durchbruch und ein runder Durchbruch erforderlich.

Es muss der Nachweis geführt werden, dass diese Durchbrüche mit Verstärkung zulässig sind.

Die nach unten wirkende Gleichstreckenlast beträgt $q_d = 120 \text{ kN/m}$ KLED=kurz, NKL 1

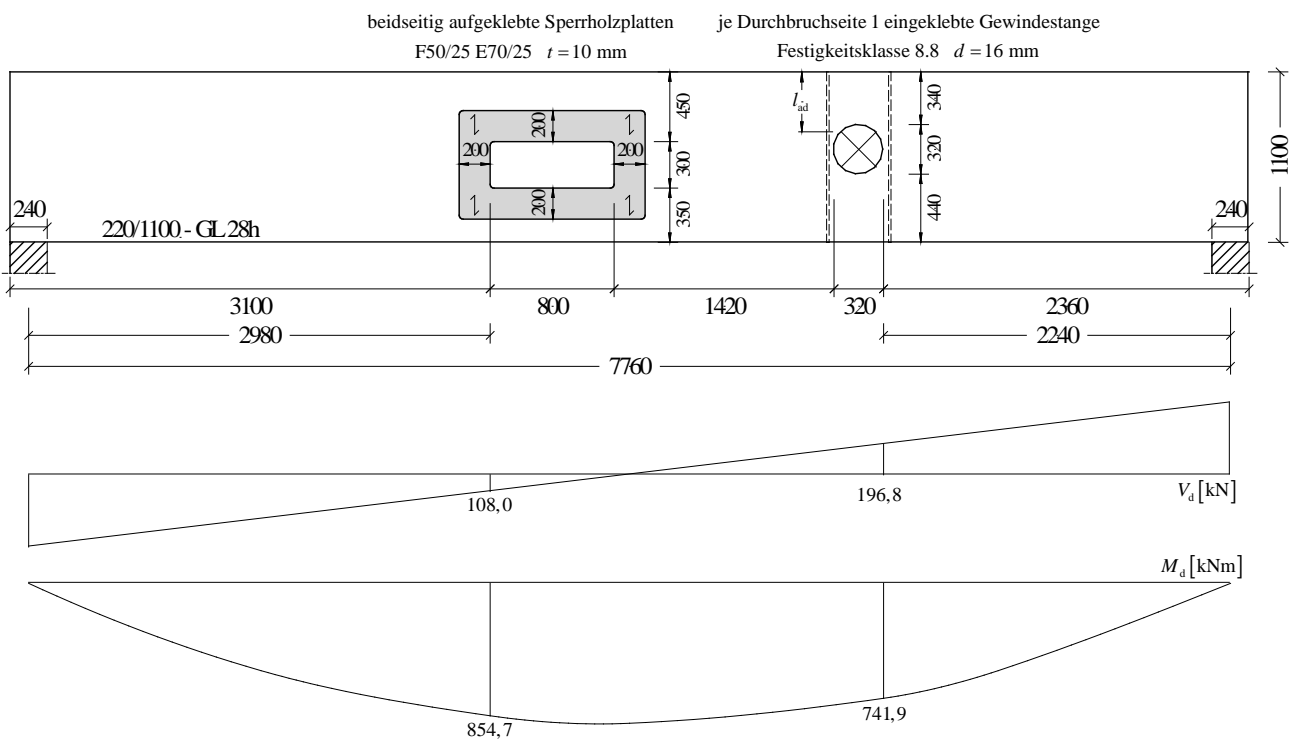
Der Verlauf von Querkraft und Moment ist gegeben.

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:

- Nachweis der innen liegenden Verstärkung für den kreisförmigen Durchbruch. Maßgeblich ist der Querzug am rechten Rand.
- Nachweis der außen liegenden Verstärkung des rechteckigen Durchbruchs mit aufgeklebten Sperrholzplatten. Maßgeblich ist der Querzug am linken Rand.

Maße in mm



Aufgabe 3 (25 Punkte)

An einen einteiligen horizontalen Träger ist ein zweiteiliger geneigter Zugstab durch Dübel C1 und Bolzen angeschlossen. Der Bemessungswert der Zugkraft beträgt:

$$F_d = 485 \text{ kN} .$$

Führen Sie den Nachweis der Tragfähigkeit in folgenden Schritten:

- Überprüfen Sie die Anordnung der Dübel im geneigten Zugstab.
- Überprüfen Sie die Anordnung der Dübel im horizontalen Träger.
- Ermitteln Sie die Tragfähigkeit $F_{v,0,Rd}$ und $F_{v,\alpha,Rd}$ je Verbindungseinheit und Scherfuge.
Die Tragfähigkeit der Bolzen je Scherfuge beträgt:

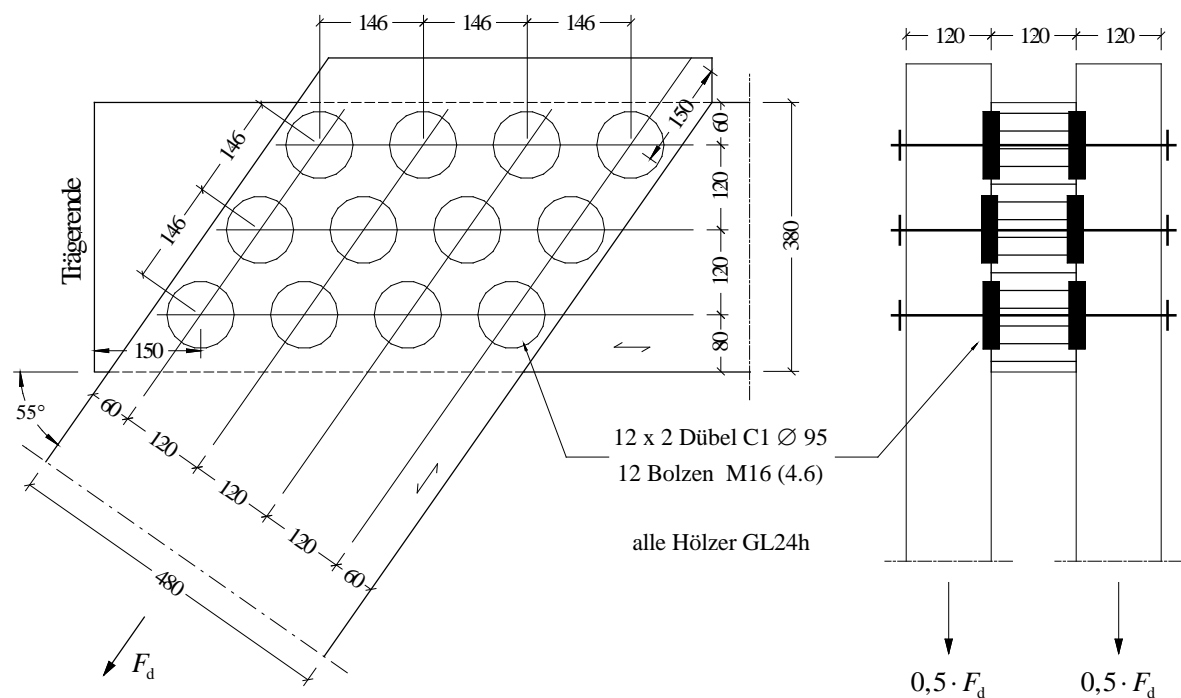
$$F_{v,0,Rd,B} = 10,3 \text{ kN}$$

$$F_{v,\alpha,Rd,B} = 9,42 \text{ kN} .$$

- Führen sie den Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im geneigten Zugstab.
- Führen sie den Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im horizontalen Träger.
- Berechnen Sie die Nettoquerschnittsfläche A_n für den Nachweis der Zugtragfähigkeit des zweiteiligen geneigten Zugstabes.

Hinweis: im maßgeblichen Querschnitt muss nur die Schwächung durch eine Verbindungseinheit berücksichtigt werden.

Nutzungsbedingungen: KLED mittel und NKL 1 ($k_{mod} = 0,80$).



Aufgabe 4 (20 Punkte)

Ein gekrümmter Träger aus GL36h mit konstantem Querschnitt soll bemessen werden.

Der Träger ist ausreichend gegen seitliches Ausweichen gehalten. Die Trägerenden sind gabelgelagert.

Charakteristische Werte der Belastung (Gleichstreckenlast):

$G_k = 3,1 \text{ kN/m}$ Eigengewicht

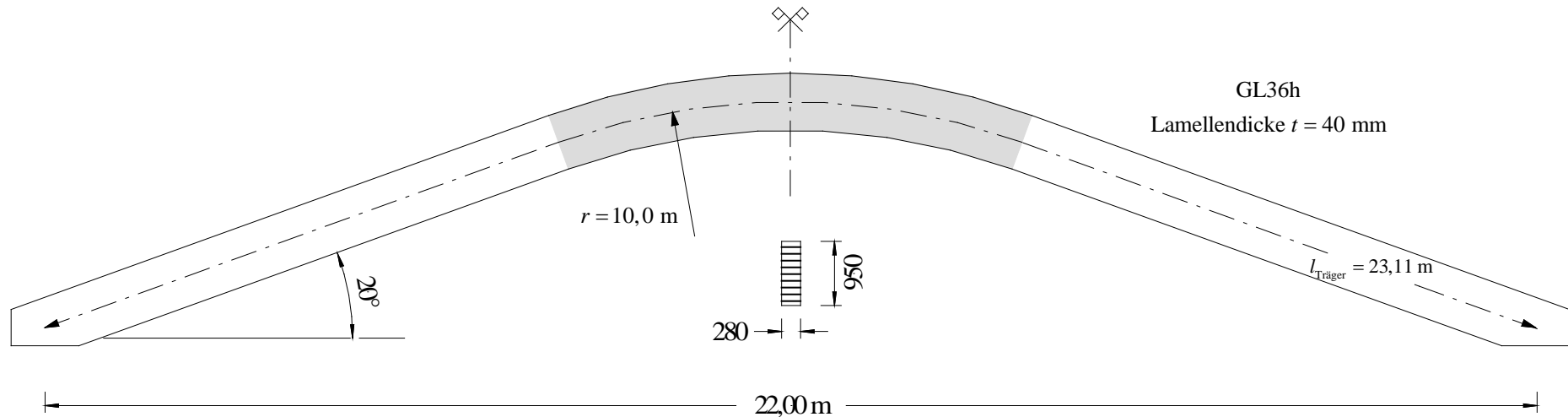
$Q_k = 6,8 \text{ kN/m}$ KLED = mittel

Führen Sie den Nachweis der Standsicherheit in folgenden Schritten:

- Berechnung des maximalen Momentes und Nachweis der Biegerandspannungen für den ungeschwächten Firstquerschnitt.
- Berechnung der Querzugspannungen im Firstquerschnitt und Ermittlung, ob Querzugverstärkungen erforderlich sind.
- Berechnung der elastischen Anfangsdurchbiegung aus ständiger Last.

Nutzungsbedingungen: KLED mittel und NKL 1.

Maße in m bzw. mm



Aufgabe 5 (10 Punkte)

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

$G_k = 22,0 \text{ kN/m}$ ständige Last

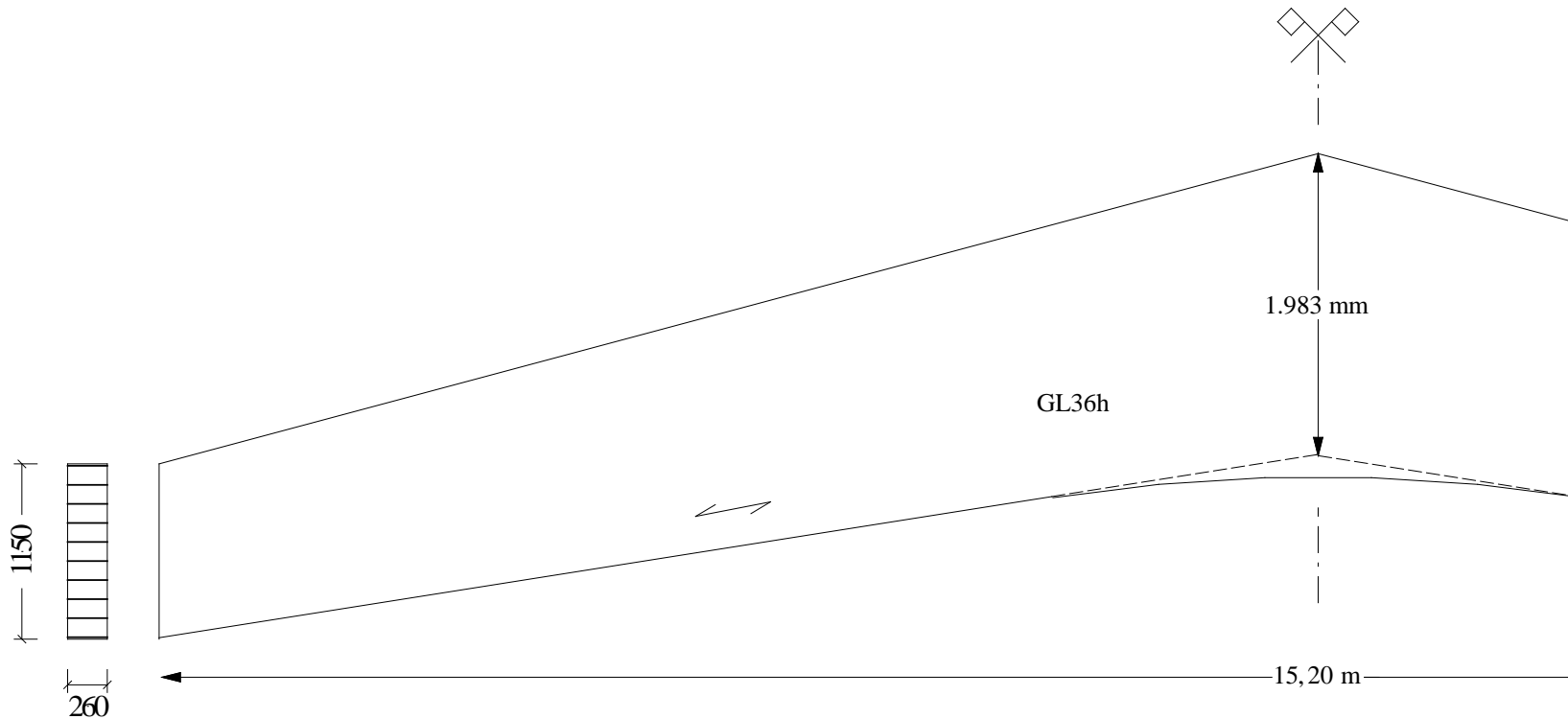
$Q_k = 34,0 \text{ kN/m}$ veränderliche Last, KLED=kurz (aus Schneelasten unterhalb NN+1.000 m)

Führen Sie den Gebrauchstauglichkeitsnachweis in folgenden Schritten:

- Berechnung der Anteile der Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung. Verformungsanteile aus Schub müssen berücksichtigt werden.
- Durchbiegungsnachweise für die üblichen Grenzwerte der Durchbiegung. Der Träger wird ohne Überhöhung hergestellt.

Nutzungsbedingungen: NKL 1, KLED=kurz.

Maße in m bzw. mm



Aufgabe 1 $\sum 25$

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

1 $k_{t,90} = \min \left\{ \frac{\sqrt{450/h}}{1} \right\} = \min \left\{ \frac{\sqrt{450/1.100}}{1} \right\} = 0,640$

a) Überprüfung der geometrischen Bedingungen für beide Durchbrüche

geometrische Bedingung	rechteckiger Durchbruch	kreisförmiger Durchbruch
$l_v \geq h$	$3.300 > 1.100$	$2.440 > 1.100$
$l_z \geq 1,5 \cdot h$ und $l_z \geq 300$	$1.700 > (1,5 \cdot 1.100 = 1.650)$ und $1.700 > 300$	
$l_A \geq 0,5 \cdot h$	$3.180 > (0,5 \cdot 1.100 = 550)$	$2.320 > (0,5 \cdot 1.100 = 550)$
$h_{ro} \geq 0,35 \cdot h$	$525 > (0,35 \cdot 1.100 = 385)$	$420 > 385$
$h_{ru} \geq 0,35 \cdot h$	$425 > 385$	$520 > 385$
$a \leq 0,4 \cdot h$	$400 < (0,4 \cdot 1.100 = 440)$	$160 < 440$
$h_d \leq 0,15 \cdot h$	$150 < (0,15 \cdot 1.100 = 165)$	$160 < 165$

b) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des rechteckigen Durchbruchs

1 $V_d = 42 \text{ kN}$ $M_d = 436,9 \text{ kNm}$

1 $h_r = \min \{ h_{ro}; h_{ru} \} = 425 \text{ mm}$

1 $F_{t,90,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} = \frac{42 \cdot 10^3 \cdot 150}{4 \cdot 1.100} \cdot \left(3 - \frac{150^2}{1.100^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{436,9 \cdot 10^6}{425}$

$F_{t,90,d} = 4.268,8 + 8.224,0 = 12.493 \text{ N}$

1 $l_{t,90} = 0,5 \cdot (h_d + h) = 0,5 \cdot (150 + 1.100) = 625 \text{ mm}$

1 $\frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{12.493}{0,5 \cdot 625 \cdot 220 \cdot 0,640 \cdot 0,312} = 0,91 < 1$

c) Nachweis der Biegespannungen am rechteckigen Durchbruch mit

$\sigma_{m,d,o} = 9,81 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{m,d,u} = 10,50 \text{ N/mm}^2$

1 $V_{d,o} = \frac{h_{ro}}{h_{ro} + h_{ru}} \cdot V_d = \frac{525}{525 + 425} \cdot 30.000 = 16.580 \text{ N}$

1 $\Delta M_{d,o} = V_{d,o} \cdot \frac{a}{2} = 16.580 \cdot (400/2) = 3,316 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

1 $\Delta \sigma_{m,d,o} = \frac{\Delta M_{d,o}}{W_o} = \frac{3,316 \cdot 10^6 \cdot 6}{220 \cdot 525^2} = 0,328 \text{ N/mm}^2$

1 $V_{d,u} = \frac{h_{ru}}{h_{ro} + h_{ru}} \cdot V_d = \frac{425}{525 + 425} \cdot 30.000 = 13.420 \text{ N}$

1 $\Delta M_{d,u} = V_{d,u} \cdot \frac{a}{2} = 13.420 \cdot (400/2) = 2,684 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

1 $\Delta \sigma_{m,d,u} = \frac{\Delta M_{d,u}}{W_u} = \frac{2,684 \cdot 10^6 \cdot 6}{220 \cdot 425^2} = 0,405 \text{ N/mm}^2$

$$1 \quad \max \sigma_{m,d} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{m,d,o} + \Delta \sigma_{m,d,o} \\ \sigma_{m,d,u} + \Delta \sigma_{m,d,u} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 9,81 + 0,328 \\ 10,5 + 0,405 \end{array} \right\} = 10,9 \text{ N/mm}^2$$

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

$$1 \quad \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{10,9}{19,4} = 0,56 < 1$$

d) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am rechten Rand des kreisförmigen Durchbruchs

$$1 \quad V_d = 93,6 \text{ kN} \qquad M_d = 378,6 \text{ kNm}$$

$$1 \quad h_r = \min \left\{ \begin{array}{l} h_{ro} + 0,15 \cdot h_d \\ h_{ru} + 0,15 \cdot h_d \end{array} \right\} = 420 + 0,15 \cdot 160 = 444 \text{ mm}$$

$$1 \quad 0,7 \cdot h_d = 0,7 \cdot 160 = 112 \text{ mm}$$

$$1 \quad F_{t,90,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} = \frac{93,6 \cdot 10^3 \cdot 112}{4 \cdot 1.100} \cdot \left(3 - \frac{112^2}{1.100^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{378,6 \cdot 10^6}{444}$$

$$F_{t,90,d} = 7.122,9 + 6.821,6 = 13.945 \text{ N}$$

$$1 \quad l_{t,90} = 0,353 \cdot h_d + 0,5 \cdot h = 0,353 \cdot 160 + 0,5 \cdot 1.100 = 606,48 \text{ mm}$$

$$1 \quad \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{13.945}{0,5 \cdot 606,48 \cdot 220 \cdot 0,640 \cdot 0,312} = 1,04 > 1$$

Aufgabe 2 $\sum 20$

a) Nachweis der innen liegenden Verstärkung für den kreisförmigen Durchbruch

$$1 \quad V_d = 196,8 \text{ kN} \qquad M_d = 741,9 \text{ kNm}$$

$$1 \quad h_r = \min \left\{ \begin{array}{l} h_{ro} + 0,15 \cdot h_d \\ h_{ru} + 0,15 \cdot h_d \end{array} \right\} = 340 + 0,15 \cdot 320 = 388 \text{ mm}$$

$$1 \quad 0,7 \cdot h_d = 0,7 \cdot 320 = 224 \text{ mm}$$

$$2 \quad F_{t,90,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} = \frac{196,8 \cdot 10^3 \cdot 224}{4 \cdot 1.100} \cdot \left(3 - \frac{224^2}{1.100^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{741,9 \cdot 10^6}{388}$$

$$F_{t,90,d} = 29.641 + 15.297 = 44.938 \text{ N} = 44,9 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit Gewindestange

$$1 \quad N_{R,d} = 80,4 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit Klebfuge

$$1 \quad l_{ad} = h_{ro} + 0,15 \cdot h_d = 340 + 0,15 \cdot 320 = 388 \text{ mm}$$

$$2 \quad \max F_{t,90,d} = 1,125 \cdot 39,65 = 44,6 \text{ kN} \rightarrow \text{maßgeblich}$$

$$1 \quad \frac{44,9}{44,6} = 1,007 \approx 1$$

b) Nachweis der Verstärkung des rechteckigen Durchbruchs mit aufgeklebten Sperrholzplatten

$$1 \quad V_d = 108,0 \text{ kN} \qquad M_d = 854,7 \text{ kNm}$$

$$1 \quad h_r = \min \{ h_{ro}; h_{ru} \} = 350 \text{ mm}$$

$$2 \quad F_{t,90,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} = \frac{108,0 \cdot 10^3 \cdot 300}{4 \cdot 1.100} \cdot \left(3 - \frac{300^2}{1.100^2} \right) + 0,008 \cdot \frac{854,7 \cdot 10^6}{350}$$

$$F_{t,90,d} = 29.641 + 19.536 = 41.079 \text{ N}$$

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

$$1 \quad \tau_{\text{ef},d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot a_r \cdot h_{ad}} = \frac{41.079}{2 \cdot 200 \cdot 200} = 0,513 \text{ N/mm}^2 \quad \left| \quad 1 \quad \frac{\tau_{\text{ef},d}}{f_{k2,d}} = \frac{0,513}{0,519} = 0,99 < 1$$

Nachweis der Zugspannungen in den aufgeklebten Verstärkungsplatten

$$1 \quad f_{t,d} = 1,125 \cdot 22,2 = 25,0 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad \sigma_{t,d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot a_r \cdot t_r} = \frac{41.079}{2 \cdot 200 \cdot 10} = 10,27 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad k_k \cdot \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} = 2,0 \cdot \frac{10,27}{25,0} = 0,82 < 1$$

Aufgabe 3 $\sum 25$

a) Überprüfung der Anordnung im geneigten Zugstab

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	mindestens [mm] bei $d_c = 95$ mm	vorhanden [mm]
a_1	$(1,2 + 0,3 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c = 1,5 \cdot d_c$	142,5	146
a_2	$1,2 \cdot d_c$	114	120
$a_{3,t}$	$1,5 \cdot d_c$	142,5	150
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	57	60

b) Überprüfung der Anordnung im horizontalen Träger

	Vorschrift bei $\alpha = 55^\circ$	mindestens [mm] bei $d_c = 95$ mm	vorhanden [mm]
a_1	$(1,2 + 0,3 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$	130,3	146
a_2	$1,2 \cdot d_c$	114	120
$a_{3,t}$	$1,5 \cdot d_c$	142,5	150
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	72,6	80
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	57	60

c) Ermittlung der Tragfähigkeit $F_{v,0,Rd}$ und $F_{v,\alpha,Rd}$ je Verbindungseinheit und Scherfuge

1 $t_1 = 120 \text{ mm} > 34 \text{ mm}$

1 $t_2 = 120 \text{ mm} > 57 \text{ mm}$

1 $a_{3,t} = 150 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm}$

1 $F_{v,Rd,D} = 11,1 \text{ kN}$

1 $F_{v,0,Rd} = F_{v,Rd,D} + F_{v,0,Rd,B} = 11,1 + 10,3 = 21,4 \text{ kN}$

1 $F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,Rd,D} + F_{v,\alpha,Rd,B} = 11,1 + 9,42 = 20,5 \text{ kN}$

d) Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im geneigten Zugstab

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM in Lastrichtung

1 $F_{v,Ed} = \frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} = \frac{485.000}{3 \cdot 4 \cdot 2} = 20.208 \text{ N} = 20,2 \text{ kN}$

1 $\alpha = 0^\circ \rightarrow F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,0,Rd} = 21,4 \text{ kN}$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} = \frac{20,2}{21,4} = 0,94 < 1 \quad (\text{Nachweis nicht maßgeblich})$$

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM für die Kraftkomponente in Faserrichtung

1 $n = 3 \rightarrow (n_{ef}/n) = 0,950$

1 $\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} = \frac{20,2 \cdot \cos 0^\circ}{0,950 \cdot 21,4} = 0,99 < 1$

e) Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im horizontalen Träger

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM in Lastrichtung

1 $\alpha = 55^\circ$

2 $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} = \frac{20,2}{20,5} = 0,99 < 1$

$$1 \quad n = 4 \rightarrow (n_{\text{ef}}/n) = 0,900$$

$$2 \quad \frac{F_{\text{v,Ed}} \cdot \cos \alpha}{(n_{\text{ef}}/n) \cdot F_{\text{v,0,Rd}}} = \frac{20,2 \cdot \cos 55^\circ}{0,900 \cdot 21,4} = 0,60 < 1$$

f) Nettoquerschnittsfläche A_n des zweiteiligen geneigten Zugstabes

$$1 \quad h_e = 11,3 \text{ mm}$$

$$2 \quad A_n = 2 \cdot \left[120 \cdot 480 - 1 \cdot \left(120 - \underbrace{11,3}_{h_e} \right) \cdot \underbrace{(16+1)}_{\substack{\text{Bolzen-}\varnothing \\ + 1 \text{ mm}}} - 1 \cdot \underbrace{670}_{\Delta A} \right] = 110.164 \text{ mm}^2$$

Aufgabe 4 $\sum 20$

$$2 \quad f_{m,d} = 0,80 \cdot \frac{36}{1,3} = 22,2 \text{ N/mm}^2 \quad f_{t,90,d} = 0,80 \cdot \frac{0,6}{1,3} = 0,369 \text{ N/mm}^2$$

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

$$1 \quad q_d = 1,35 \cdot q_{g,k} + 1,5 \cdot q_{p,k} = 1,35 \cdot 3,1 + 1,5 \cdot 6,8 = 14,385 \text{ kN/m}$$

$$2 \quad M = \frac{14,385 \cdot 22,0^2}{8} = 870,3 \text{ kNm}$$

$$2 \quad k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r} = \frac{950}{10.000} = 0,095$$

$$2 \quad \sigma_{m,d} = \left(1 + 0,35 \cdot k_{ap} + 0,6 \cdot k_{ap}^2\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = \underbrace{\left(1 + 0,35 \cdot 0,095 + 0,6 \cdot 0,095^2\right)}_{1,039} \cdot \underbrace{\frac{6 \cdot 870,3 \cdot 10^6}{280 \cdot 950^2}}_{20,66}$$

$$\sigma_{m,d} = 1,039 \cdot 20,66 = 21,46 \text{ N/mm}^2$$

$$2 \quad r_{in} = r - \frac{h}{2} = 10.000 - \frac{950}{2} = 9.525 \text{ mm}$$

$$2 \quad \frac{r_{in}}{t} = \frac{9.525}{40} = 238 < 240 \rightarrow k_r = 0,76 + 0,001 \cdot r_{in}/t = 0,76 + 0,001 \cdot 238 = 0,998$$

$$1 \quad \frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \frac{21,46}{0,998 \cdot 22,2} = 0,97 < 1$$

b) Berechnung der Querspannungen im Firstquerschnitt und Ermittlung, ob Querspannungsverstärkungen erforderlich sind

$$1 \quad \sigma_{t,90,d} = 0,25 \cdot k_{ap} \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,25 \cdot 0,095 \cdot 20,66 = 0,491 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad V = \frac{2 \cdot \beta}{360^\circ} \cdot \pi \cdot \left[\left(r + \frac{h_{ap}}{2} \right)^2 - \left(r - \frac{h_{ap}}{2} \right)^2 \right] \cdot b = \frac{2 \cdot 20^\circ}{360^\circ} \cdot \pi \cdot [10.475^2 - 9.525^2] \cdot 0,280 = 1,857 \text{ m}^3$$

$$1 \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{1,4 \cdot (0,01/V)^{0,2} \cdot f_{t,90,d}} + \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,491}{1,4 \cdot (0,01/1,857)^{0,2} \cdot 0,369} = 2,70 > 1 \quad \text{Verstärkung erforderlich}$$

$$1 \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{1,15 \cdot (h_0/h_{ap})^{0,3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 = \frac{0,491}{1,15 \cdot (600/950)^{0,3} \cdot 0,369} = 1,33 > 1$$

Verstärkung zur vollständigen Aufnahme der Querspannungen erforderlich

c) elastische Anfangsdurchbiegung aus ständiger Last

$$1 \quad I = b \cdot h^3 / 12 = 280 \cdot 950^3 / 12 = 2,001 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$1 \quad w_{G,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \cdot l_{Träger} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,1 \cdot 22.000^4}{14.700 \cdot 2,001 \cdot 10^{10}} \cdot \frac{23,11}{22,00} = 32,15 \cdot 1,050 = 33,8 \text{ mm}$$

$$w_{G,inst} = 32,15 \cdot 1,050 = 33,8 \text{ mm}$$

Aufgabe 5 $\sum 10$

a) Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung

$$1 \quad I_s = b \cdot h_s^3 / 12 = 260 \cdot 1.150^3 / 12 = 3,295 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$A_s = b \cdot h_s = 260 \cdot 1.150 = 0,299 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$1 \quad k_m = \frac{(h_s/h_1)^3}{0,15 + 0,85 \cdot (h_s/h_1)} = \frac{(1.150/1.983)^3}{0,15 + 0,85 \cdot (1.150/1.983)} = 0,303$$

$$1 \quad k_v = \frac{2}{1 + (h_1/h_s)^{2/3}} = \frac{2}{1 + (1.983/1.150)^{2/3}} = 0,820$$

b) Durchbiegungsnachweise

$$1 \quad M_{\max} = G_k^2 \cdot \frac{l^2}{8} = 22,0 \cdot \frac{15,2^2}{8} = 635,4 \text{ kNm}$$

$$1 \quad w_m = \frac{M_{\max} \cdot l^2}{9,6 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I_s} \cdot k_m = \frac{635,4 \cdot 10^6 \cdot 15.200^2}{9,6 \cdot 14.700 \cdot 3,295 \cdot 10^{10}} \cdot 0,303 = 9,57 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_v = \frac{1,2 \cdot M_{\max}}{G_{\text{mean}} \cdot A_s} \cdot k_v = \frac{1,2 \cdot 635,4 \cdot 10^6}{910 \cdot 0,299 \cdot 10^6} \cdot 0,820 = 2,30 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst,G}} = 9,57 + 2,30 = 11,9 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{inst,Q,1}} = \frac{34,0}{22,0} \cdot 11,9 = 18,4 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q,1}} = 11,9 + 18,4 = 30,3 < \frac{15.200}{200} = 76 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot k_{\text{def}} = 30,3 + (11,9 + 18,4 \cdot 0) \cdot 0,6 = 37,4 < \frac{15.200}{150} = 101,3 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{net,fin}} = \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c$$

$$w_{\text{net,fin}} = (11,9 + 18,4 \cdot 0) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 19 \text{ mm} < \frac{15.200}{250} = 60,8 \text{ mm}$$

Prüfung Holzbau III vom 18. 6. 2014 (Nachweise 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)

Die nachfolgende Zeichnung stellt einen Gelenkträger mit 4 Feldern dar. Die charakteristischen Werte der Belastung sind gegeben:

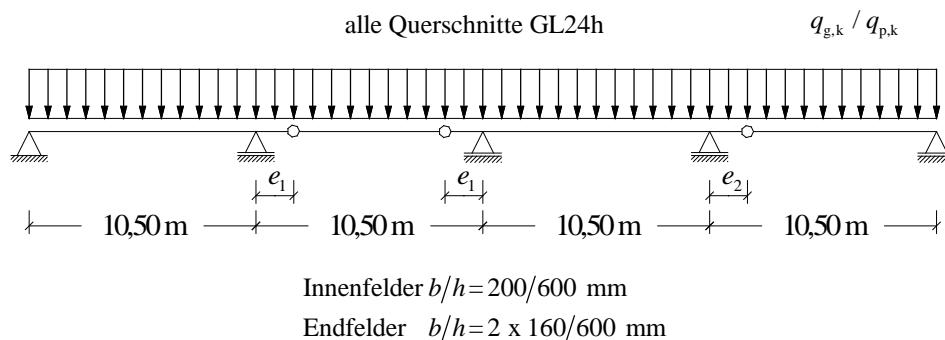
$q_{g,k} = 4,6 \text{ kN/m}$ ständige Last

$q_{p,k} = 15,1 \text{ kN/m}$ veränderliche Last, KLED=kurz

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

- Ermittlung des Bemessungswertes der Belastung.
- Legen Sie die Gelenkabstände e_1 und e_2 so fest, dass die Stütz- und Feldmomente aller Innenfelder den gleichen Wert haben.
- Führen Sie den Nachweis der Tragfähigkeit (Biegung) nur für die Innenfelder für die unter b) ermittelten Gelenkabstände.
- Ermittlung des Bemessungswertes der Gelenkkraft im linken Innenfeld für den unter b) ermittelten Gelenkabstand e_1 .
- Ermittlung der Anfangsdurchbiegung der Endfelder aus der veränderlichen Last $q_{p,k}$.

Nutzungsklasse: NKL 1



Aufgabe 2 (30 Punkte)

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

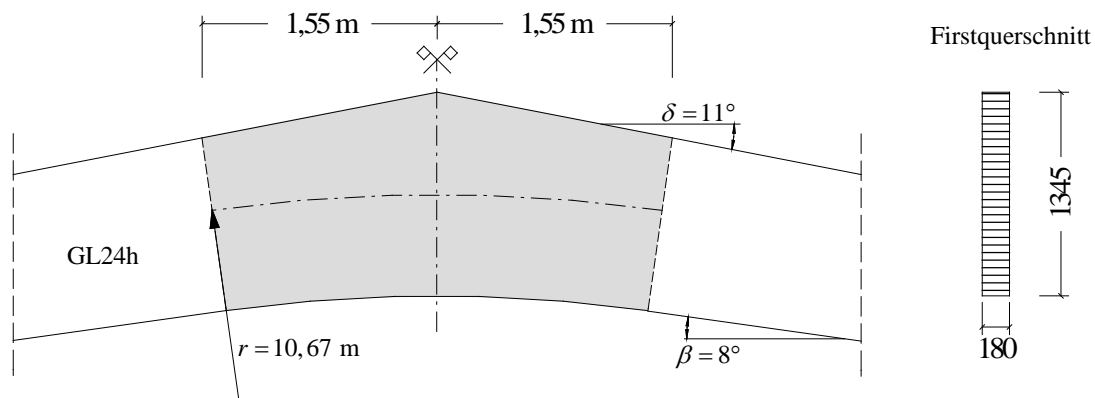
Folgende Werte sind gegeben:

$M_{ap,d} = 740 \text{ kNm}$ 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

- Ermittlung des Bemessungswertes der Querzugspannung im Firstbereich und Nachweis, welche Verstärkung erforderlich ist (vollständige Aufnahme oder Aufnahme klimabedingter Spannungen)
- Ermittlung des Bemessungswertes der maximalen Tragfähigkeit von Klebfuge und Gewindestange
- Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Maximalabstands der Gewindestangen in den beiden inneren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches
- Ermittlung und Überprüfung der Zulässigkeit des Maximalabstands der Gewindestangen in den beiden äußeren Vierteln des querzugbelasteten Bereiches



Trägerbreite $b = 180 \text{ mm}$
Lamellendicke $t = 40 \text{ mm}$
Mindestlänge innen liegender
Verstärkungen $l = 1.070 \text{ mm}$

Aufgabe 3 (20 Punkte)

Im Kragarm eines 240 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.

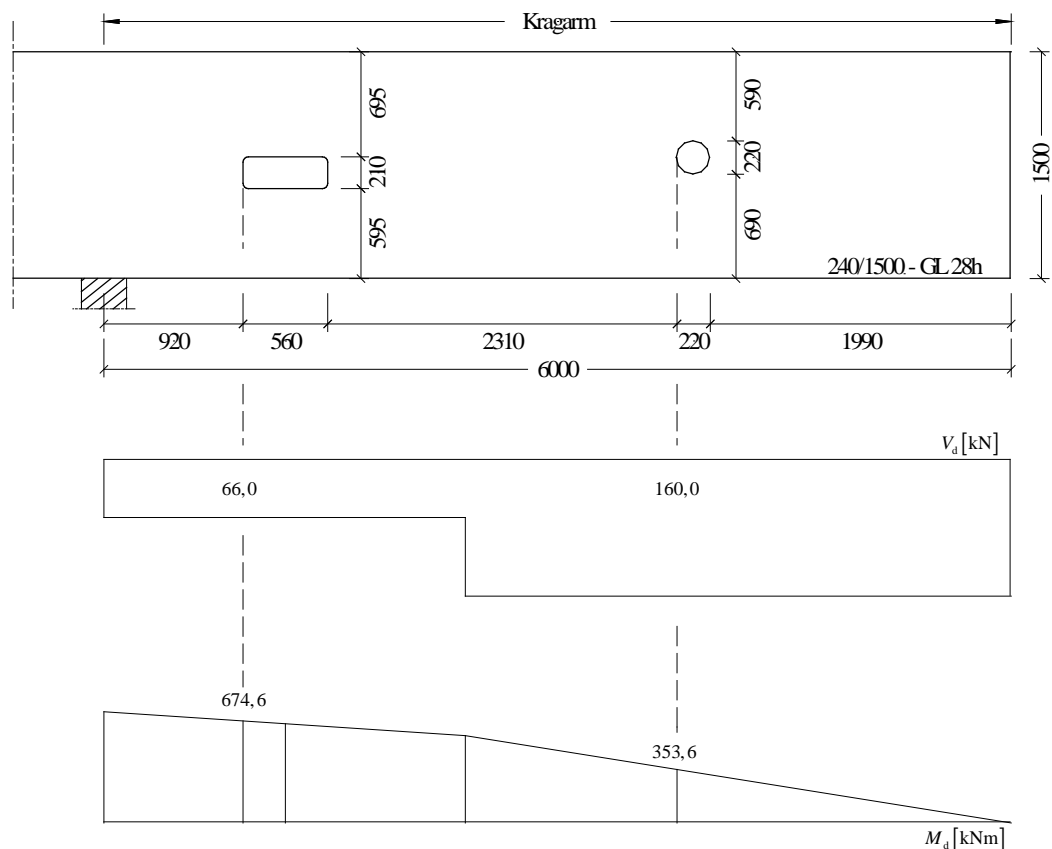
Der Verlauf von Querkraft und Moment ist gegeben.

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

- Überprüfung der geometrischen Bedingungen für beide Durchbrüche.
- Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des rechteckigen Durchbruchs.
- Tragfähigkeitsnachweis der Biegespannungen am rechteckigen Durchbruch mit Biegerandspannungen in der Mitte des Durchbruchs $\sigma_{m,d,o} = 8,42 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{m,d,u} = 8,61 \text{ N/mm}^2$.
- Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des kreisförmigen Durchbruchs.

KLED=kurz, NKL 1

Maße in mm



Aufgabe 4 (25 Punkte)

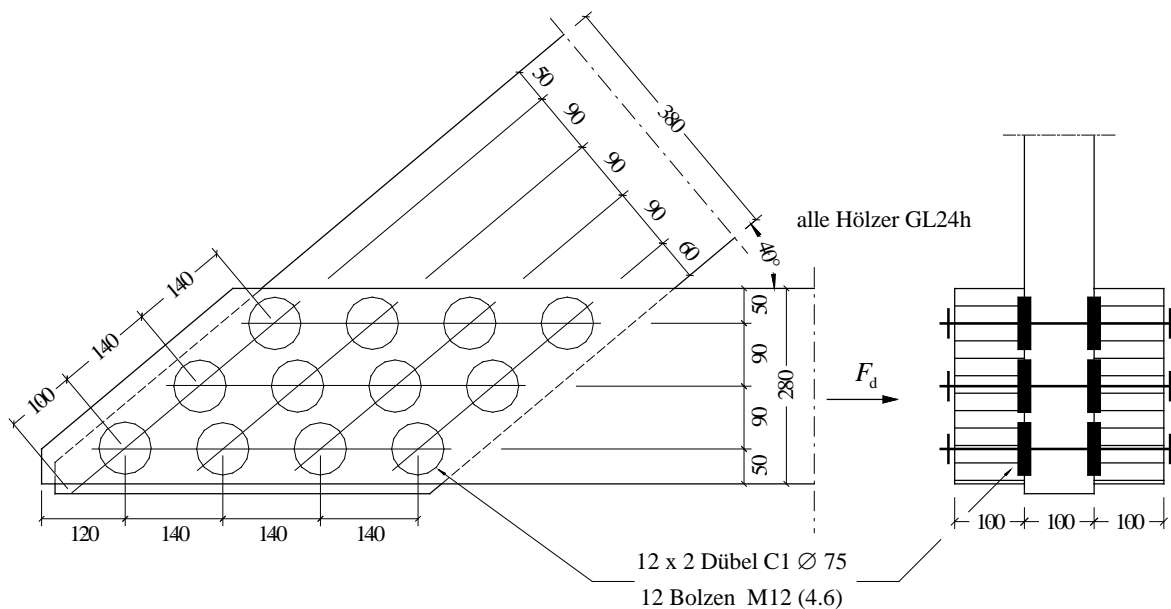
Ein zweiteiliger horizontaler Zugstab ist an einen einteiligen geneigten Träger durch Dübel C1 und Bolzen angeschlossen. Der Bemessungswert der Zugkraft beträgt:

$$F_d = 300 \text{ kN}.$$

Führen Sie den Nachweis der Tragfähigkeit in folgenden Schritten:

- a) Überprüfen Sie die Anordnung der Dübel im horizontalen Zugstab unter der Voraussetzung, dass die volle Tragfähigkeit der Dübel erreicht wird.
- b) Überprüfen Sie die Anordnung der Dübel im geneigten Träger unter der Voraussetzung, dass die volle Tragfähigkeit der Dübel erreicht wird.
- c) Ermitteln Sie die Tragfähigkeit $F_{v,0,Rd}$ und $F_{v,\alpha,Rd}$ je Verbindungseinheit und Scherfuge.
Die Tragfähigkeit der Bolzen je Scherfuge beträgt:
 $F_{v,0,Rd,B} = 6,29 \text{ kN}$
 $F_{v,\alpha,Rd,B} = 5,97 \text{ kN}.$
- d) Führen sie den Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im horizontalen Zugstab.
- e) Führen sie den Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im geneigten Träger.
- f) Berechnen Sie die Nettoquerschnittsfläche A_n für den Nachweis der Zugtragfähigkeit des zweiteiligen horizontalen Zugstabes.
Hinweis: im maßgeblichen Querschnitt muss nur die Schwächung durch eine Verbindungseinheit berücksichtigt werden.

Nutzungsbedingungen: KLED mittel und NKL 1 ($k_{mod} = 0,80$).



Aufgabe 5 $\sum 10$

a) Anfangsdurchbiegung aus ständiger und veränderlicher Belastung

$$1 \quad I_s = b \cdot h_s^3 / 12 = 260 \cdot 1.150^3 / 12 = 3,295 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$A_s = b \cdot h_s = 260 \cdot 1.150 = 0,299 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$1 \quad k_m = \frac{(h_s/h_1)^3}{0,15 + 0,85 \cdot (h_s/h_1)} = \frac{(1.150/1.983)^3}{0,15 + 0,85 \cdot (1.150/1.983)} = 0,303$$

$$1 \quad k_v = \frac{2}{1 + (h_1/h_s)^{2/3}} = \frac{2}{1 + (1.983/1.150)^{2/3}} = 0,820$$

b) Durchbiegungsnachweise

$$1 \quad M_{\max} = G_k^2 \cdot \frac{l^2}{8} = 22,0 \cdot \frac{15,2^2}{8} = 635,4 \text{ kNm}$$

$$1 \quad w_m = \frac{M_{\max} \cdot l^2}{9,6 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I_s} \cdot k_m = \frac{635,4 \cdot 10^6 \cdot 15.200^2}{9,6 \cdot 14.700 \cdot 3,295 \cdot 10^{10}} \cdot 0,303 = 9,57 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_v = \frac{1,2 \cdot M_{\max}}{G_{\text{mean}} \cdot A_s} \cdot k_v = \frac{1,2 \cdot 635,4 \cdot 10^6}{910 \cdot 0,299 \cdot 10^6} \cdot 0,820 = 2,30 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst,G}} = 9,57 + 2,30 = 11,9 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{inst,Q,1}} = \frac{34,0}{22,0} \cdot 11,9 = 18,4 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q,1}} = 11,9 + 18,4 = 30,3 < \frac{15.200}{200} = 76 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot k_{\text{def}} = 30,3 + (11,9 + 18,4 \cdot 0) \cdot 0,6 = 37,4 < \frac{15.200}{150} = 101,3 \text{ mm}$$

$$1 \quad w_{\text{net,fin}} = \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c$$

$$w_{\text{net,fin}} = (11,9 + 18,4 \cdot 0) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 19 \text{ mm} < \frac{15.200}{250} = 60,8 \text{ mm}$$

Aufgabe 1 $\sum 20$

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Belastung

$$2 \quad q_d = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot p = 1,35 \cdot 4,6 + 1,5 \cdot 15,1 = 28,86 \text{ kN/m}$$

b) Gelenkabstände, Stütz- und Feldmomente der Innenfelder gleicher Wert

$$3 \quad e_1 = 0,1465 \cdot 10.500 = 1.538,25 \text{ mm}$$

$$3 \quad e_2 = 0,1250 \cdot 10.500 = 1.312,5 \text{ mm}$$

c) Nachweis der Tragfähigkeit nur für die Innenfelder für die unter b) ermittelten Gelenkabstände

$$2 \quad f_{m,d} = \underbrace{1,0}_{k_{ht}} \cdot 1,125 \cdot 14,8 = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

$$2 \quad M_1 = 0,0625 \cdot q_d \cdot l^2 = 0,0625 \cdot 28,86 \cdot 10,50^2 = 198,7 \text{ kNm} = 198,7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$2 \quad W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{200 \cdot 600^2}{6} = 12,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$2 \quad \sigma_{m,d} = \frac{198,7 \cdot 10^6}{12,0 \cdot 10^6} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

$$2 \quad \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{16,6}{16,6} = 1,00 \leq 1$$

d) Gelenkkraft für den unter b) ermittelten Gelenkabstand

$$3 \quad l = 10.500 - 2 \cdot 1.538,25 = 7.424 \text{ mm}$$

$$3 \quad G_d = 28,86 \cdot \frac{7.424}{2} = 107.130 \text{ N} = 107,1 \text{ kN}$$

e) Ermittlung der Anfangsdurchbiegung der Endfelder aus der veränderlichen Last $q_{p,k}$

$$3 \quad I = \frac{2 \cdot 160 \cdot 600^3}{12} = 5,76 \cdot 10^9$$

$$3 \quad w = f_1 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} = 0,0091 \cdot \frac{15,1 \cdot 10.500^4}{11.600 \cdot 5,76 \cdot 10^9} = 25,0 \text{ mm}$$

Aufgabe 2 $\sum 30$

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Querkzugspannung im Firstbereich

$$1 \quad k_{ap} = h_{ap}/r = 1.345/10.670 = 0,12605 \quad \left| \quad 1 \quad k_5 = 0,2 \cdot \tan \delta = 0,2 \cdot \tan 11^\circ = 0,03888 \right.$$

$$1 \quad k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \delta + 2,6 \cdot \tan^2 \delta = 0,25 - 1,5 \cdot \tan 11^\circ + 2,6 \cdot \tan^2 11^\circ = 0,05667$$

$$1 \quad k_7 = 2,1 \cdot \tan \delta - 4 \cdot \tan^2 \delta = 2,1 \cdot \tan 11^\circ - 4 \cdot \tan^2 11^\circ = 0,25706$$

$$1 \quad k_p = k_5 + k_6 \cdot k_{ap} + k_7 \cdot k_{ap}^2 = 0,05010$$

$$1 \quad \sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,05010 \cdot \frac{6 \cdot 740 \cdot 10^6}{180 \cdot 1.345^2} = 0,683 \text{ N/mm}^2 \quad \left| \quad 1 \quad f_{t,90,d} = 0,9 \cdot \frac{0,4}{1,3} = 0,277 \text{ N/mm}^2 \right.$$

$$1 \quad r_{in} = 10,67 - 0,5 \cdot 1,345 = 10,00 \text{ m}$$

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

$$2 \quad V = 2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (10,00 + 1,345)^2 \cdot \frac{\sin 8^\circ}{\sin(90^\circ + 3^\circ)} \cdot \sin(90^\circ - 11^\circ) - \frac{8^\circ}{360^\circ} \cdot \pi \cdot 10,00^2 \right] \cdot 0,180 = 0,656 \text{ m}^3$$

$$2 \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{1,7 \cdot (0,01/V)^{0,2} \cdot f_{t,90,d}} + \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,683}{1,7 \cdot (0,01/0,656)^{0,2} \cdot 0,277} = 3,35 > 1 \text{ Verstärkung erforderlich}$$

$$2 \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{1,3 \cdot (h_0/h_{ap})^{0,3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 = \frac{0,683}{1,3 \cdot (600/1.345)^{0,3} \cdot 0,277} = 2,43 > 1$$

Verstärkung zur vollständigen Aufnahme der Querkzugspannungen erforderlich

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

Tragfähigkeit einer Gewindestange M16:

$$1 \quad N_{R,d} = 40,2 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Klebefuge (Nutzung der Tabelle)

$$2 \quad l_{ad} = 0,5 \cdot 1.070 = 535 \text{ mm}$$

$$3 \quad \max F_{t,90,d} = 1,125 \cdot (535/500) \cdot 30,9 = 37,2 \text{ kN} \rightarrow \text{maßgeblich}$$

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

$$2 \quad F_{t,90,d} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \leq 37.200 \text{ N} \quad \left| \quad 2 \quad a_1 \leq \frac{37.200 \cdot n}{\sigma_{t,90,d} \cdot b} = \frac{37.200 \cdot 1}{0,683 \cdot 180} = 303 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \right.$$

$$2 \quad 250 \leq a_1 \leq 0,75 \cdot h_{ap} \rightarrow 250 \leq 300 \leq 1009 (= 0,75 \cdot 1.345) \rightarrow \text{ist erfüllt}$$

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

$$2 \quad F_{t,90,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \rightarrow a_1 \leq \frac{3}{2} \cdot 300 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm}$$

$$2 \quad 250 \leq a_1 \leq 0,75 \cdot h_{ap} \rightarrow 250 \leq 450 \leq 1.009 (= 0,75 \cdot 1.345) \rightarrow \text{ist erfüllt}$$

Aufgabe 3 $\sum 25$

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

$$1 \quad k_{t,90} = \min \left\{ \frac{\sqrt{450/h}}{1} \right\} = \min \left\{ \frac{\sqrt{450/1.500}}{1} \right\} = 0,548$$

a) Überprüfung der geometrischen Bedingungen für beide Durchbrüche

geometrische Bedingung	rechteckiger Durchbruch	kreisförmiger Durchbruch
$l_v \geq h$	----	$1.990 > 1.500$
$l_z \geq 1,5 \cdot h$ und $l_z \geq 300$	$2.310 > (1,5 \cdot 1.500 = 2.250)$ und $2.310 > 300$	
$l_A \geq 0,5 \cdot h$	$920 > (0,5 \cdot 1.500 = 750)$	$l_A > 750$
$h_{ro} \geq 0,35 \cdot h$	$695 > (0,35 \cdot 1.500 = 525)$	$590 > 525$
$h_{ru} \geq 0,35 \cdot h$	$595 > 525$	$690 > 525$
$a \leq 0,4 \cdot h$	$560 < (0,4 \cdot 1.500 = 600)$	$220 < 600$
$h_d \leq 0,15 \cdot h$	$210 < (0,15 \cdot 1.500 = 225)$	$220 < 225$

b) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des rechteckigen Durchbruchs

$$1 \quad V_d = 66,0 \text{ kN} \quad M_d = 674,6 \text{ kNm}$$

$$1 \quad h_r = \min \{h_{ro}; h_{ru}\} = 595 \text{ mm}$$

$$1 \quad F_{t,90,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} = \frac{66 \cdot 10^3 \cdot 210}{4 \cdot 1.500} \cdot \left(3 - \frac{210^2}{1.500^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{674,6 \cdot 10^6}{595}$$

$$F_{t,90,d} = 6.884,7 + 9.070,3 = 15.955 \text{ N}$$

$$1 \quad l_{t,90} = 0,5 \cdot (h_d + h) = 0,5 \cdot (210 + 1.500) = 855 \text{ mm}$$

$$1 \quad \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{15.955}{0,5 \cdot 855 \cdot 240 \cdot 0,548 \cdot 0,312} = 0,91 < 1$$

c) Nachweis der Biegespannungen am rechteckigen Durchbruch mit

$$\sigma_{m,d,o} = 8,42 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{m,d,u} = 8,61 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad V_{d,o} = \frac{h_{ro}}{h_{ro} + h_{ru}} \cdot V_d = \frac{695}{695 + 595} \cdot 66.000 = 35.558 \text{ N}$$

$$1 \quad V_{d,u} = \frac{h_{ru}}{h_{ro} + h_{ru}} \cdot V_d = \frac{595}{695 + 595} \cdot 66.000 = 30.442 \text{ N}$$

$$1 \quad \Delta M_{d,o} = V_{d,o} \cdot \frac{a}{2} = 35.558 \cdot (560/2) = 9,956 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$1 \quad \Delta M_{d,u} = V_{d,u} \cdot \frac{a}{2} = 30.442 \cdot (560/2) = 8,524 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$1 \quad \Delta \sigma_{m,d,o} = \frac{\Delta M_{d,o}}{W_o} = \frac{9,956 \cdot 10^6 \cdot 6}{240 \cdot 695^2} = 0,515 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad \Delta \sigma_{m,d,u} = \frac{\Delta M_{d,u}}{W_u} = \frac{8,524 \cdot 10^6 \cdot 6}{240 \cdot 595^2} = 0,602 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad \max \sigma_{m,d} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{m,d,o} + \Delta \sigma_{m,d,o} \\ \sigma_{m,d,u} + \Delta \sigma_{m,d,u} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 8,42 + 0,515 \\ 8,61 + 0,602 \end{array} \right\} = 9,21 \text{ N/mm}^2$$

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

$$1 \quad \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{9,21}{19,4} = 0,48 < 1$$

d) Tragfähigkeitsnachweis des Querzugs am linken Rand des kreisförmigen Durchbruchs

$$1 \quad V_d = 160,0 \text{ kN} \quad M_d = 353,6 \text{ kNm}$$

$$1 \quad h_r = \min \left\{ \begin{array}{l} h_{ro} + 0,15 \cdot h_d \\ h_{ru} + 0,15 \cdot h_d \end{array} \right\} = 590 + 0,15 \cdot 220 = 623,0 \text{ mm}$$

$$1 \quad 0,7 \cdot h_d = 0,7 \cdot 220 = 154 \text{ mm}$$

$$1 \quad F_{t,90,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} = \frac{160,0 \cdot 10^3 \cdot 154}{4 \cdot 1.500} \cdot \left(3 - \frac{154^2}{1.500^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{353,6 \cdot 10^6}{623}$$

$$F_{t,90,d} = 12.276,7 + 4.540,6 = 16.817 \text{ N}$$

$$1 \quad l_{t,90} = 0,353 \cdot h_d + 0,5 \cdot h = 0,353 \cdot 220 + 0,5 \cdot 1.500 = 827,7 \text{ mm}$$

$$1 \quad \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{16.817}{0,5 \cdot 827,7 \cdot 240 \cdot 0,548 \cdot 0,312} = 0,99 < 1$$

Aufgabe 4 $\sum 25$

a) Überprüfung der Anordnung im horizontalen Zugstab

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	mindestens [mm] bei $d_c = 75$ mm	vorhanden [mm]
a_1	$(1,2 + 0,3 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c = 1,5 \cdot d_c$	112,5	140
a_2	$1,2 \cdot d_c$	90	90
3 $a_{3,t}$	$1,5 \cdot d_c$	112,5	120
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	45	50

b) Überprüfung der Anordnung im geneigten Träger

	Vorschrift bei $\alpha = 40^\circ$	mindestens [mm] bei $d_c = 75$ mm	vorhanden [mm]
a_1	$(1,2 + 0,3 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$	107,2	140
a_2	$1,2 \cdot d_c$	90	90
3 $a_{3,t}$	---	---	---
$a_{3,c}$	$(0,9 + 0,6 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	96,4	100
$a_{4,t}$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	54,6	60
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	45	50

c) Ermittlung der Tragfähigkeit $F_{v,0,Rd}$ und $F_{v,\alpha,Rd}$ je Verbindungseinheit und Scherfuge

$$1 \quad t_1 = 100 \text{ mm} > 27 \text{ mm} \qquad 1 \quad t_2 = 100 \text{ mm} > 46 \text{ mm} \qquad 1 \quad a_{3,t} = 120 \text{ mm} \geq 112,5 \text{ mm}$$

$$1 \quad F_{v,Rd,D} = 7,81 \text{ kN}$$

$$1 \quad F_{v,0,Rd} = F_{v,Rd,D} + F_{v,0,Rd,B} = 7,81 + 6,29 = 14,1 \text{ kN} \qquad 1 \quad F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,Rd,D} + F_{v,\alpha,Rd,B} = 7,81 + 5,97 = 13,8 \text{ kN}$$

d) Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im horizontalen Zugstab

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM in Lastrichtung

$$1 \quad F_{v,Ed} = \frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} = \frac{300.000}{3 \cdot 4 \cdot 2} = 12.500 \text{ N} = 12,5 \text{ kN}$$

$$1 \quad \alpha = 0^\circ \rightarrow F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,0,Rd} = 14,1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} = \frac{12,5}{14,1} = 0,89 < 1$$

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM für die Kraftkomponente in Faserrichtung

$$1 \quad n = 4 \rightarrow (n_{ef}/n) = 0,900$$

$$1 \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} = \frac{12,5 \cdot \cos 0^\circ}{0,900 \cdot 14,1} = 0,99 < 1$$

e) Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel im geneigten Träger

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM in Lastrichtung

1 $\alpha = 40^\circ$

2 $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} = \frac{12,5}{13,8} = 0,91 < 1$

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM für die Kraftkomponente in Faserrichtung

1 $n = 3 \rightarrow (n_{ef}/n) = 0,950$

2 $\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} = \frac{12,5 \cdot \cos 40^\circ}{0,950 \cdot 14,1} = 0,71 < 1$

f) Nettoquerschnittsfläche A_n des zweiteiligen geneigten Zugstabes

1 $h_e = 9,1 \text{ mm}$

2 $A_n = 2 \cdot \left[100 \cdot 280 - 1 \cdot \left(100 - \underbrace{9,1}_{h_e} \right) \cdot \underbrace{(12 + 1)}_{\substack{\text{Bolzen-}\varnothing \\ + 1 \text{ mm}}} - 1 \cdot \underbrace{420}_{\Delta A} \right] = 52.797 \text{ mm}^2$

Prüfung Holzbau III vom 24. 6. 2015 (Nachweise nach DIN EN 1995-1-1 und NA:2013-08)

Name, Vorname: _____ Matr.-Nr.: _____

Aufgabe	1	2	3	4	5	Summe
Punkte						/100

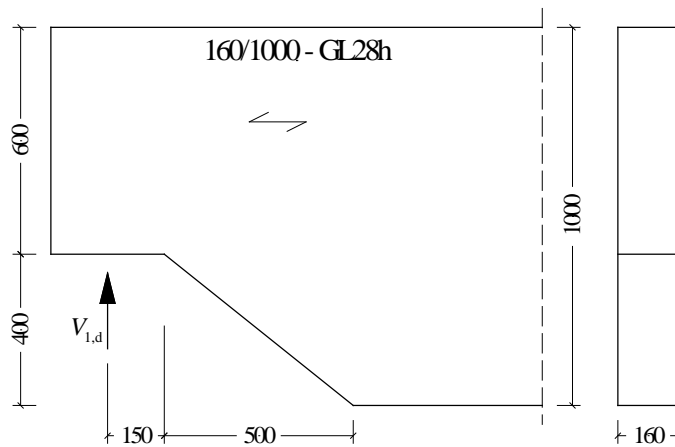
Aufgabe 1 (15 Punkte)

Die nachfolgende Zeichnung stellt die unverstärkte Ausklinkung auf der belasteten Seite am Auflager eines Brettschichtholzträgers dar. Der Bemessungswert der Auflagerkraft ist gegeben mit:

$V_{1,d} = 33,2 \text{ kN}$ KLED = mittel, Nutzungsklasse: NKL 1

Führen Sie den Nachweis der Tragfähigkeit in folgenden Schritten:

- a) Ermittlung des Beiwertes k_v .
- b) Nachweis der Tragfähigkeit der unverstärkten Ausklinkung.



Aufgabe 2 (15 Punkte)

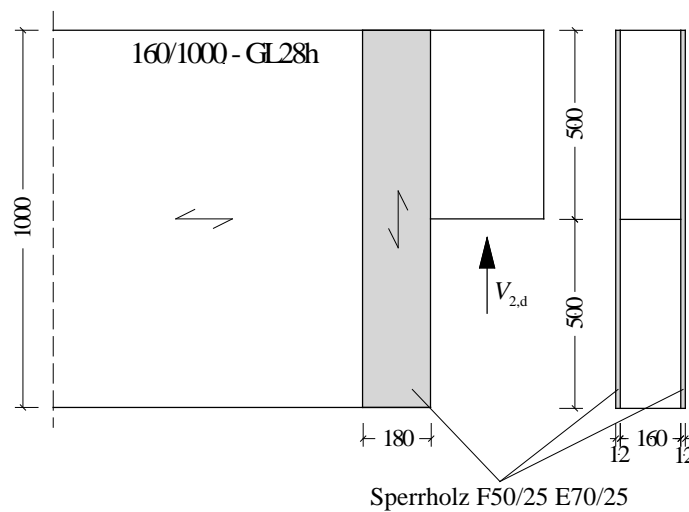
Für die rechtwinklige Ausklinkung am Auflager eines Biegestabes soll die außen liegende Verstärkung bemessen werden. Die nachfolgende Zeichnung stellt die verstärkte rechtwinklige Ausklinkung am Auflager des Brettschichtholzträgers dar. Der Bemessungswert der Auflagerkraft ist gegeben mit:

$$V_{2,d} = 70,8 \text{ kN} \quad \text{KLED} = \text{mittel, Nutzungsklasse: NKL 1}$$

Außen aufgeklebte Verstärkung mit 12 mm dickem Sperrholz F50/25 E70/25

Führen Sie die Bemessung in folgenden Schritten durch

- Ermittlung des Bemessungswertes der Anschlusskraft $F_{t,90,d}$ rechtwinklig zur Faserrichtung
- Überprüfung der Zulässigkeit der Breite der Verstärkungsplatten
- Ermittlung Schubspannung in der Klebfuge und Überprüfung der Tragfähigkeit
- Nachweis der Tragfähigkeit für die Zugspannungen in den aufgeklebten Verstärkungsplatten aus der Anschlusskraft $F_{t,90,d}$



Aufgabe 3 (10 Punkte)

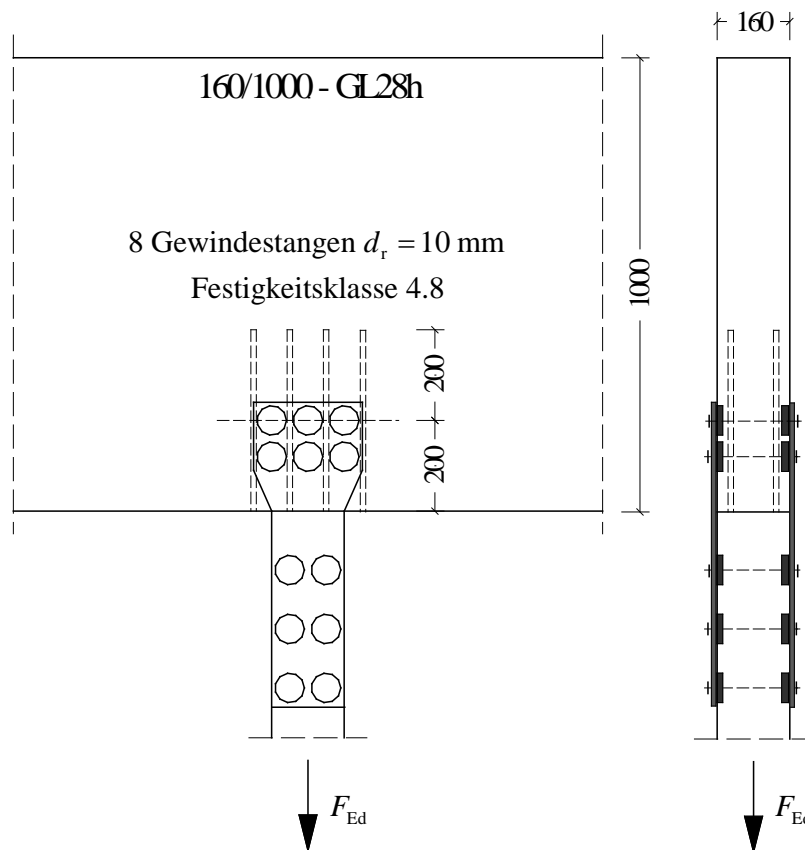
Über zwei außen liegende Bleche und Dübel besonderer Bauart ist die Last $F_{90,d}$ an einen Brettschichholzträger angeschlossen. Für den Querschluss soll die innen liegende Verstärkung mit eingeklebten Gewindestangen bemessen werden. Die nachfolgende Zeichnung stellt den verstärkten Querschluss dar. Der Bemessungswert der Belastung ist gegeben mit:

$$F_{Ed} = 118 \text{ kN} \quad \text{KLED} = \text{mittel}, \text{ Nutzungsklasse: NKL 1}$$

Innen liegende Verstärkung mit eingeklebten Gewindestangen, $d_r = 10 \text{ mm}$, Festigkeitsklasse 4.8

Führen Sie die Bemessung in folgenden Schritten durch

- Ermittlung des Bemessungswertes der Anschlusskraft $F_{t,90,d}$ rechtwinklig zur Faserrichtung, für die die Verstärkung bemessen wird
- Überprüfung der Mindesteinkleblänge der Gewindestangen
- Ermittlung der Tragfähigkeit einer einzelnen Gewindestange
- Ermittlung der benötigten Anzahl von Gewindestangen und Vergleich mit der vorhandenen Anzahl



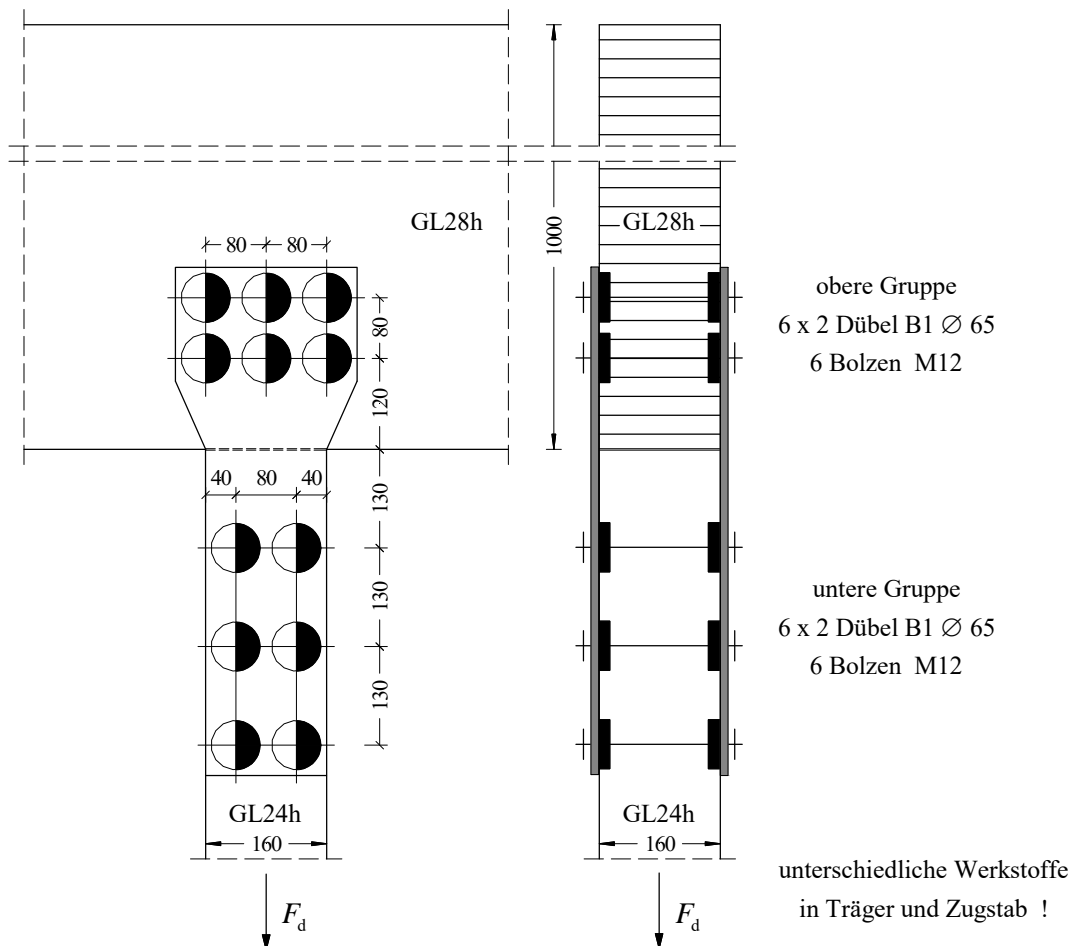
Aufgabe 4 (30 Punkte)

Ein einteiliger vertikaler Zugstab ist mit zwei außen liegenden Blechen an einen einteiligen horizontalen Träger durch einseitige Dübel B1 mit Bolzen M12 angeschlossen.

Ermitteln Sie die Tragfähigkeit in folgenden Schritten:

- Überprüfen Sie die Anordnung der Dübel im horizontalen Träger.
- Überprüfen Sie die Anordnung der Dübel im vertikalen Zugstab.
- Ermitteln Sie die maximal aufnehmbare Last F_d für die gesamte obere Dübelgruppe.
- Ermitteln Sie die maximal aufnehmbare Last F_d für die gesamte untere Dübelgruppe.
Hinweis: die Querspannungen im horizontalen Träger sollen nicht überprüft werden.
- Berechnen Sie die Nettoquerschnittsfläche A_n für Zugbeanspruchung des vertikalen Zugstabes.
- Ermitteln Sie die maximal aufnehmbare Zugbeanspruchung F_d für den Nettoquerschnitt des vertikalen Zugstabs

Nutzungsbedingungen: KLED mittel und NKL 1 ($k_{mod} = 0,80$).



Aufgabe 5 (30 Punkte)

Der in der nachfolgenden Zeichnung dargestellte Satteldachträger aus GL24h mit gekrümmtem unteren Rand soll bemessen werden. Die Belastung ist wie folgt gegeben:

$$q_d = 15,0 \text{ kN/m} \quad \text{KLED=mittel}$$

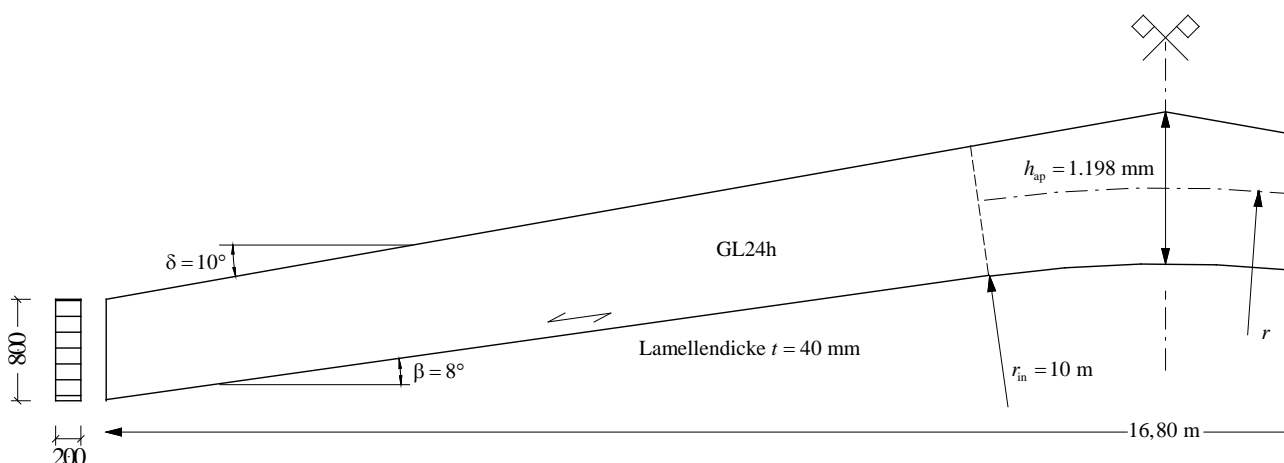
Führen Sie den Standsicherheitsnachweis in folgenden Schritten:

- 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.
- Führen Sie den Nachweis der Biegerandspannungen für den oberen und den unteren Trägerrand an der Stelle "x".
- Führen Sie den Nachweis der Biegerandspannungen für den Firstquerschnitt.
- Ermitteln Sie die Querkzugspannungen im Firstquerschnitt und stellen Sie fest, ob Verstärkungen zur Aufnahme klimabedingter Querkzugspannungen ausreichen, oder ob Verstärkungen zur vollständigen Aufnahme der Querkzugspannungen notwendig sind.

Hinweis:

das querkzugbeanspruchte Volumen im Firstbereich ist kleiner als 2/3 des Gesamtvolumens des Trägers

Nutzungsbedingungen: NKL 1



Beiwerte k_i für $\delta = 10^\circ$:

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
1,4148	-1,0606	1,8210	0,1865	0,0353	0,0663	0,2459

Aufgabe 1 $\sum 15$

a) Ermittlung des Beiwertes k_v

3 $h_{ef} / h / x = 600 / 1.000 / 150 \text{ mm}$

1 $\tan \varepsilon = \frac{400}{500} = 0,8$

1 $\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{600}{1.000} = 0,60$

1 $k_n = 6,5 \text{ (BSH)}$

3
$$k_{90} = \frac{k_n}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)}$$

$$= \frac{6,5}{\sqrt{1.000} \cdot \left[\sqrt{0,6 \cdot (1-0,6)} + 0,8 \cdot \frac{150}{1.000} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,6} - 0,6^2} \right]} = \frac{6,5}{19,830} = 0,3278$$

1 $k_\varepsilon = 1 + \frac{1,1}{\tan \varepsilon \cdot \sqrt{h \cdot \tan \varepsilon}} = 1 + \frac{1,1}{0,8 \cdot \sqrt{1.000 \cdot 0,8}} = 1,0486$

1 $k_v = \min \left\{ 1, k_{90} \cdot k_\varepsilon \right\} = \min \left\{ 1, 0,3278 \cdot 1,0486 \right\} = 0,344$

b) Nachweis der Tragfähigkeit der unverstärkten Ausklinkung

1 $k_{cr} \cdot f_{v,d} = 1,0 \cdot 1,54 = 1,54 \text{ N/mm}^2$

3 $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,5 \cdot V_d}{k_v \cdot k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{1,5 \cdot 33.200}{0,344 \cdot 1,54} = \frac{0,519}{0,529} = 0,98 < 1$

Aufgabe 2 $\sum 15$

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Anschlusskraft $F_{t,90,d}$ rechtwinklig zur Faserrichtung

1 $\alpha = 500 / 1.000 = 0,5$

3 $F_{t,90,d} = 1,3 \cdot V_d \cdot (1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3) = 1,3 \cdot 70,8 \cdot (1 - 3 \cdot 0,5^2 + 2 \cdot 0,5^3) = 1,3 \cdot 70,8 \cdot 0,5 = 46,0 \text{ kN}$

b) Überprüfung der Zulässigkeit der Breite der Verstärkungsplatten

2 $0,25 \leq \frac{l_r}{h - h_e} \leq 0,5 \rightarrow 0,25 < \left(\frac{180}{500} = 0,36 \right) < 0,5 \rightarrow \text{zulässig}$

c) Ermittlung Schubspannung in der Klebfuge und Überprüfung der Tragfähigkeit

1 $h_{\min} = \min \left\{ h_e, h - h_e \right\} = \min \left\{ 500, 1.000 - 500 \right\} = 500$

2 $\tau_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot h_{\min} \cdot l_r} = \frac{46.000}{2 \cdot 500 \cdot 180} = 0,256 \text{ N/mm}^2$

1 $f_{k2,d} = 0,8 \cdot \frac{0,75}{1,3} = 0,462$

$$1 \quad \frac{\tau_{\text{ef,d}}}{f_{\text{k2,d}}} = \frac{0,256}{0,462} = 0,55 < 1$$

d) Nachweis der Tragfähigkeit für die Zugspannungen in den aufgeklebten Verstärkungsplatten aus der Anschlusskraft $F_{\text{t,90,d}}$

$$1 \quad f_{\text{t,d}} = 22,2 \text{ N/mm}^2$$

$$2 \quad \sigma_{\text{t,d}} = \frac{F_{\text{t,90,d}}}{2 \cdot t_r \cdot l_r} = \frac{46.000}{2 \cdot 12 \cdot 180} = 10,6 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad 2,0 \cdot \frac{\sigma_{\text{t,d}}}{f_{\text{t,d}}} = 2,0 \cdot \frac{10,6}{22,2} = 0,96 < 1$$

Aufgabe 3 $\sum 10$

a) Ermittlung des Bemessungswertes der Anschlusskraft $F_{\text{t,90,d}}$ rechtwinklig zur Faserrichtung, für die die Verstärkung bemessen wird

$$1 \quad \alpha = 200/1.000 = 0,2$$

$$3 \quad F_{\text{t,90,d}} = (1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3) \cdot F_{\text{Ed}} = (1 - 3 \cdot 0,2^2 + 2 \cdot 0,2^3) \cdot 118 = 0,8960 \cdot 118 = 105,7 \text{ kN}$$

b) Überprüfung der Mindesteinkleblänge der Gewindestangen

$$1 \quad l_{\text{ad}} = \min \{ l_{\text{ad,c}}; l_{\text{ad,t}} \} = \min \{ 200; 200 \} = 200 \text{ mm}$$

$$1 \quad (l_{\text{ad}} = 200 \text{ mm}) > (\max \{ 0,5 \cdot d_r^2; 10 \cdot d_r \}) = \max \{ 50; 100 \} = 100 \text{ mm}) \rightarrow \text{zulässig}$$

c) Ermittlung der Tragfähigkeit einer einzelnen Gewindestangen

$$1 \quad \text{Tragfähigkeit der Klebfuge: } \max F_{\text{t,90,d}} = 15,5 \text{ kN}$$

$$1 \quad \text{Tragfähigkeit der Gewindestange: } N_{\text{R,d}} = 14,8 \text{ kN} \rightarrow \text{maßgeblich}$$

d) Ermittlung der benötigten Anzahl von Gewindestangen und Vergleich mit der vorhandenen Anzahl

$$2 \quad n = \frac{105,7}{14,8} = 7,14 < 8$$

Aufgabe 4 $\sum 30$

a) Überprüfung der Anordnung im horizontalen Träger

	Typ B1: Vorschrift bei $\alpha = 90^\circ$	mindestens [mm] bei $d_c = 65 \text{ mm}$	vorhanden [mm]
	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c = 1,2 \cdot d_c$	78	80
	$1,2 \cdot d_c$	78	80
4	---	---	---
	---	---	---
	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c = 0,8 \cdot d_c$	52	120
	$0,6 \cdot d_c$	39	800

b) Überprüfung der Anordnung im vertikalen Zugstab

	Typ B1: Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	mindestens [mm] bei $d_c = 65 \text{ mm}$	vorhanden [mm]
	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c = 2,0 \cdot d_c$	130	130
	$1,2 \cdot d_c$	78	80
4	$1,5 \cdot d_c$	97,5	130
	---	---	---
	---	---	---
	$0,6 \cdot d_c$	39	40

c) Ermitteln Sie die maximal aufnehmbare Last F_d für die gesamte obere Dübelgruppe

$$1 \quad t_2 = 160 \text{ mm} > 75 \text{ mm}$$

$$1 \quad a_{3,t} > 2 \cdot d_c$$

$$1 \quad F_{v,0,Rd} = 14,5 \text{ kN}$$

$$1 \quad \alpha = 90^\circ$$

$$2 \quad F_{v,\alpha,Rd} = \frac{F_{v,0,Rd}}{(1,3 + 0,001 \cdot d_c) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{14,5}{(1,3 + 0,001 \cdot 65) \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 0^\circ} = \frac{14,5}{1,365} = 10,62 \text{ kN}$$

- aus Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM in Lastrichtung

$$2 \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} \leq 1 \rightarrow F_d = 12 \cdot F_{v,\alpha,Rd} = 12 \cdot 10,62 = 127,5 \text{ kN}$$

- aus Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM für die Kraftkomponente in Faserrichtung

$$1 \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} \leq 1 \rightarrow \alpha = 90^\circ \rightarrow \text{nicht maßgeblich}$$

d) Ermitteln Sie die maximal aufnehmbare Last für die gesamte untere Dübelgruppe

$$1 \quad t_2 = 160 \text{ mm} > 75 \text{ mm}$$

$$1 \quad a_{3,t} = 130 \text{ mm} \geq 130 \text{ mm}$$

$$1 \quad F_{v,0,Rd} = 13,5 \text{ kN}$$

$$1 \quad \alpha = 0^\circ$$

$$1 \quad F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,0,Rd} = 13,5 \text{ kN}$$

- aus Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM in Lastrichtung

$$1 \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} \leq 1 \rightarrow F_d = 12 \cdot F_{v,\alpha,Rd} = 12 \cdot 13,5 = 162,0 \text{ kN}$$

- aus Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM für die Kraftkomponente in Faserrichtung

$$1 \quad n = 3 \rightarrow (n_{ef}/n) = 0,950$$

$$1 \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \overbrace{\cos \alpha}^{=1}}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} \leq 1 \rightarrow F_d = 12 \cdot (n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd} = 12 \cdot 0,95 \cdot 13,5 = 153,9 \text{ kN} \rightarrow \text{maßgeblich}$$

e) Berechnung der Nettoquerschnittsfläche A_n für Zugbeanspruchung des vertikalen Zugstabes

$$3 \quad A_n = 160 \cdot 160 - 2 \cdot \underbrace{\left(160 - 2 \cdot \underbrace{15}_{h_c}\right)}_{\text{Schwächung durch 2 Bolzen}} \cdot \underbrace{\left(\underbrace{12+1}_{\text{Bolzen-}\varnothing + 1 \text{ mm}}\right)}_{\text{Schwächung durch 4 Dübel}} - \underbrace{4 \cdot 980}_{\Delta A} = 18.300 \text{ mm}^2$$

f) Ermitteln Sie die maximal aufnehmbare Zugbeanspruchung F_d für den Nettoquerschnitt des vertikalen Zugstabs

$$1 \quad f_{t,0,d} = k_{h,t} \cdot 10,2 = 1,1 \cdot 10,2 = 11,2 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad F_d = f_{t,0,k} \cdot A_n = 11,2 \cdot 18.300 = 204.960 \text{ N} = 205 \text{ kN}$$

Aufgabe 5 $\sum 30$

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

$$1 \quad h_1 = h_s + \frac{l}{2} \cdot (\tan \delta - \tan \beta) = 800 + \frac{16.800}{2} \cdot (\tan 10^\circ - \tan 8^\circ) = 1.100,6 \text{ mm}$$

$$1 \quad x = \frac{l \cdot h_s}{2 \cdot h_1} = \frac{16.800 \cdot 800}{2 \cdot 1.100,6} = 6.106 \text{ mm}$$

$$1 \quad h_x = \frac{h'_x}{2} \cdot \left(\frac{\cos \delta}{\cos \alpha} + \cos \beta \right) = \frac{1.019}{2} \cdot \left(\frac{\cos 10^\circ}{\cos 2^\circ} + \cos 8^\circ \right) = 1.006 \text{ mm}$$

$$3 \quad A = q_d \cdot \frac{l}{2} = 15,0 \cdot \frac{16,8}{2} = 126,0 \text{ kN} \rightarrow M_{x,d} = A \cdot x - \frac{q_d \cdot x^2}{2} = 126,0 \cdot 6,106 - \frac{15,0 \cdot 6,106^2}{2} = 489,7 \text{ kNm}$$

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

$$1 \quad f_{m,d} = 0,80 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

$$5 \quad \sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = 14,5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{k_{m,\alpha,c} \cdot f_{m,d}} = \frac{14,5}{0,979 \cdot 14,8} = 1,0 \leq 1$$

c) Biegerandspannungen im Firstquerschnitt

$$1 \quad M_{ap,d} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{15 \cdot 16,8^2}{8} = 529,2 \text{ kNm}$$

$$1 \quad k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r} = \frac{1.198}{10.000 + 0,5 \cdot 1.198} = 0,1130$$

$$2 \quad k_l = k_1 + k_2 \cdot k_{ap} + k_3 \cdot k_{ap}^2 + k_4 \cdot k_{ap}^3 = 1,4148 - 1,0606 \cdot 0,113 + 1,8210 \cdot 0,113^2 + 0,1865 \cdot 0,113^3 = 1,3185$$

$$2 \quad \sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,3185 \cdot \frac{6 \cdot 529,2 \cdot 10^6}{\underbrace{200 \cdot 1.198^2}_{11,06}} = 14,59 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad \frac{r_{in}}{t} = \frac{10.000}{40} = 250 > 240 \rightarrow k_r = 1$$

$$1 \quad \frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \frac{14,59}{1,0 \cdot 14,8} = 0,99 < 1$$

d) Querkzugspannungen im Firstquerschnitt

$$1 \quad f_{t,90,d} = 0,80 \cdot \frac{0,40}{1,3} = 0,246 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \quad k_p = k_5 + k_6 \cdot k_{ap} + k_7 \cdot k_{ap}^2 = 0,0353 + 0,0663 \cdot 0,113 + 0,2459 \cdot 0,113^2 = 0,0459$$

$$1 \quad \sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0459 \cdot 11,06 = 0,508 \text{ N/mm}^2$$

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

$$V = 2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (10,0 + 1,198)^2 \cdot \frac{\sin 8^\circ}{\sin(90^\circ + 2^\circ)} \cdot \sin(90^\circ - 10^\circ) - \frac{8^\circ}{360^\circ} \cdot \pi \cdot 10,0^2 \right] \cdot 0,200 = 0,647 \text{ m}^3$$

$$2 \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{1,7 \cdot (0,01/V)^{0,2} \cdot f_{t,90,d}} + \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 = \frac{0,508}{1,7 \cdot (0,01/0,647)^{0,2} \cdot 0,246} = 2,80 > 1 \quad \text{Verstärkung erforderlich}$$

$$2 \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{1,3 \cdot (h_0/h_{ap})^{0,3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 = \frac{0,508}{1,3 \cdot (800/1.198)^{0,3} \cdot 0,246} = 1,79 > 1 \quad \text{Verstärkung zur vollständigen Aufnahme der Querkzugspannungen erforderlich}$$