

3.3.2.1 Rahmenecke

Erläuterung:

Die hier vorliegende Version befaßt sich mit biegesteifen Rahmenecken, deren Konstruktion durch einen Gehrungsstoß ausgeführt wird, bei dem Riegel und Stütze ähnliche Höhen haben (+/- 20 mm) müssen. Die einzelnen Bauteile werden in der Werkstatt vorgefertigt und dann auf der Baustelle zusammengeschraubt. Die Verbindung erfolgt über einen Stirnplattenstoß mit nicht vorgespannten Schrauben. Durch den Gärungsstoß wird das Schubfeld ausgesteift und es darf auf einen Nachweis verzichtet werden.
Die Schweißnähte sind zu überprüfen.

Aufgabenstellung:

Es werden aus einer statischen Berechnung die Schnittkräfte $N_{Rd} = -25 \text{ kN}$, $V_{Rd} = 280 \text{ kN}$ und $M_{Rd} = -500 \text{ kNm}$ entnommen.

Das Stützenprofil soll ein doppelsymmetrisches Walzprofil HEA500 und das Riegelprofil soll ein doppelsymmetrisches Walzprofil IPE500, beide aus ST 37-2, sein. Die Dachneigung soll $\alpha = 10^\circ$ sein.

Für die Befestigung an der Stirnplatte werden 2 Schraubenreihen mit nicht vorgespannten hochfesten Rohenschrauben gewählt. Die Schrauben sollen einen Durchmesser von M30, eine Festigkeit von 10.9 haben und der Schaft soll in der Scherfuge liegen.

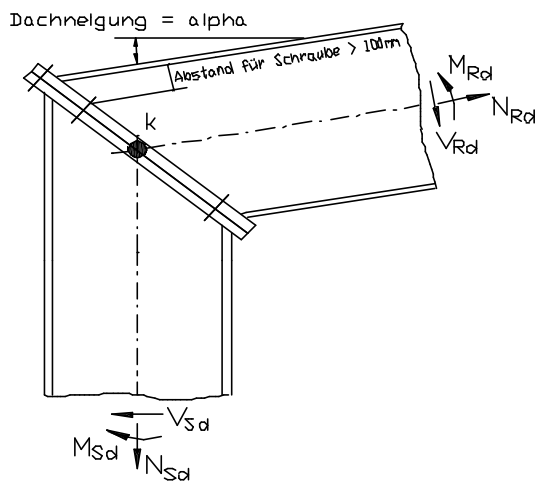
Die Stirnplatte orientiert sich an den konstruktiven Grenzwerten und hat eine Breite $b_p = 220 \text{ mm}$, Höhe $h_p = 750 \text{ mm}$ und eine Dicke $d_p = 30 \text{ mm}$. Die Abstände der Schrauben auf der Stirnplatte betragen zum oberen Rand $e_1 = 30 \text{ mm}$ und der beiden oberen Schraubenreihen $e_2 = 191 \text{ mm}$. Der Abstand von der oberen Schraubenreihe zum Gurt beträgt $a_{1R} = 30 \text{ mm}$ und der Abstand von der untersten Schraubenreihe zu der mittleren $e_3 = 400 \text{ mm}$.

Schnittkräfte im Riegel:

Normalkraft	$N_{Rd} := -25 \text{ kN}$
Querkraft	$V_{Rd} := 280 \text{ kN}$
Moment	$M_{Rd} := -500 \text{ kN} \cdot \text{m}$

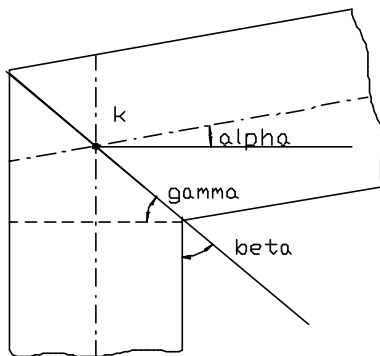
Ermitteln der Konstruktionswinkel abhängig von der Dachneigung:

Dachneigung	$\alpha := 10 \text{ Grad}$
$\beta := \frac{90 \text{ Grad} + \alpha}{2}$	$\beta = 50.00 \text{ Grad}$
$\gamma := 90 \text{ Grad} - \beta$	$\gamma = 40.00 \text{ Grad}$



Ansicht Bild 3.3.2.1-1

Konstruktion mit Winkeln:



Ansicht mit Winkeln Bild 3.3.2.1-2

Profil für Stütze wählen:

HEA 500

Material für Stütze:

Stahl := "St37-2"

$b := 300 \cdot \text{mm}$

$r := 27 \cdot \text{mm}$

$h := 490 \cdot \text{mm}$

$t_g := 23 \cdot \text{mm}$

$t_s := 12 \cdot \text{mm}$



maximale Blechstärke $t := \max(t_{ss}, t_{sg})$ $t = 23.00 \text{ mm}$

Streckgrenze $S_{fyk}(\text{Stahl}, t) = 240.00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Materialsicherheitsbeiwert $\gamma_M := 1.1$

Bemessungswert der Streckgrenze $f_{yd} := \frac{S_{fyk}(\text{Stahl}, t)}{\gamma_M}$ $f_{yd} = 218.18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Profil für Riegel wählen:

IPE 500

Material für Riegel:

Stahl := "St37-2"

$b := 200 \cdot \text{mm}$

$r := 21 \cdot \text{mm}$

$h := 500 \cdot \text{mm}$

$t_g := 16 \cdot \text{mm}$

$t_s := 10.2 \cdot \text{mm}$



maximale Blechstärke $t := \max(t_{Rs}, t_{Rg})$ $t = 16.00 \text{ mm}$

Streckgrenze

$$S_{fyk}(\text{Stahl}, t) = 240.00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Materialsicherheitsbeiwert

$\gamma_M := 1.1$

Bemessungswert
der Streckgrenze

$$f_{yd} := \frac{S_{fyk}(\text{Stahl}, t)}{\gamma_M}$$

$$f_{yd} = 218.18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schrauben wählen:

Anzahl Schrauben in einer Reihe

$n_z := 2$

Größe

Schraubengröße := "M30"

Festigkeit

Festigkeitsklasse := "10.9"

Art (R, HR, P, HP)

Schraubenart := "HR"

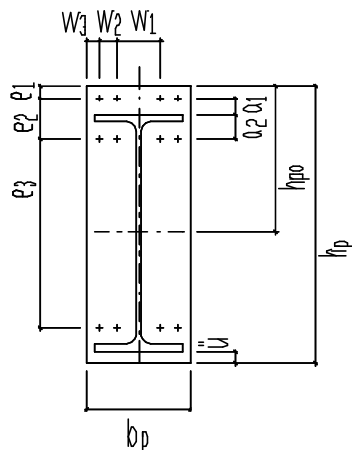
Welcher Teil der Schraube in der
Scherfuge liegt

Querschnittsfläche := "Asch"

Eckenmaß $\min_e := S_{\min_e}(\text{Schraubengröße}, \text{Schraubenart})$

Stirnplatte:

Die Stirnplatten für den Riegel und die Stütze werden mit den gleichen Abmessungen gewählt, daraus ergibt sich aber, daß bei verschiedenen Profilen für Riegel und Stütze die Werte a_1 , a_2 und u verschieden groß sind. Es werden daher getrennte Nachweise für die Riegelstirnplatte und die Stützenstirnplatte geführt.



Stirnplatte mit Schrauben Bild 3.3.2.1-3

Platte für Stirnplattenstoß:

Grenzwerte:

$$\min_{b_p} := \min(b_S, b_R) + 20\text{mm}$$

$$\min_{b_p} = 220.00\text{ mm}$$

$$b_p := 220\text{ mm}$$

$$\min_{h_p} := \frac{\min(h_S, h_R)}{\cos(\gamma)} + \min_e + 20\text{ mm}$$

$$\min_{h_p} = 715.02\text{ mm}$$

$$h_p := 750\text{ mm}$$

$$\min_{d_p} := 15\text{ mm}$$

$$d_p := 30\text{ mm}$$

Abstände für Riegelstirnplatte:

zum oberen Rand

$$e_1 := 30\text{ mm}$$

der beiden oberen Schraubenreihen

$$e_2 := 191\text{ mm}$$

der oberen Schrauben zum Riegelgurt

$$a_{1R} := 30\text{ mm}$$

der mittleren Schrauben zum Riegelgurt

$$a_{2R} := e_2 - a_{1R}$$

$$a_{2R} = 161.00\text{ mm}$$

Mindestmaß für a_{2R} , damit die Schraube eingeführt werden kann

$$\min_{a_{2R}} := \frac{100\text{ mm} + t_{Sg}}{\cos(\gamma)}$$

$$\min_{a_{2R}} = 160.57\text{ mm}$$



$$\text{Kontrolle}(a_{2R}) = \text{"a2 ist ausreichend"}$$

der beiden unteren Schraubenreihen

$$\max_{e_3} := \frac{\min(h_R, h_S)}{\cos(\gamma)} - a_{2R} - \min_e$$

$$\max_{e_3} = 423.28\text{ mm}$$

$$e_3 := 400\text{ mm}$$

$$\ddot{u}_R := h_p - (e_1 + a_{1R}) - \frac{h_R}{\cos(\gamma)}$$

$$\ddot{u}_R = 37.30\text{ mm}$$



$$\text{Kontrolle}(\ddot{u}_R) = \text{"Der Überstand ist ausreichend"}$$

Bestimmung des Wertes h_{p0} , von der Oberkante der Stirnplatte bis zur Schwereachse, für die spätere Bestimmung von a_{1S} . Die Werte a_{1S} und a_{2S} ergeben sich konstruktionsbedingt.

$$h_{p0} := \frac{\left(\frac{h_R}{\cos(\gamma)} \right)}{2} + e_1 + a_{1R}$$

$$h_{p0} = 386.35\text{ mm}$$

Abstände für Stützenstirnplatte:

Die Abstände e_1 , e_2 und e_3 sind bei beiden Platten gleich.

der oberen Schrauben zum Stützengurt

$$a_{1S} := h_{p0} - e_1 - \frac{\left(\frac{h_S}{\cos(\gamma)} \right)}{2}$$

$$a_{1S} = 36.53 \text{ mm}$$

der unteren Schrauben zum
oberen Rand vom Riegelgurt

$$a_{2S} := e_2 - a_{1S}$$

$$a_{2S} = 154.47 \text{ mm}$$

$$\ddot{u}_S := h_p - (e_1 + a_{1S}) - \frac{h_S}{\cos(\gamma)}$$

$$\ddot{u}_S = 43.82 \text{ mm}$$



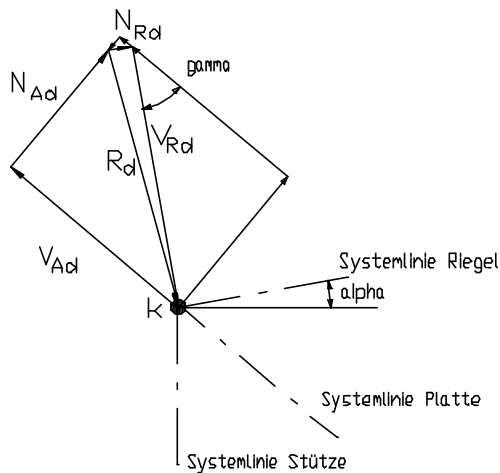
Kontrolle(\ddot{u}_S) = "Der Überstand ist ausreichend"

a) Ermitteln der Schnittkräfte an der Stirnplatte:

Schnittkräfte in der Stütze

Querkraft $V_{Sd} := N_{Rd} \cdot \cos(\alpha) + V_{Rd} \cdot \sin(\alpha)$ $V_{Sd} = 24.00 \text{ kN}$

Normalkraft $N_{Sd} := -V_{Rd} \cdot \cos(\alpha) + N_{Rd} \cdot \sin(\alpha)$ $N_{Sd} = -280.09 \text{ kN}$



Krafteck Bild 3.3.2.1-4

Ermittlung der Resultierenden aus Normal- und Querkraft

$$R_d := \sqrt{V_{Sd}^2 + N_{Sd}^2} \quad R_d = 281.11 \text{ kN}$$

Ermittlung der Schnittkräfte an der Stirnplatte

$$N_{Ad} := N_{Rd} \cdot \cos(\gamma) - V_{Rd} \cdot \sin(\gamma) \quad N_{Ad} = -199.13 \text{ kN}$$

$$V_{Ad} := N_{Rd} \cdot \sin(\gamma) + V_{Rd} \cdot \cos(\gamma) \quad V_{Ad} = 198.42 \text{ kN}$$

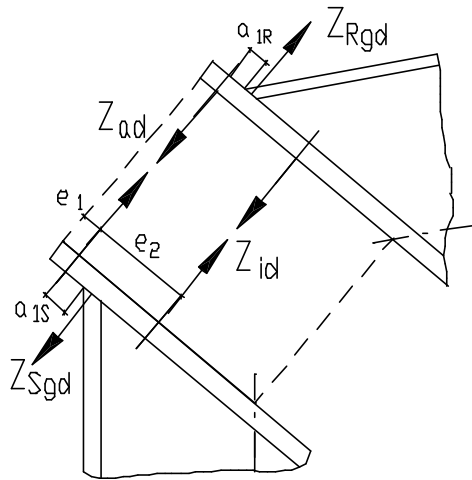
$$M_{Ad} := M_{Rd} \quad M_{Ad} = -500.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kontrolle $R_d := \sqrt{V_{Ad}^2 + N_{Ad}^2} \quad R_d = 281.11 \text{ kN}$

b) Nachweis der Schrauben:

Kräfte für den Nachweis einer Schraube:

Es werden vereinfachend den oberen Schrauben eine Zugkraft aus dem Moment M_{Ad} und der Normalkraft N_{Ad} zugewiesen und den unteren Schrauben die Querkraft V_{Ad} , d. h. eine Interaktion ist nicht erforderlich.



im Anschluß Bild 3.3.2.1-5

Obere Schraubenreihe auf Zug:

$$\text{Stütze : } Z_{Sgd} := \frac{|M_{Ad}|}{\left(\frac{h_S - t_{Sg}}{\cos(\gamma)} \right)} + \frac{N_{Ad}}{2} \quad Z_{Sgd} = 720.61 \text{ kN}$$

Da die inneren Schrauben einen größeren Abstand von der Schwereachse der Gurtung haben als die äußeren (das ist konstruktionsbedingt), werden die äußeren Schrauben dadurch höher beansprucht als die inneren. Die Kraft in den äußeren sei Z_{ad} und wird mit $\sum M_i = 0$ bestimmt.

$$Z_{aSd} := \frac{a_{2S}}{a_{1S} + a_{2S}} \cdot Z_{Sgd} \quad Z_{aSd} = 582.80 \text{ kN}$$

Riegel :

$$Z_{Rgd} := \frac{|M_{Ad}|}{\left(\frac{h_R - t_{Rg}}{\cos(\gamma)} \right)} + \frac{N_{Ad}}{2} \quad Z_{Rgd} = 691.80 \text{ kN}$$

$$Z_{aRd} := \frac{a_{2R}}{a_{1R} + a_{2R}} \cdot Z_{Rgd} \quad Z_{aRd} = 583.14 \text{ kN}$$

Untere Schraubenreihe auf Abscheren:

$$V_{ad} := V_{Ad} \quad V_{ad} = 198.42 \text{ kN}$$

$$\text{Querkraft auf eine Schraube} \quad V_{1ad} := \frac{V_{ad}}{n_z} \quad V_{1ad} = 99.21 \text{ kN}$$

Grenzabscherkraft:

$$A := S_A(\text{Schraubengröße, Schraubenart, Querschnittsfläche}) \quad A = 7.07 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_a := S_a(\text{Festigkeitsklasse, Querschnittsfläche}) \quad \alpha_a = 0.55$$

$$f_{ubk} := S_{f_{ubk}}(\text{Festigkeitsklasse})$$

$$f_{ubk} = 1000.00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_{aRd} := A \cdot \alpha_a \cdot \frac{f_{ubk}}{\gamma_M}$$

$$V_{aRd} = 353.50 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\text{Nachweis} \left(\frac{V_{1ad}}{V_{aRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt!"}$$

Grenzzugkraft:

$$A_{Sch} := S_A(\text{Schraubengröße, Schraubenart, "Asch"})$$

$$A_{Sch} = 7.07 \text{ cm}^2$$

$$f_{ybk} := S_{f_{ybk}}(\text{Festigkeitsklasse})$$

$$f_{ybk} = 900.00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{1Rd} := \frac{f_{ybk}}{1.1 \cdot \gamma_M}$$

$$\sigma_{1Rd} = 743.80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A_{Sp} := S_A(\text{Schraubengröße, Schraubenart, "Asp"})$$

$$A_{Sp} = 5.61 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{2Rd} := \frac{f_{ubk}}{1.25 \cdot \gamma_M}$$

$$\sigma_{2Rd} = 727.27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$N_{Rd} := \min(A_{Sch} \cdot \sigma_{1Rd}, A_{Sp} \cdot \sigma_{2Rd})$$

$$N_{Rd} = 408.00 \text{ kN}$$

Hinweis: Da das Stützen- und Riegelprofil nicht immer die gleiche Höhe (hS bzw. hR) haben müssen, ist für die weitere Berechnung die maximale Zugkraft anzusetzen.

$$Z_{1ad} := \frac{\max(Z_{aRd}, Z_{aSd})}{n_z}$$

$$Z_{1ad} = 291.57 \text{ kN}$$

Nachweis :

$$\text{Nachweis} \left(\frac{Z_{1ad}}{N_{Rd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt!"}$$

c) Bemessung der Schweißnähte

a) Riegel

Die Kräfte werden den Schweißnähten vereinfachend folgendermaßen zugewiesen

- a.) Moment und Normalkraft den Gurtschweißnähten
- b.) Querkraft den Stegchweißnähten

Grenzscheißnahtspannung $\alpha_W := 0.95$

$$\sigma_{WRd} := \alpha_W \cdot f_{yd} \quad \sigma_{WRd} = 207.27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Stegschweißnaht :

Aufzunehmende Kraft

$$F_d := V_{Ad}$$

$$F_d = 198.42 \text{ kN}$$

$$\min_t := \min(t_{Rs}, d_p)$$

$$\min_t = 10.20 \text{ mm}$$

$$\max_t := \max(t_{Rs}, d_p)$$

$$\max_t = 30.00 \text{ mm}$$

$$\min_{aW} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\max_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm})$$

$$\min_{aW} = 4.98 \text{ mm}$$

$$\max_{aW} := 0.7 \cdot \min_t$$

$$\max_{aW} = 7.14 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{aW} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot \left[\frac{h_R}{\cos(\gamma)} - [2 \cdot (r_R + t_{Rg})] \right]}$$

$$\text{erf}_{aW} = 0.83 \text{ mm}$$

empfohlene Schweißnaht

$a_{WRs} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$

$a_{WRs} = 5.00 \text{ mm}$

$A_{WRs} := 2 \cdot \left[\frac{h_R}{\cos(\gamma)} - [2 \cdot (r_R + t_{Rg})] \right] \cdot a_{WRs}$

$A_{WRs} = 5787.04 \text{ mm}^2$

Schweißnahtspannung :

$\sigma_{WRsd} := \frac{F_d}{A_{WRs}}$

$\sigma_{WRsd} = 34.29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweis :

$\text{Nachweis} \left(\frac{\sigma_{WRsd}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$

Gurtschweißnaht :

Aufzunehmende Kraft

$F_d := Z_{Rgd}$

$F_d = 691.80 \text{ kN}$

$\min_t := \min(t_{Rg}, d_p)$

$\min_t = 16.00 \text{ mm}$

$\max_t := \max(t_{Rg}, d_p)$

$\max_t = 30.00 \text{ mm}$

$\min_{aW} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\max_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm})$

$\min_{aW} = 4.98 \text{ mm}$

$\max_{aW} := 0.7 \cdot \min_t$

$\max_{aW} = 11.20 \text{ mm}$

$\text{erf}_{aW} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot [b_R + 2 \cdot t_{Rg} + (b_R - t_{Rs})]}$

$\text{erf}_{aW} = 7.91 \text{ mm}$

empfohlene Schweißnaht

$a_{WRg} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$

$a_{WRg} = 8.00 \text{ mm}$

$A_{WRg} := [b_R + 2 \cdot t_{Rg} + (b_R - t_{Rs})] \cdot a_{WRg}$

$A_{WRg} = 3374.40 \text{ mm}^2$

Schweißnahtspannung

$\sigma_{WRgd} := \frac{F_d}{A_{WRg}}$

$\sigma_{WRgd} = 205.01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweis :

$\text{Nachweis} \left(\frac{\sigma_{WRgd}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$

b) Stütze

Stegschweißnaht :

Aufzunehmende Kraft

$F_d := V_{Ad}$

$F_d = 198.42 \text{ kN}$

$\min_t := \min(t_{Ss}, d_p)$

$\min_t = 12.00 \text{ mm}$

$\max_t := \max(t_{Ss}, d_p)$

$\max_t = 30.00 \text{ mm}$

$\min_{aW} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\max_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm})$

$\min_{aW} = 4.98 \text{ mm}$

$\max_{aW} := 0.7 \cdot \min_t$

$\max_{aW} = 8.40 \text{ mm}$

$\text{erf}_{aW} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot \left[\frac{h_S}{\cos(\gamma)} - [2 \cdot (r_S + t_{Sg})] \right]}$

$\text{erf}_{aW} = 0.89 \text{ mm}$

empfohlene Schweißnaht

$a_{WSs} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$

$a_{WSs} = 5.00 \text{ mm}$

$$A_{WSs} := 2 \cdot \left[\left[\frac{h_s}{\cos(\gamma)} - [2 \cdot (r_s + t_{sg})] \right] \cdot a_{WSs} \right] \quad A_{WSs} = 5396.50 \text{ mm}^2$$

Schweißnahtspannung $\sigma_{WSsd} := \frac{F_d}{A_{WSs}} \quad \sigma_{WSsd} = 36.77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweis :

$$\text{Nachweis} \left(\frac{\sigma_{WSsd}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$$

Gurtschweißnaht :

Aufzunehmende Kraft $F_d := Z_{Sgd} \quad F_d = 720.61 \text{ kN}$

$\min_t := \min(t_{sg}, d_p) \quad \min_t = 23.00 \text{ mm}$

$\max_t := \max(t_{sg}, d_p) \quad \max_t = 30.00 \text{ mm}$

$\min_{aW} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\max_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm}) \quad \min_{aW} = 4.98 \text{ mm}$

$\max_{aW} := 0.7 \cdot \min_t \quad \max_{aW} = 16.10 \text{ mm}$

$\text{erf}_{aW} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot [b_s + 2 \cdot t_{sg} + (b_s - t_{ss})]} \quad \text{erf}_{aW} = 5.48 \text{ mm}$



empfohlene Schweißnaht $a_{WSg} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm} \quad a_{WSg} = 6.00 \text{ mm}$

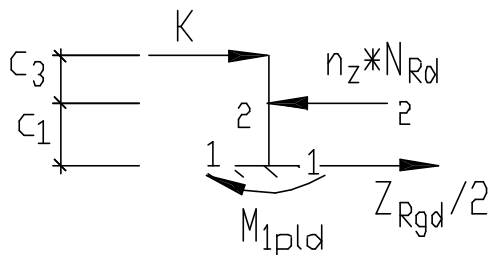
$A_{WSg} := [b_s + 2 \cdot t_{sg} + (b_s - t_{ss})] \cdot a_{WSg} \quad A_{WSg} = 3804.00 \text{ mm}^2$

Schweißnahtspannung $\sigma_{WSgd} := \frac{F_d}{A_{WSg}} \quad \sigma_{WSgd} = 189.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweis :

$$\text{Nachweis} \left(\frac{\sigma_{WSgd}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$$

d) Tragfähigkeit der Stirnplatte:



Vorwerte :

Statik beim Anschluß Bild 3.3.2.1-6

für Riegel und Stütze

$d_L := S_{dsch}(\text{Schraubengröße, "P"}) \quad d_L = 31.00 \text{ mm}$

$M_{1pld} := f_{yd} \cdot \frac{b_p \cdot d_p^2}{4} \quad M_{1pld} = 1080.00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$

$M_{2pld} := f_{yd} \cdot \frac{(b_p - n_z \cdot d_L) \cdot d_p^2}{4} \quad M_{2pld} = 775.64 \text{ kN} \cdot \text{cm}$

$d_{Sch} := S_d_{Sch}(\text{Schraubengröße, Schraubenart})$

a) Riegel

$$a_{1R} = 30.00 \text{ mm}$$

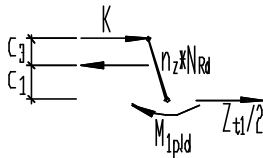
$$c_1 := a_{1R} - a_{WRg} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{(d_{Sch} + d_p)}{4} \quad c_1 = 11.23 \text{ mm}$$

$$c_3 := e_1 \quad c_3 = 30.00 \text{ mm}$$

Aus Symmetriegründen wird nur der obere Teil der Platte betrachtet.

Versagenszustand 1:

Plastizieren der Stirnplatte im Schnitt 1 und Schraubenversagen

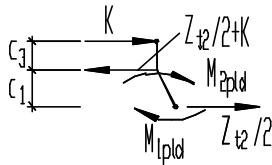


$$Z_{t1} := \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{1pld} + n_z \cdot N_{Rd} \cdot c_3)$$

$$Z_{t1} = 1711.43 \text{ kN}$$

Versagenszustand 2:

Plastizieren der Stirnplatte in Schnitt 1 und 2



$$Z_{t2} := \frac{2}{c_1} \cdot (M_{1pld} + M_{2pld})$$

$$Z_{t2} = 3305.15 \text{ kN}$$

Versagenszustand 3:

Schubversagen im Schnitt 1

$$\tau_{Rd} := \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$\text{mit } V_{pd} = \frac{Z_{Rgd}}{2}$$

$$V_{1pld} := b_p \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \quad \text{und} \quad V_{pd} \leq V_{pld}$$

$$Z_{t3} := 2 \cdot b_p \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \quad Z_{t3} = 1662.77 \text{ kN}$$

$$V_{2pld} := (b_p - n_z \cdot d_L) \cdot d_p \cdot \tau_{Rd}$$

Nachweis :

Iterative Berücksichtigung der M/N-Interaktion im maßgebenden Versagenszustand :

kleinste zulässige Zugkraft:

$$Z_t := \min(Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{t3})$$

$$Z_t = 1662.77 \text{ kN}$$

$Z_{Rd} :=$

$i \leftarrow 1$

$$M_{-1_1} \leftarrow 0 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{-1_0} \leftarrow M_{1pld}$$

$$V_{d_1} \leftarrow \frac{Z_t}{2}$$

$$\text{while } |M_{-1_i} - M_{-1_{i-1}}| \geq 1 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$i \leftarrow i + 1$$

$$M_{-1_i} \leftarrow M_{1pld} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{d_{i-1}}}{V_{1pld}} \right)^2}$$

$$M_{2i} \leftarrow M_{2pld} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{d_{i-1}}}{V_{2pld}} \right)^2}$$

$$Z_i \leftarrow \begin{cases} Z_i \leftarrow \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{1i} + n_z \cdot N_{Rd} \cdot c_3) & \text{if } Z_t = Z_{t1} \\ Z_i \leftarrow \frac{2}{c_1} \cdot (M_{1i} + M_{2i}) & \text{if } Z_t = Z_{t2} \\ Z_i \leftarrow 2 \cdot V_{1pld} & \text{if } Z_t = Z_{t3} \end{cases}$$

$$V_{d_i} \leftarrow \frac{Z_i}{2}$$

break if $i \geq 100$

Z_i

$$Z_{Rd} = 1662.77 \text{ kN}$$

Es wird nachgewiesen, daß die Kraft im Zuggurt kleiner ist als die zulässige Kraft in der Stirnplatte aufgrund des maßgebenden Versagenszustandes.

$$\text{Nachweis} \left(\frac{Z_{Rgd}}{Z_{Rd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$$

b) Stütze

$$a_{1S} = 36.53 \text{ mm}$$

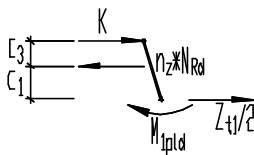
$$c_1 := a_{1S} - a_{WSg} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{(d_{Sch} + d_p)}{4} \quad c_1 = 18.70 \text{ mm}$$

$$c_3 := e_1 \quad c_3 = 30.00 \text{ mm}$$

Aus Symmetriegründen wird nur der obere Teil der Platte betrachtet.

Versagenszustand 1:

Plastizieren der Stirnplatte im Schnitt 1 und Schraubenversagen

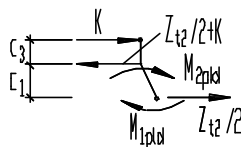


$$Z_{t1} := \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{1pld} + n_z \cdot N_{Rd} \cdot c_3)$$

$$Z_{t1} = 1448.91 \text{ kN}$$

Versagenszustand 2:

Plastizieren der Stirnplatte in Schnitt 1 und 2



$$Z_{t2} := \frac{2}{c_1} \cdot (M_{1pld} + M_{2pld})$$

$$Z_{t2} = 1984.79 \text{ kN}$$

Versagenszustand 3:

Schubversagen im Schnitt 1

$$\tau_{Rd} := \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$\text{mit } V_{pd} = \frac{Z_{Sgd}}{2} \quad V_{1pld} := b_p \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \quad \text{und} \quad V_{pd} \leq V_{pld}$$

$$Z_{t3} := 2 \cdot b_p \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \quad Z_{t3} = 1662.77 \text{ kN}$$

$$V_{2pld} := (b_p - n_z \cdot d_L) \cdot d_p \cdot \tau_{Rd}$$

Nachweis : Iterative Berücksichtigung der M/N-Interaktion im maßgebenden Versagenszustand :

$$\text{kleinste zulässige Zugkraft: } Z_t := \min(Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{t3}) \quad Z_t = 1448.91 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Z_{Rd} := & \left| \begin{array}{l} i \leftarrow 1 \\ M_{-1_1} \leftarrow 0 \text{ kN} \cdot \text{cm} \\ M_{-1_0} \leftarrow M_{1pld} \\ V_{d_1} \leftarrow \frac{Z_t}{2} \\ \text{while } |M_{-1_i} - M_{-1_{i-1}}| \geq 1 \text{ kN} \cdot \text{cm} \\ \quad \left| \begin{array}{l} i \leftarrow i + 1 \\ M_{-1_i} \leftarrow M_{1pld} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{d_{i-1}}}{V_{1pld}} \right)^2} \\ M_{-2_i} \leftarrow M_{2pld} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{d_{i-1}}}{V_{2pld}} \right)^2} \\ Z_i \leftarrow \begin{cases} Z_i \leftarrow \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{-1_i} + n_z \cdot N_{Rd} \cdot c_3) & \text{if } Z_t = Z_{t1} \\ Z_i \leftarrow \frac{2}{c_1} \cdot (M_{-1_i} + M_{-2_i}) & \text{if } Z_t = Z_{t2} \\ Z_i \leftarrow 2 \cdot V_{1pld} & \text{if } Z_t = Z_{t3} \end{cases} \\ V_{d_i} \leftarrow \frac{Z_i}{2} \end{array} \right. \\ \text{break if } i \geq 100 \\ Z_i \end{array} \right. \end{aligned}$$

$$Z_{Rd} = 1286.33 \text{ kN}$$

Es wird nachgewiesen, daß die Kraft im Zuggurt kleiner ist als die zulässige Kraft in der Stirnplatte aufgrund des maßgebenden Versagenszustandes.

$$\text{Nachweis} \left(\frac{Z_{Sgd}}{Z_{Rd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !!"}$$

$\text{kN} \equiv 1000 \cdot \text{N}$
 $\text{MN} \equiv 1000 \cdot \text{kN}$

- ☐ Übersicht:C:_CD-ROM Mathcad\Arbeitsblaetter\MIT\TV_3_51_Charakteristische_Werte.mcd(R)
- ☐ Übersicht:C:_CD-ROM Mathcad\Arbeitsblaetter\MIT\TV_3_52_Nachweis.mcd(R)
- ☐ Übersicht:C:_CD-ROM Mathcad\Arbeitsblaetter\MIT\TV_3_53_Schrauben.mcd(R)