

3.3.2.2 Trägerstoß

Erläuterung:

Der Stoß zweier Träger wird hier als Gehrungsstoß ausgeführt. Für die derzeit vorliegende Version der biegesteifen Rahmenecken mit Gärung ist bei der Wahl der Profile nur zulässig, daß der Riegel rechts und links aus dem gleichen Profil ist und auch die Dachneigung gleich ist. Die einzelnen Bauteile werden in der Werkstatt vorgefertigt und dann auf der Baustelle zusammengeschraubt. Die Verbindung erfolgt über einen Stirnplattenstoß mit nicht vorgespannten Schrauben.

Aufgabenstellung:

Es werden aus einer statischen Berechnung die Schnittkräfte $N_{Rd} = -25 \text{ kN}$, $V_{Rd} = 2 \text{ kN}$ und $M_{Rd} = 300 \text{ kNm}$ entnommen.

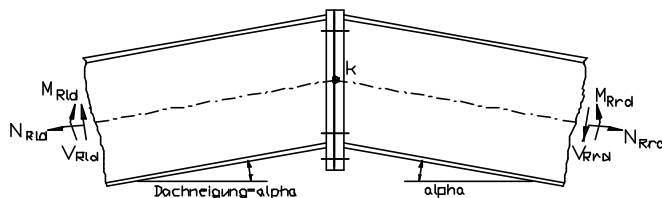
Die Riegelprofile sollen doppelsymmetrische Walzprofile IPE500, beide aus ST 37-2, sein. Die Dachneigung soll $\alpha = 10^\circ$ betragen.

Für die Befestigung an der Stirnplatte werden 4 Schraubenreihen mit nicht vorgespannten hochfesten Rohenschrauben gewählt. Die Schrauben sollen einen Durchmesser von M20, 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 $h_p = 620 \text{ mm}$ und eine Dicke $d_p = 30 \text{ mm}$. Die Abstände der Schrauben auf der Stirnplatte betragen zum unteren Rand $e_1 = 30 \text{ mm}$ und der beiden unteren Schraubenreihen $e_2 = 130 \text{ mm}$. Der Abstand von der obersten Schraubenreihe zu der mittleren $e_3 = 360 \text{ mm}$.

Schnittkräfte im Riegel:

Normalkraft	$N_{Rd} := -25 \text{ kN}$
Querkraft	$V_{Rd} := 2 \text{ kN}$
Moment	$M_{Rd} := 300 \text{ kN} \cdot \text{m}$



Ansicht Bild 3.3.2.2-1

Dachneigung	$\alpha := 10 \text{ Grad}$
-------------	-----------------------------

Profil für Riegel wählen:

Material für Riegel:	Stahl := "St37-2"
$b := 200 \text{ mm}$	$r := 21 \text{ mm}$
$h := 500 \text{ mm}$	$t_g := 16 \text{ mm}$
$t_s := 10.2 \text{ mm}$	

maximale Blechstärke	$t := \max(t_s, t_g)$	$t = 16.00 \text{ mm}$
----------------------	-----------------------	------------------------

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

Materialsicherheitsbeiwert

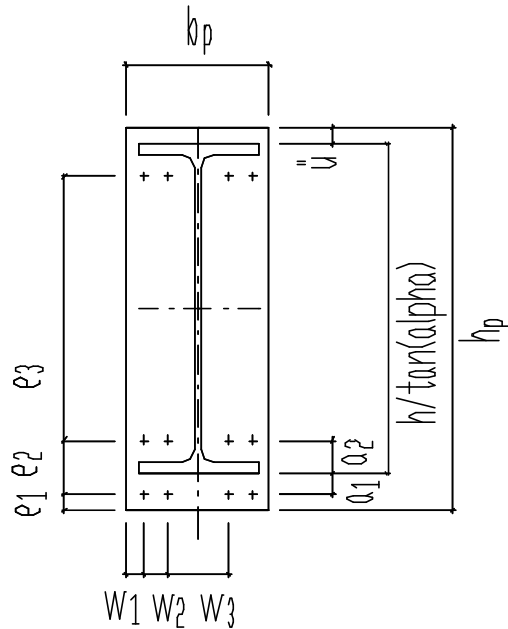
$\gamma_M := 1.1$

Bemessungswert
der Streckgrenze

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

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

Stirnplatten:



Stirnplatte mit Schrauben Bild 3.3.2.2-2

Schrauben wählen:

Anzahl Schrauben in einer Reihe

$$n_z := 4$$

Größe

$$\text{Schraubengröße} := \text{"M20"}$$

Festigkeit

$$\text{Festigkeitsklasse} := \text{"10.9"}$$

Art (R, HR, P, HP)

$$\text{Schraubenart} := \text{"HR"}$$

Welcher Teil der Schraube in der
Scherfuge liegt

$$\text{Querschnittsfläche} := \text{"Äsch"}$$

Eckenmaß

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

Platte für Stirnplattenstoß:

Grenzwerte:

$$\min_{b_p} := b + 20 \text{ mm}$$

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

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

$$\min_{h_p} := \frac{h}{\cos(\alpha)} + \min_e + 20 \text{ mm}$$

$$\min_{h_p} = 562.74 \text{ mm}$$

$$h_p := 620 \text{ mm}$$

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

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

Abstände für die Stirnplatte wählen:

zum unteren Rand

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

der beiden unteren Schraubenreihen

$$e_2 := 130\text{mm}$$

untere Schrauben zum Riegelgurt

$$a_1 := \frac{e_2 - t_g}{2}$$

$$a_1 = 57.00\text{mm}$$

Abstand der mittleren Schrauben
zum unteren Riegelgurt

$$a_2 := e_2 - a_1$$

$$a_2 = 73.00\text{mm}$$

der beiden oberen Schraubenreihen

$$\max_{e_3} := \frac{h}{\cos(\alpha)} - a_2 - \min_e$$

$$\max_{e_3} = 399.68\text{mm}$$

$$e_3 := 360\text{mm}$$

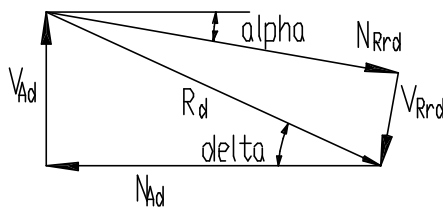
$$\ddot{u} := h_p - (e_1 + a_1) - \frac{h}{\cos(\alpha)}$$

$$\ddot{u} = 25.29\text{mm}$$



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

a) Ermitteln der Schnittkräfte an der Stirnplatte:



Krafteck Bild 3.3.2.2-3

$$\delta := \text{atan}\left(\left|\frac{V_{Rrd}}{N_{Rrd}}\right|\right) + \alpha \quad \delta = 14.57 \text{ Grad}$$

Ermittlung der Resultierenden aus Normal- und Querkraft

$$R_d := \sqrt{V_{Rrd}^2 + N_{Rrd}^2} \quad R_d = 25.08 \text{ kN}$$

Ermittlung der Schnittkräfte an der Stirnplatte

$$N_{Ad} := N_{Rrd} \cdot \cos(\alpha) - V_{Rrd} \cdot \sin(\alpha) \quad N_{Ad} = -24.97 \text{ kN}$$

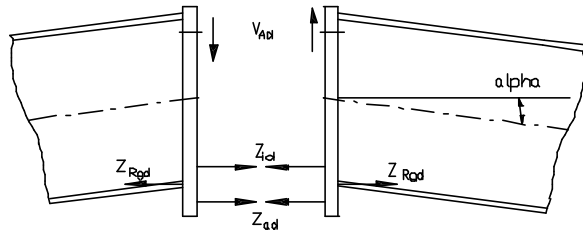
$$V_{Ad} := N_{Rrd} \cdot \sin(\alpha) + V_{Rrd} \cdot \cos(\alpha) \quad V_{Ad} = -2.37 \text{ kN}$$

$$M_{Ad} := M_{Rd} \quad M_{Ad} = 300.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

b) Nachweis der Schrauben:

Kräfte für den Nachweis einer Schraube:

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



Detail beim Anschluß Bild 3.3.2.2-4

Untere Schraubenreihe auf Zug:

Da die inneren Schrauben einen größeren Abstand von der Schwerachse der Gurte haben als die äußeren (das ist konstruktionsbedingt), werden die äußeren Schrauben höher beansprucht als die inneren. Die Kraft in den äußeren sei Z_a und wird mit $\sum M_i = 0$ bestimmt.

$$Z_{Rgd} := \frac{|M_{Ad}|}{\left(\frac{h - t_g}{\cos(\alpha)} \right)} + \frac{N_{Ad}}{2} \quad Z_{Rgd} = 597.93 \text{ kN}$$

$$Z_{aRd} := \frac{a_2}{a_1 + a_2} \cdot Z_{Rgd} \quad Z_{aRd} = 335.76 \text{ kN}$$

Untere Schraubenreihe auf Abscheren:

$$V_{ad} := |V_{Ad}| \quad V_{ad} = 2.37 \text{ kN}$$

$$\text{Querkraft auf eine Schraube} \quad V_{1ad} := \frac{V_{ad}}{n_z} \quad V_{1ad} = 0.59 \text{ kN}$$

Grenzabscherkraft:

$$A := S_A(\text{Schraubengröße, Schraubenart, Querschnittsfläche}) \quad A = 3.14 \text{ cm}^2$$

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

$$f_{ubk} := S_f(\text{Festigkeitsklasse}) \quad f_{ubk} = 1000.00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_{aRd} := A \cdot \alpha_a \cdot \frac{f_{ubk}}{\gamma_M} \quad V_{aRd} = 157.00 \text{ kN}$$

Nachweis

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

Grenzzugkraft:

$$A_{sch} := S_A(\text{Schraubengröße, Schraubenart, "Asch"}) \quad A_{sch} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$f_{ybk} := S_f(\text{Festigkeitsklasse}) \quad f_{ybk} = 900.00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{1Rd} := \frac{f_{ybk}}{1.1 \cdot \gamma_M} \quad \sigma_{1Rd} = 743.80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A_{sp} := S_A(\text{Schraubengröße, Schraubenart, "Asp"}) \quad A_{sp} = 2.45 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{2Rd} := \frac{f_{ubk}}{1.25 \cdot \gamma_M} \quad \sigma_{2Rd} = 727.27 \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{Rd} := \min(A_{Sch} \cdot \sigma_{1Rd}, A_{Sp} \cdot \sigma_{2Rd}) \quad N_{Rd} = 178.18 \text{ kN}$$

Zug auf eine Schraube

$$Z_{1ad} := \frac{Z_{aRd}}{n_z} \quad Z_{1ad} = 83.94 \text{ kN}$$

Nachweis

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

c) Bemessung der Schweißnähte

Die Kräfte werden den Schweißnähten vereinfachend folgendermaßen zugewiesen

a.) Moment und Normalkraft den Gurtschweißnähten

b.) Querkraft den Stegschweißnähten

Grenzschweißnahtspannung $\alpha_W := 0.95$

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

Stegschweißnaht:

$$\text{Aufzunehmende Kraft} \quad F_d := |V_{Ad}| \quad F_d = 2.37 \text{ kN}$$

$$\min_t := \min(t_s, d_p) \quad \min_t = 10.20 \text{ mm}$$

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

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

$$\max_{a_W} := 0.7 \cdot \min_t \quad \max_{a_W} = 7.14 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_W} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot \left[\frac{h}{\cos(\alpha)} - [2 \cdot (r + t_g)] \right]} \quad \text{erf}_{a_W} = 0.01 \text{ mm}$$



$$\text{empfohlene Schweißnaht} \quad a_{Ws} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm} \quad a_{Ws} = 5.00 \text{ mm}$$

$$A_{Ws} := 2 \cdot \left[\frac{h}{\cos(\alpha)} - [2 \cdot (r + t_g)] \right] \cdot a_{Ws} \quad A_{Ws} = 4337.13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Schweißnahtspannung} \quad \sigma_{Wsd} := \frac{F_d}{A_{Ws}} \quad \sigma_{Wsd} = 0.55 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

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

Gurtschweißnaht :

$$\text{Aufzunehmende Kraft} \quad F_d := Z_{Rgd} \quad F_d = 597.93 \text{ kN}$$

$$\min_t := \min(t_s, d_p) \quad \min_t = 10.20 \text{ mm}$$

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

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

$$\max_{a_W} := 0.7 \cdot \min_t \quad \max_{a_W} = 7.14 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_W} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot [b + 2 \cdot t_g + (b - t_s)]} \quad \text{erf}_{a_W} = 6.84 \text{ mm}$$



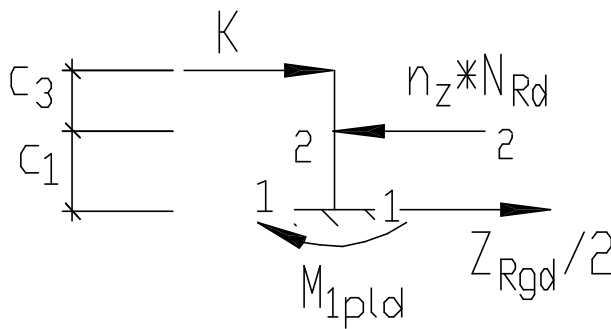
empfohlene Schweißnaht $a_{Wg} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm} \quad a_{Wg} = 7.00 \text{ mm}$

$$A_{Wg} := [b + 2 \cdot t_g + (b - t_s)] \cdot a_{Wg} \quad A_{Wg} = 2952.60 \text{ mm}^2$$

Schweißnahtspannung $\sigma_{Wgd} := \frac{F_d}{A_{Wg}} \quad \sigma_{Wgd} = 202.51 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

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

d) Tragfähigkeit der Stirnplatte:



Statik beim Anschluß Bild 3.3.2.2-5

Vorwerte :

$$d_L := S_{dSch}(\text{Schraubengröße, "P"}) \quad d_L = 21.00 \text{ mm}$$

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

$$M_{2pld} := f_{yd} \cdot \frac{(b_p - n_z \cdot d_L) \cdot d_p^2}{4} \quad M_{2pld} = 667.64 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$d_{Sch} := S_{dSch}(\text{Schraubengröße, Schraubenart}) \quad d_{Sch} = 20.00 \text{ mm}$$

$$a_1 = 57.00 \text{ mm}$$

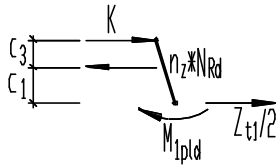
$$c_1 := a_1 - a_{Wg} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{(d_{Sch} + d_p)}{4} \quad c_1 = 41.20 \text{ mm}$$

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

Aus Symmetriegründen wird nur der obere Teil der Platte betrachtet.

Versagenszustand 1:

Plastizieren der Stirnplatte im Schnitt 1 und
Schraubenversagen

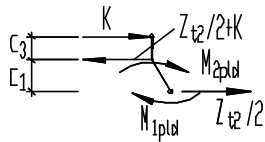


$$Z_{t1} := \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{1pld} + n_Z \cdot N_{Rd} \cdot c_3)$$

$$Z_{t1} = 903.98 \text{ kN}$$

Versagenszustand 2:

Plastizieren der Stirnplatte in Schnitt 1 und 2



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

$$Z_{t2} = 848.36 \text{ kN}$$

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

Versagenszustand 3:

Schubversagen im Schnitt 1

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

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

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

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

Nachweis :

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

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

$$\begin{aligned} Z_{Rd} &:= i \leftarrow 1 && .36 \text{ kN} \\ M_{-1_1} &\leftarrow 0 \text{ kN} \cdot \text{cm} \\ M_{-1_0} &\leftarrow M_{1pld} \\ V_{d_1} &\leftarrow \frac{Z_t}{2} \\ \text{while } |M_{-1_i} - M_{-1_{i-1}}| &\geq 1 \text{ kN} \cdot \text{cm} \\ &| i \leftarrow i + 1 \\ &M_{-1_i} \leftarrow M_{1pld} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{d_{i-1}}}{V_{1pld}} \right)^2} \\ &M_{-2_i} \leftarrow M_{2pld} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{d_{i-1}}}{V_{2pld}} \right)^2} \\ &Z_i \leftarrow \begin{cases} Z_i \leftarrow \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{-1_i} + n_Z \cdot N_{Rd} \cdot c_3) & \text{if } Z_t = Z_{t1} \\ Z_i \leftarrow \frac{2}{c_1} \cdot (M_{-1_i} + M_{-2_i}) & \text{if } Z_t = Z_{t2} \\ Z_i \leftarrow 2 \cdot V_{1pld} & \text{if } Z_t = Z_{t3} \end{cases} \\ &V_{d_i} \leftarrow \frac{Z_i}{2} \\ \text{break if } i &\geq 100 \\ Z_i \end{aligned}$$

$$Z_{Rd} = 709.17 \text{ kN}$$

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

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

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

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

- [➔ Übersicht:C:_CD-ROM Mathcad\1_Arbeitsblaetter\MIT\TV_3_51_Charakteristische_Werte.mcd\(R\)](#)
- [➔ Übersicht:C:_CD-ROM Mathcad\1_Arbeitsblaetter\MIT\TV_3_52_Nachweis.mcd\(R\)](#)
- [➔ Übersicht:C:_CD-ROM Mathcad\1_Arbeitsblaetter\MIT\TV_3_53_Schrauben.mcd\(R\)](#)