

### 3.3.1.2 Rahmenecke mit Voute

#### Erläuterung:

Die hier vorliegende Version befaßt sich mit Rahmenkonstruktionen, bei denen in der Werkstatt einzelne Bauteile vorgefertigt werden und dann auf der Baustelle zusammengeschraubt. Die Verbindung erfolgt über einen Stirnplattenstoß mit nicht vorgespannten Schrauben. In der Rahmenecke wird eine Voute angeordnet, so daß größere Eckmomente übertragen werden können, ohne daß das Schubfeld in der Stütze zu beulen beginnt. Zur Unterstützung der Stützengurte und der Knickstelle im Rahmenriegel werden Steifen angeschweißt.  
Die vorgeschlagenen Schweißnähte sind zu überprüfen.

#### Aufgabenstellung:

Es werden aus einer statischen Berechnung die Schnittkräfte  $N_{kd} = 280 \text{ kN}$ ,  $V_{kd} = -25 \text{ kN}$  und  $M_{kd} = -595 \text{ kNm}$  entnommen.

Das Stützenprofil soll ein doppelsymmetrisches Walzprofil HEA500 und das Riegelprofil soll ein doppelsymmetrisches Walzprofil IPE600, beide aus ST 37-2, sein. Die Voute hat eine Länge  $l_v = 750 \text{ mm}$  und eine Höhe  $h_v = 480 \text{ mm}$ .

Für die Befestigung an der Stirnplatte werden 2 Schraubenreihen mit nicht vorgespannten hochfesten Roherschrauben 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  $b_p = 260 \text{ mm}$ , Höhe  $h_p = 1100 \text{ mm}$  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 alle anderen untereinander  $e_2 = 100 \text{ mm}$ .

Die Steifen in der Stütze werden als Vollsteifen ausgeführt und haben außer den konstruktiv abhängigen Werten, den Kontaktbereich an der schmalen Seite  $s_1 = 83 \text{ mm}$ . Die Steifen im Riegel werden als Halbsteifen genau in den Knick geschweißt und haben die Werte  $s_1 = 70 \text{ mm}$  und  $s_2 = 100 \text{ mm}$ .

#### **Schnittkräfte:**

Schnittgrößen im Systempunkt k, dem Schnittpunkt der Mittellinie der Stütze und des Riegels in Designgröße. Riegelschnittkräfte eingeben:

Querkraft	$V_{kd} := 280 \text{ kN}$
Normalkraft	$N_{kd} := -25 \text{ kN}$
Moment	$M_{kd} := -595 \text{ kN} \cdot \text{m}$

#### **Profile und Schrauben:**

Profil für Stütze wählen:	HEA 500
Material für Stütze:	Stahl := "St37-2"
$b := 300 \text{ mm}$	$r := 27 \text{ mm}$
$h := 490 \text{ mm}$	$t_g := 23 \text{ mm}$
$t_s := 12 \text{ mm}$	



$$h_s := h \quad b_s := b \quad t_{ss} := t_s \quad t_{sg} := t_g \quad r_s := r$$



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

Streckgrenze

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

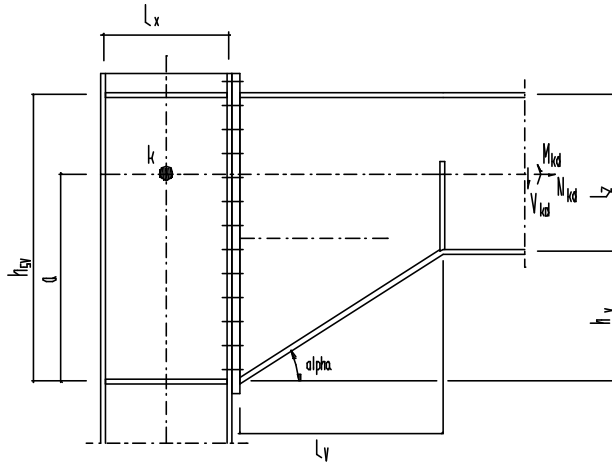
Materialsicherheitsbeiwert

$$\gamma_M := 1.1$$

Bemessungswert  
der Streckgrenze

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

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



Ansicht Bild 3.3.1.2-1

Profil für Riegel wählen:

IPE 600

Material für Riegel:

Stahl := "St37-2"

$$b := 220 \cdot \text{mm}$$

$$r := 24 \cdot \text{mm}$$

$$h := 600 \cdot \text{mm}$$

$$t_g := 19 \cdot \text{mm}$$

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



$$h_R := h \quad b_R := b \quad t_{Rs} := t_s \quad t_{Rg} := t_g \quad r_R := r$$



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

$$t = 19.00 \text{ mm}$$

Streckgrenze

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

Materialsicherheitsbeiwert

$$\gamma_M := 1.1$$

Bemessungswert  
der Streckgrenze

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

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

#### Angaben zur Voute:

Erhöhung durch die Voute  $h_V := 480 \text{ mm}$

Länge der Voute  $l_V := 750 \text{ mm}$

Winkel  $\alpha := \text{atan}\left(\frac{h_V}{l_V}\right)$   $\alpha = 32.62 \text{ Grad}$

Höhe der Gesamtroute  $h_{SV} := h_R - t_{Rg} + h_V$   $h_{SV} = 1061.00 \text{ mm}$

#### Schrauben und Verbindungsart wählen:

Anzahl Schrauben in einer Reihe  $n_z := 2$

Größe Schraubengröße := "M20"

Festigkeit Festigkeitsklasse := "10.9"

Art (R, HR, P, HP) Schraubenart := "HR"

Teil der Schraube in der Scherfuge Querschnittsfläche := "Asch"

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

$\min_e = 35.03 \text{ mm}$

#### Platte wählen für den Stirnplattenstoß:

Grenzwerte:

$\max_{bp} := b_S$   $\max_{bp} = 300.00 \text{ mm}$   $b_p := 260 \text{ mm}$

$\min_{hp} := h_{SV} + \min_e$   $\min_{hp} = 1096.03 \text{ mm}$   $h_p := 1100 \text{ mm}$

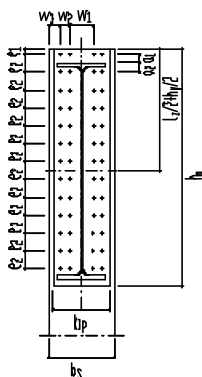
$d_p := 30 \text{ mm}$

#### Abstände wählen:

zum oberen Rand  $e_1 := 30 \text{ mm}$

aller Schraubenreihen  $e_2 := 100 \text{ mm}$

$a_1 := \frac{e_2 - t_{Rg}}{2}$   $a_1 = 40.50 \text{ mm}$



Stirplatte mit Schrauben Bild 3.3.1.2-1

Die Höhe, über die die Schraubenreihen (mit dem Abstand  $e_2$ ) gleichmäßig verteilt werden sollen, minus einem Abstand für den oberen und unteren Rand.

$$\max\_z := h_{SV} + a_1 + \frac{t_{Rg}}{2} - \min\_e \quad \max\_z = 1075.97 \text{ mm}$$

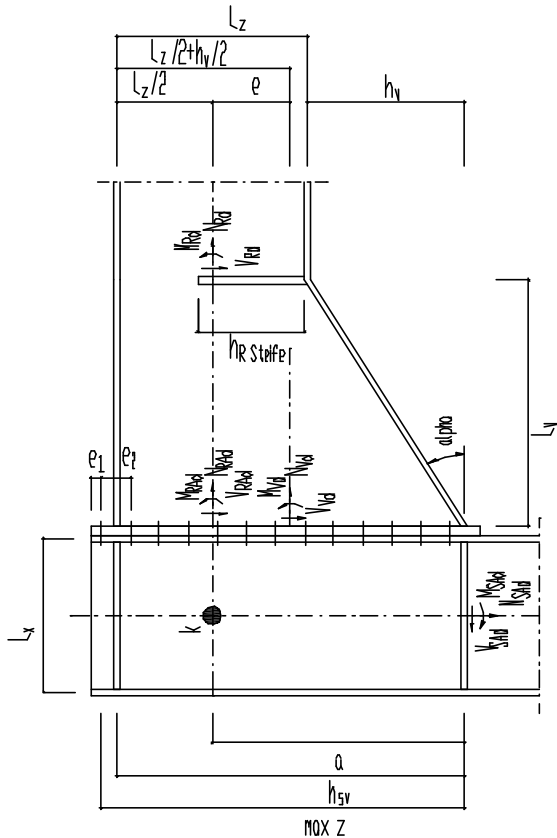
Anzahl der Schraubenreihen

$$n_y := \text{floor}\left(\frac{\max\_z}{e_2}\right) \quad n_y = 10.00$$

Die Übertragung der Kräfte in der Biegesteifenecke wird wie folgt aufgeteilt:

- Das Moment wird in ein Kräftepaar zerlegt und die Normalkraft unter Berücksichtigung der Vorzeichen je zur Hälfte addiert. Die Druckkraft wird durch Kontaktwirkung im Bereich der unteren Steife der Stütze und die Zugkraft durch die Schrauben in der oberen Hälfte des Anschlusses aufgenommen.
- Die Querkraft wird den restlichen Schrauben im unteren Teil des Anschlusses zugewiesen. (siehe [4] Seite 631)

**a) Umrechnen der Schnittkräfte auf die Anschnittkräfte der Rahmenecke (ohne Berücksichtigung der Voute):**



Ansicht mit Schnittkräften und Vermaßung Bild 3.3.1.2-3

Hebelarme am Detail k:  $l_x := h_S - t_{Sg} \quad l_x = 467.00 \text{ mm}$

$$a := \frac{h_R - t_{Rg}}{2} + h_V \quad a = 770.50 \text{ mm}$$

Riegelanschnittkräfte:  $N_{RAd} := N_{kd} \quad N_{RAd} = -25.00 \text{ kN}$

$$V_{RAd} := V_{kd} \quad V_{RAd} = 280.00 \text{ kN}$$

$$M_{RAd} := M_{kd} + V_{RAd} \cdot \frac{l_x}{2} \quad M_{RAd} = -529.62 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Stützenanschnittkräfte:  $N_{SAd} := -V_{kd} \quad N_{SAd} = -280.00 \text{ kN}$

$$V_{SAd} := N_{kd} \quad V_{SAd} = -25.00 \text{ kN}$$

$$M_{SAd} := M_{kd} - V_{SAd} \cdot a \quad M_{SAd} = -575.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**b) Ermittlung der Schnittkräfte für die Berechnung der Voute:**

Abstand der Schwerlinien  $e := \frac{h_V}{2} \quad e = 240.00 \text{ mm}$

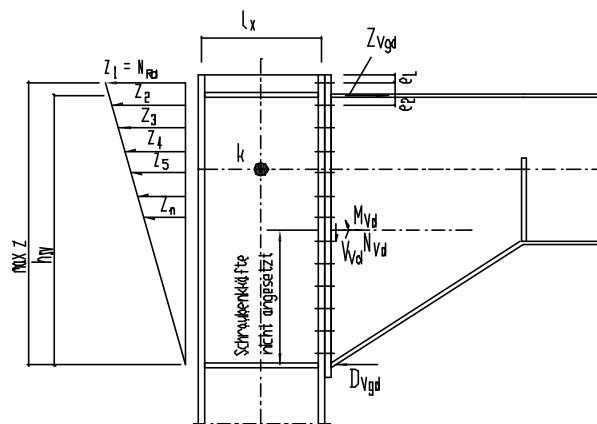
Schnittkräfte im Schwerpunkt der Voute:

$$N_{Vd} := N_{RAd} \quad N_{Vd} = -25.00 \text{ kN}$$

$$V_{Vd} := V_{RAd} \quad V_{Vd} = 280.00 \text{ kN}$$

$$M_{Vd} := M_{RAd} - N_{RAd} \cdot e \quad M_{Vd} = -523.62 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**c) Nachweis der Schrauben:**



Ansicht mit Schraubenkräften Bild 3.3.1.2-4

**Querkraft**

Anzahl der Schrauben, die für das Abtragen der Querkraft  $V_{ad}$  herangezogen werden

Schraubenreihen für die Querkraft:  $n_U := \text{floor} \left( \frac{n_y}{2} \right) \quad n_U = 5.00$

Gesamtanzahl der Schrauben:  $n_V := n_U \cdot n_z \quad n_V = 10.00$

Querkraft gesamt:  $V_{ad} := |V_{Vd}| \quad V_{ad} = 280.00 \text{ kN}$

$$\text{Querkraft auf eine Schraube} \quad V_{1ad} := \frac{V_{ad}}{n_V} \quad V_{1ad} = 28.00 \text{ kN}$$

#### 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

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

#### Zugkraft in den Schrauben

Mit der Grenzzugkraft in der obersten Schraube und proportional zu den Abständen abnehmenden Zugkräfte in den Schrauben wird eine Summe der Zugkräfte ermittelt und mit der Zugkraft aus dem Moment und der Normalkraft in der Voute verglichen.

#### Grenzzugkraft

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

$$f_{yb} := S\_f(\text{Festigkeitsklasse}) \quad f_{yb} = 900.00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

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

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

Die zulässige Zugkraft einer Schraube beträgt

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

Die zulässige Zugkraft in der obersten Schraubenreihe beträgt

$$N_{Rd} := n_z \cdot N_{1Rd} \quad N_{Rd} = 356.36 \text{ kN}$$

Anzahl der oberen Schraubenreihen zur Aufnahme der Zugkräfte aus  $M_{Vd}$  und  $N_{Vd}$

$$n := n_y - n_u \quad n = 5.00$$

$$\Sigma N_{Rd}(n) := \begin{cases} Z \leftarrow N_{Rd} \\ \text{for } i \in 1..n \\ Z \leftarrow Z + N_{Rd} \cdot \frac{\max_z - (i \cdot e_2)}{\max_z} \end{cases}$$

$$\Sigma N_{Rd}(n) = 1641.38 \text{ kN}$$

$$Z_{Vgd} := \frac{|M_{Vd}|}{h_V} + \frac{N_{Vd}}{2} \quad Z_{Vgd} = 1078.38 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis}(Z_{Vgd}, \Sigma N_{Rd}(n)) = \text{"Nachweis erfüllt!"}$$

### c) Bemessung der Schweißnähte zwischen Riegel und Stirnplatte

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  $F_d := V_{Vd} \quad F_d = 280.00 \text{ kN}$

$$\min_{a_W} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{t_{Rs} \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm}) \quad \min_{a_W} = 2.96 \text{ mm}$$

$$\max_{a_W} := 0.7 \cdot t_{Rs} \quad \max_{a_W} = 8.40 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_W} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot [h_V - (2 \cdot r_R + t_{Rg})]} \quad \text{erf}_{a_W} = 1.64 \text{ mm}$$

$$a_W := \begin{cases} \text{erf}_{a_W} & \text{if } \text{erf}_{a_W} \leq \max_{a_W} \\ \min_{a_W} & \text{if } \text{erf}_{a_W} < \min_{a_W} \\ \text{"erf}_{a_W} \text{ ist zu groß"} & \text{if } \text{erf}_{a_W} > \max_{a_W} \end{cases}$$

$$a := \frac{a_W}{\text{mm}}$$

empfohlene Schweißnaht:  $a_{Ws} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm} \quad a_{Ws} = 3.00 \text{ mm}$

$$A_{Ws} := 2 \cdot [h_V - (2 \cdot r_R + t_{Rg})] \cdot a_{Ws} \quad A_{Ws} = 2478.00 \text{ mm}^2$$

$$\text{Schweißnahtspannung} \quad \sigma_{Wsd} := \frac{F_d}{A_{Ws}} \quad \sigma_{Wsd} = 112.99 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

**Gurtschweißnaht :**

Aufzunehmende Kraft  $F_d := Z_{Vgd} \quad F_d = 1078.38 \text{ kN}$

$$\min_{a_W} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{t_{Rg} \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm}) \quad \min_{a_W} = 3.86 \text{ mm}$$

$$\max_{a_W} := 0.7 \cdot t_{Rg} \quad \max_{a_W} = 13.30 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_W} := \frac{F_d}{\sigma_{WRd} \cdot [b_R + 2 \cdot t_{Rg} + (b_R - t_{Rs})]} \quad \text{erf}_{a_W} = 11.16 \text{ mm}$$

$$a_W := \begin{cases} \text{erf\_}a_W & \text{if } \text{erf\_}a_W \leq \max\_a_W \\ \min\_a_W & \text{if } \text{erf\_}a_W < \min\_a_W \\ \text{"erf\_}a_W \text{ ist zu groß"} & \text{if } \text{erf\_}a_W > \max\_a_W \end{cases}$$

$$a := \frac{a_W}{\text{mm}}$$

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

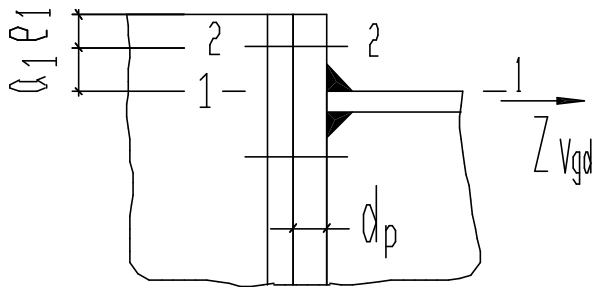
$a_{Wg} = 12.00 \text{ mm}$

$$A_{Wg} := [b_R + 2 \cdot t_{Rg} + (b_R - t_{Rs})] \cdot a_{Wg} \quad A_{Wg} = 5592.00 \text{ mm}^2$$

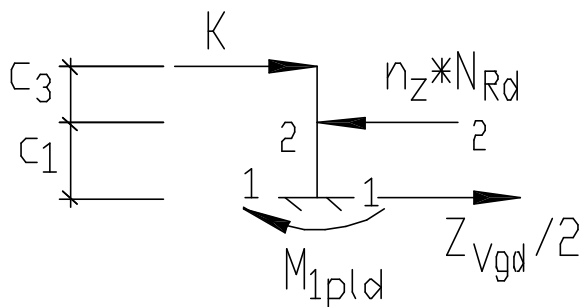
Schweißnahtspannung  $\sigma_{Wgd} := \frac{F_d}{A_{Wg}} \quad \sigma_{Wgd} = 192.84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

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

**d) Tragfähigkeit der Stirnplatte:**



Detail beim Anschluß Bild 3.3.1.2-5



Statik beim Anschluß Bild 3.3.1.2-6



**Vorwerte :**

$$a_1 := \frac{e_2 - t_{Rg}}{2} \quad a_1 = 40.50 \text{ mm}$$

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

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

$$M_{1pld} := f_{yd} \cdot \frac{b_p \cdot d_p^2}{4} \quad M_{1pld} = 1276.36 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{2pld} := f_{yd} \cdot \frac{(b_p - n_z \cdot d_L) \cdot d_p^2}{4} \quad M_{2pld} = 1070.18 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

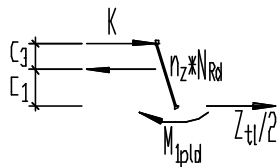
$$c_1 := a_1 - a_{Wg} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{(d_{Sch} + d_p)}{4} \quad c_1 = 22.34 \text{ mm}$$

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

Aus Symmetriegründen wird nur der obere Teil der Platte betrachtet.

**Versagenszustand 1:**

Plastizieren der Stirnplatte im Schnitt 1 und Schraubenversagen

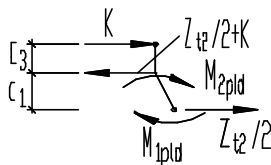


$$Z_{t1} := \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{1pld} + n_z \cdot N_{Rd} \cdot c_3)$$

$$Z_{t1} = 1304.68 \text{ kN}$$

**Versagenszustand 2:**

Plastizieren der Stirnplatte in Schnitt 1 und 2



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

$$Z_{t2} = 2100.46 \text{ kN}$$

**Versagenszustand 3:**

Schubversagen im Schnitt 1

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

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

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

$$Z_{t3} := 2 \cdot b_p \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \quad Z_{t3} = 1965.09 \text{ kN}$$

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

**Nachweis :**

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

kleinste zulässige Zugkraft:  $Z_t := \min(Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{t3})$   $Z_t = 1304.68 \text{ kN}$

```

ZRd :=
  i ← 1
  M-11 ← 0 kN·cm
  M-10 ← M1pld
  Vpd1 ←  $\frac{Z_t}{2}$ 
  while |M-1i - M-1i-1| ≥ 1 kN·cm
    i ← i + 1
    M-1i ← M1pld ·  $\sqrt{1 - \left(\frac{V_{pd_{i-1}}}{V_{1pld}}\right)^2}$ 
    M-2i ← M2pld ·  $\sqrt{1 - \left(\frac{V_{pd_{i-1}}}{V_{2pld}}\right)^2}$ 
    Zi ←  $\begin{cases} Z_i \leftarrow \frac{2}{c_3 + c_1} \cdot (M_{-1}_i + n_z \cdot N_{Rd} \cdot c_3) & \text{if } Z_t = Z_{t1} \\ Z_i \leftarrow \frac{2}{c_1} \cdot (M_{-1}_i + M_{-2}_i) & \text{if } Z_t = Z_{t2} \\ Z_i \leftarrow 2 \cdot V_{1pld} & \text{if } Z_t = Z_{t3} \end{cases}$ 
    Vpdi ←  $\frac{Z_i}{2}$ 
  break if i ≥ 100
  Zi

```

$Z_{Rd} = 1202.64 \text{ kN}$

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

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

### e) Bemessung der Steifen und deren Anschluß

#### a) Halbsteife am Knickpunkt des Druckgurtes

Ermitteln der Schnittkräfte im Riegel an der Stelle, an der die Halbsteife angeschweißt wird.

$$\begin{aligned}
 N_{Rd} &:= N_{kd} & N_{Rd} &= -25.00 \text{ kN} \\
 V_{Rd} &:= V_{kd} & V_{Rd} &= 280.00 \text{ kN} \\
 M_{Rd} &:= M_{kd} + V_{Rd} \cdot \left( \frac{h_R}{2} + d_p + l_v \right) & M_{Rd} &= -292.60 \text{ m kN}
 \end{aligned}$$

Ermittlung der Druckkraft im unteren Riegelgurt aus Moment und Normalkraft

$$D_{Rgd} := \frac{|M_{Rd}|}{h_R - t_{Rg}} - \frac{N_{Rd}}{2} \quad D_{Rgd} = 516.11 \text{ kN}$$

**Eingeben der Geometrie der Steife:**

ohne weiteren Nachweis:

$$t_{\text{Steife}} \geq t_{Rg}$$



$$t_{\text{Steife}}(t_{Rg}) := \begin{cases} 5\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 5\cdot\text{mm} \\ 6\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 6\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 5\cdot\text{mm} \\ 8\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 8\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 6\cdot\text{mm} \\ 10\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 10\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 8\cdot\text{mm} \\ 12\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 12\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 10\cdot\text{mm} \\ 13\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 13\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 10\cdot\text{mm} \\ 15\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 15\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 13\cdot\text{mm} \\ 16\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 16\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 15\cdot\text{mm} \\ 20\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 20\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 16\cdot\text{mm} \\ 25\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 25\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 20\cdot\text{mm} \\ 30\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 30\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 25\cdot\text{mm} \\ 40\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 40\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 30\cdot\text{mm} \\ 50\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 50\cdot\text{mm} \wedge t_{Rg} > 40\cdot\text{mm} \\ 60\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 60\text{mm} \wedge t_{Rg} > 50\text{mm} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



empfohlene Plattenstärke

$$t_{\text{Steife}}(t_{Rg}) = 20.00\text{ mm}$$

$$s_3 := r_R$$

$$s_3 = 24.00\text{ mm}$$

$$\max\_s_1 := \frac{b_R - t_{Rs}}{2} - s_3$$

$$\max\_s_1 = 80.00\text{ mm}$$

$$s_1 := 70\text{ mm}$$

$$\max\_s_2 := h_R - 2 \cdot t_{Rg} - 2 \cdot s_3$$

$$\max\_s_2 = 514.00\text{ mm}$$

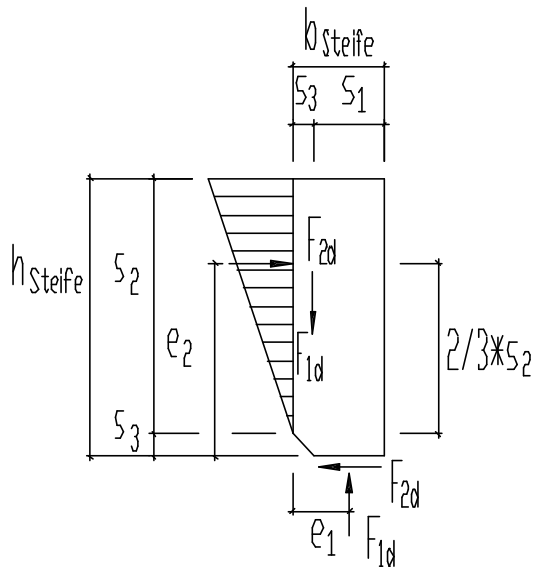
$$s_2 := 100\text{ mm}$$

$$e_2 := \frac{2}{3} \cdot s_2 + s_3$$

$$e_1 := \frac{s_1}{2} + s_3$$

$$b_{\text{Steife}} := s_1 + s_3$$

$$h_{\text{Steife}} := s_2 + s_3$$



Halbsteife Bild 3.3.1.2-7

Ermittlung der Kräfte in der Steife und im Druckgurt der Voute

$$D_{\text{Steife}} := \tan(\alpha) \cdot D_{\text{Rgd}} \quad D_{\text{Steife}} = 330.31 \text{ kN}$$

$$D_{\text{Voute}} := \frac{D_{\text{Rgd}}}{\cos(\alpha)} \quad D_{\text{Voute}} = 612.77 \text{ kN}$$

Der Anteil der Kraft, die in eine Rippe eingeleitet werden muß

$$F_{1d} := D_{\text{Steife}} \cdot \frac{s_1}{2 \cdot b_{\text{Steife}} + t_{\text{Rs}}} \quad F_{1d} = 115.61 \text{ kN}$$

$$F_{2d} := F_{1d} \cdot \frac{e_1}{e_2} \quad F_{2d} = 75.23 \text{ kN}$$

Grenzscheißnahtspannung  $\alpha_W := 0.95$

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

**Scheißnaht 1: Unter Berücksichtigung der Kräfte  $F_{1d}$  und  $F_{2d}$**

$$\min_t := \min(t_{\text{Sg}}, t_{\text{Steife}}(t_{\text{Rg}})) \quad \min_t = 20.00 \text{ mm}$$

$$\max_t := \max(t_{\text{Sg}}, t_{\text{Steife}}(t_{\text{Rg}})) \quad \max_t = 23.00 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_W} := \frac{\sqrt{F_{1d}^2 + F_{2d}^2}}{\sigma_{\text{WRd}} \cdot 2 \cdot s_1} \quad \text{erf}_{a_W} = 4.75 \text{ mm}$$

$$\min_{a_W} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\max_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm}) \quad \min_{a_W} = 4.30 \text{ mm}$$

$$\max_{a_W} := 0.7 \cdot \min_t \quad \max_{a_W} = 14.00 \text{ mm}$$



$$a_W := \begin{cases} \text{erf\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} \leq \text{max\_aW} \\ \text{min\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} < \text{min\_aW} \\ \text{"erf\_aW ist zu groß"} & \text{if } \text{erf\_aW} > \text{max\_aW} \end{cases}$$

$$a := \frac{a_W}{\text{mm}}$$



empfohlene  
Schweißnaht

$$a_{W1} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$$

$$a_{W1} = 5.00 \text{ mm}$$

$$A_{W1} := 2 \cdot s_1 \cdot a_{W1}$$

$$A_{W1} = 700.00 \text{ mm}^2$$

$$F_d := \sqrt{F_{1d}^2 + F_{2d}^2}$$

$$F_d = 137.93 \text{ kN}$$

Schweißnahtspannung

$$\sigma_{W1d} := \frac{F_d}{A_{W1}}$$

$$\sigma_{W1d} = 197.05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis

$$\text{Nachweis} \left( \frac{\sigma_{W1d}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt!"}$$

#### Schweißnaht 2:

Die Kraft  $F_{2d}$  greift an im Schwerpunkt des Normalspannungsdreiecks und ist damit am Kernrand der Nahtfläche 2 mal so groß.

$$\text{min\_t} := \min(t_{Ss}, t_{Steife}(t_{Rg}))$$

$$\text{min\_t} = 12.00 \text{ mm}$$

$$\text{max\_t} := \max(t_{Ss}, t_{Steife}(t_{Rg}))$$

$$\text{max\_t} = 20.00 \text{ mm}$$

$$\text{erf\_aW} := \frac{\sqrt{F_{1d}^2 + (2 \cdot F_{2d})^2}}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot s_2}$$

$$\text{erf\_aW} = 4.58 \text{ mm}$$

$$\text{min\_aW} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\text{max\_t} \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm})$$

$$\text{min\_aW} = 3.97 \text{ mm}$$

$$\text{max\_aW} := 0.7 \cdot \text{min\_t}$$

$$\text{max\_aW} = 8.40 \text{ mm}$$



$$a_W := \begin{cases} \text{erf\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} \leq \text{max\_aW} \\ \text{min\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} < \text{min\_aW} \\ \text{"erf\_aW ist zu groß"} & \text{if } \text{erf\_aW} > \text{max\_aW} \end{cases}$$

$$a := \frac{a_W}{\text{mm}}$$



empfohlene  
Schweißnaht

$$a_{W2} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$$

$$a_{W2} = 5.00 \text{ mm}$$

$$A_{W2} := 2 \cdot s_2 \cdot a_{W2} \quad A_{W2} = 1000.00 \text{ mm}^2$$

$$F_d := \sqrt{F_{1d}^2 + (2 \cdot F_{2d})^2} \quad F_d = 189.75 \text{ kN}$$

Schweißnahtspannung

$$\sigma_{W2d} := \frac{F_d}{A_{W2}} \quad \sigma_{W2d} = 189.75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis

$$\text{Nachweis} \left( \frac{\sigma_{W2d}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$$

#### b) Vollsteifen in der Stütze

##### Eingeben der Geometrie der Steife:

ohne weiteren Nachweis:  $t_{\text{Steife}} \geq t_{Rg}$

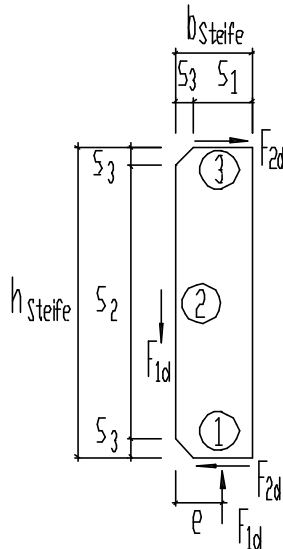


$$t_{\text{Steife}}(t_{Rg}) := \begin{cases} 5\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 5 \cdot \text{mm} \\ 6\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 6 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 5 \cdot \text{mm} \\ 8\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 8 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 6 \cdot \text{mm} \\ 10\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 10 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 8 \cdot \text{mm} \\ 12\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 12 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 10 \cdot \text{mm} \\ 13\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 13 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 10 \cdot \text{mm} \\ 15\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 15 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 13 \cdot \text{mm} \\ 16\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 16 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 15 \cdot \text{mm} \\ 20\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 20 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 16 \cdot \text{mm} \\ 25\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 25 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 20 \cdot \text{mm} \\ 30\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 30 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 25 \cdot \text{mm} \\ 40\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 40 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 30 \cdot \text{mm} \\ 50\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 50 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 40 \cdot \text{mm} \\ 60\text{mm} & \text{if } t_{Rg} \leq 60 \cdot \text{mm} \wedge t_{Rg} > 50 \cdot \text{mm} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



empfohlene Plattenstärke

$$t_{\text{Steife}}(t_{\text{Rg}}) = 20.00 \text{ mm}$$



Vollsteife Bild 3.3.1.2-8

$$s_3 := r_s$$

$$s_3 = 27.00 \text{ mm}$$

$$\max\_s_1 := \frac{b_s - t_{ss}}{2} - s_3 \quad \max\_s_1 = 117.00 \text{ mm}$$

$$s_1 := 83 \text{ mm}$$

$$s_2 := h_s - 2 \cdot t_{sg} - 2 \cdot s_3$$

$$s_2 = 390.00 \text{ mm}$$

$$b_{\text{Steife}} := s_1 + s_3$$

$$h_{\text{Steife}} := s_2 + 2s_3$$

$$e := \frac{s_1}{2} + s_3$$

Ermittlung der Normalkraft, die auf den Gurt der Stütze drückt und anteilig von dem Stützensteg und den Steifen aufgenommen werden muß.

$$N_{\text{Sgd}} := \frac{|M_{Vd}|}{h_{sv}} - \frac{N_{Vd}}{2} \quad N_{\text{Sgd}} = 506.02 \text{ kN}$$

Der Anteil der Kraft, die in die Rippe eingeleitet werden muß

$$F_{1d} := N_{\text{Sgd}} \cdot \frac{s_1}{2 \cdot b_{\text{Steife}} + t_{ss}} \quad F_{1d} = 181.03 \text{ kN}$$

$$M_{ed} := F_{1d} \cdot e \quad M_{ed} = 1240.07 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$F_{2d} := \frac{M_{ed}}{s_2 + 2 \cdot s_3} \quad F_{2d} = 27.93 \text{ kN}$$

### Nachweis der Schweißnähte:

Grenzschnitzspannung  $\alpha_W := 0.95$

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

### Schweißnaht 1: Unter Berücksichtigung der Kräfte $F_{1d}$ und $F_{2d}$

$$\min_t := \min(t_{Sg}, t_{Steife}(t_{Rg})) \quad \min_t = 20.00 \text{ mm}$$

$$\max_t := \max(t_{Sg}, t_{Steife}(t_{Rg})) \quad \max_t = 23.00 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{aW} := \frac{\sqrt{F_{1d}^2 + F_{2d}^2}}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot s_1} \quad \text{erf}_{aW} = 5.32 \text{ mm}$$

$$\min_{aW} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\max_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm}) \quad \min_{aW} = 4.30 \text{ mm}$$

$$\max_{aW} := 0.7 \cdot \min_t \quad \max_{aW} = 14.00 \text{ mm}$$

$$a_W := \begin{cases} \text{erf}_{aW} & \text{if } \text{erf}_{aW} \leq \max_{aW} \\ \min_{aW} & \text{if } \text{erf}_{aW} < \min_{aW} \\ \text{"erf}_{aW} \text{ ist zu groß"} & \text{if } \text{erf}_{aW} > \max_{aW} \end{cases}$$

$$a := \frac{a_W}{\text{mm}} \quad a_{W1} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$$

empfohlene Schweißnaht  $a_{W1} = 6.00 \text{ mm}$

$$A_{W1} := 2 \cdot s_1 \cdot a_{W1} \quad A_{W1} = 996.00 \text{ mm}^2$$

$$F_d := \sqrt{F_{1d}^2 + F_{2d}^2} \quad F_d = 183.17 \text{ kN}$$

Schweißspannung  $\sigma_{W1d} := \frac{F_d}{A_{W1}} \quad \sigma_{W1d} = 183.91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweis  $\text{Nachweis}\left(\frac{\sigma_{W1d}}{\sigma_{WRd}}, 1\right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$

### Schweißnaht 2:

$$\min_t := \min(t_{Ss}, t_{Steife}(t_{Rg})) \quad \min_t = 12.00 \text{ mm}$$

$$\max_t := \max(t_{Ss}, t_{Steife}(t_{Rg})) \quad \max_t = 20.00 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{aW} := \frac{F_{1d}}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot s_2} \quad \text{erf}_{aW} = 1.12 \text{ mm}$$

$$\min_{aW} := \max(2 \cdot \text{mm}, \sqrt{\max_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm}) \quad \min_{aW} = 3.97 \text{ mm}$$

$$\max_{aW} := 0.7 \cdot \min_t \quad \max_{aW} = 8.40 \text{ mm}$$

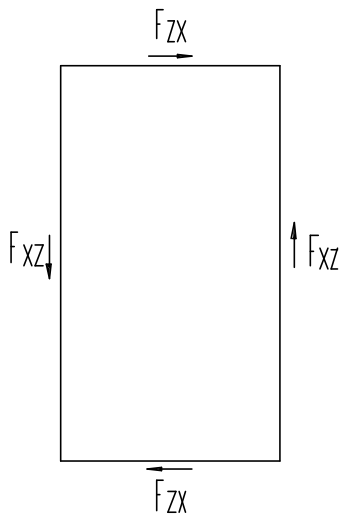


<div> <div></div> <div></div> </div>	$a_W := \begin{cases} \text{erf\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} \leq \text{max\_aW} \\ \text{min\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} < \text{min\_aW} \\ \text{"erf\_aW ist zu gro\ss"} & \text{if } \text{erf\_aW} > \text{max\_aW} \end{cases}$	
	$a := \frac{a_W}{\text{mm}} \qquad a_{W2} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$	
empfohlene Schwei\ssnaht	a <sub>W2</sub> = 4.00 mm	
	A <sub>W2</sub> := 2 · s <sub>2</sub> · a <sub>W2</sub>	A <sub>W2</sub> = 3120.00 mm <sup>2</sup>
	F <sub>d</sub> := F <sub>1d</sub>	F <sub>d</sub> = 181.03 kN
Schwei\ssnahtspannung	σ <sub>W2d</sub> := $\frac{F_d}{A_{W2}}$	σ <sub>W2d</sub> = 58.02 $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Nachweis	Nachweis $\left( \frac{\sigma_{W2d}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erf\sslt !"}$	
Schwei\ssnaht 3:		
	min <sub>t</sub> := min(t <sub>Sg</sub> , t <sub>Steife</sub> (t <sub>Rg</sub> ))	min <sub>t</sub> = 20.00 mm
	max <sub>t</sub> := max(t <sub>Sg</sub> , t <sub>Steife</sub> (t <sub>Rg</sub> ))	max <sub>t</sub> = 23.00 mm
	erf <sub>aW</sub> := $\frac{F_{2d}}{\sigma_{WRd} \cdot 2 \cdot s_1}$	erf <sub>aW</sub> = 0.81 mm
	min <sub>aW</sub> := max(2 · mm, $\sqrt{\text{max}_t \cdot \text{mm}} - 0.5 \cdot \text{mm}$ )	min <sub>aW</sub> = 4.30 mm
	max <sub>aW</sub> := 0.7 · min <sub>t</sub>	max <sub>aW</sub> = 14.00 mm
<div> <div></div> <div></div> </div>	$a_W := \begin{cases} \text{erf\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} \leq \text{max\_aW} \\ \text{min\_aW} & \text{if } \text{erf\_aW} < \text{min\_aW} \\ \text{"erf\_aW ist zu gro\ss"} & \text{if } \text{erf\_aW} > \text{max\_aW} \end{cases}$	
	$a := \frac{a_W}{\text{mm}} \qquad a_{W3} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm}$	
empfohlene Schwei\ssnaht	a <sub>W3</sub> = 5.00 mm	
	A <sub>W3</sub> := 2 · s <sub>1</sub> · a <sub>W3</sub>	A <sub>W3</sub> = 830.00 mm <sup>2</sup>
	F <sub>d</sub> := F <sub>2d</sub>	F <sub>d</sub> = 27.93 kN

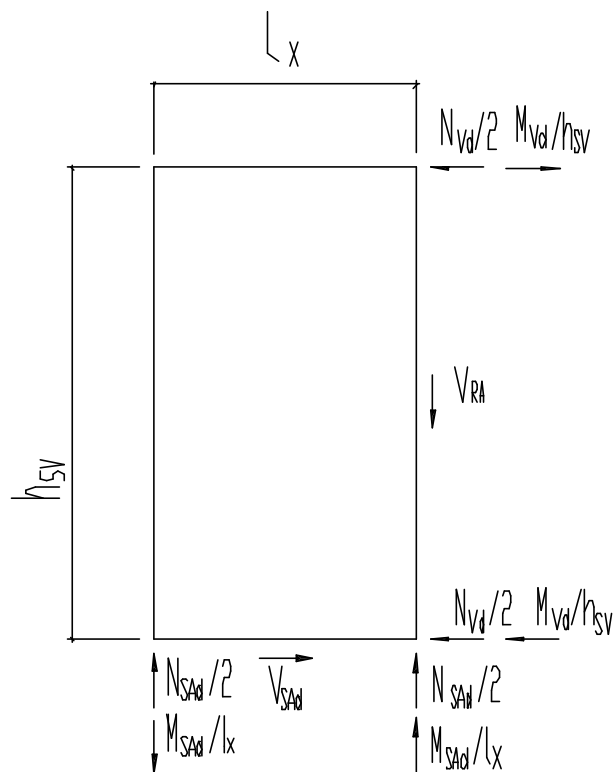
Schweißnahtspannung  $\sigma_{W3d} := \frac{F_d}{A_{W3}}$   $\sigma_{W3d} = 33.65 \frac{N}{mm^2}$

Nachweis  $\text{Nachweis} \left( \frac{\sigma_{W3d}}{\sigma_{WRd}}, 1 \right) = \text{"Nachweis erfüllt !"}$

### f) Nachweis des Schubfeldes



Schubfeld mit Schubkräften Bild 3.3.1.2-9



Schubfeld Bild 3.3.1.2-10

**Schubkräfte :**

$$F_{zx} := \frac{|N_{Vd}|}{2} + \frac{|M_{Vd}|}{h_{SV}} - |V_{SAd}| \quad F_{zx} = 481.02 \text{ kN}$$

$$F_{xz} := \frac{|N_{SAd}|}{2} + \frac{|M_{SAd}|}{l_x} - |V_{Vd}| \quad F_{xz} = 1092.84 \text{ kN}$$

**Schubfluß :**  $T_x := \frac{F_{zx}}{l_x} \quad T_x = 10.30 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$

$$T_z := \frac{F_{xz}}{h_{SV}} \quad T_z = 10.30 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

**Schubspannung :**

$$\tau := \frac{T_x}{t_{Ss}} \quad \tau = 8.58 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{Rd} = 12.60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

**Nachweis**

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

Falls der Nachweis nicht erfüllt ist, kann eine Stegverstärkung angebracht werden.  
Siehe im Folgenden.

**Ermittlung der erforderlichen Gesamtstützenstegstärke**

$$\text{erf\_}t_{Ss} := \frac{T_x}{\tau_{Rd}} \quad \text{erf\_}t_{Ss} = 8.18 \text{ mm}$$

Erforderliche Verstärkung

$$t_{SSv} := \text{erf\_}t_{Ss} - t_{Ss} \quad t_{SSv} = -3.82 \text{ mm}$$



$t(t_{Ssv}) :=$  "keine Stegverstärkung notwendig" if  $t_{Ssv} \leq 0\text{mm}$   
 5mm if  $t_{Ssv} \leq 5\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 0\text{mm}$   
 6mm if  $t_{Ssv} \leq 6\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 5\cdot\text{mm}$   
 8mm if  $t_{Ssv} \leq 8\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 6\cdot\text{mm}$   
 10mm if  $t_{Ssv} \leq 10\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 8\cdot\text{mm}$   
 12mm if  $t_{Ssv} \leq 12\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 10\cdot\text{mm}$   
 13mm if  $t_{Ssv} \leq 13\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 10\cdot\text{mm}$   
 15mm if  $t_{Ssv} \leq 15\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 13\cdot\text{mm}$   
 16mm if  $t_{Ssv} \leq 16\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 15\cdot\text{mm}$   
 20mm if  $t_{Ssv} \leq 20\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 16\cdot\text{mm}$   
 25mm if  $t_{Ssv} \leq 25\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 20\cdot\text{mm}$   
 30mm if  $t_{Ssv} \leq 30\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 25\cdot\text{mm}$   
 40mm if  $t_{Ssv} \leq 40\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 30\cdot\text{mm}$   
 50mm if  $t_{Ssv} \leq 50\cdot\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 40\cdot\text{mm}$   
 60mm if  $t_{Ssv} \leq 60\text{mm} \wedge t_{Ssv} > 50\text{mm}$   
 0 otherwise



empfohlene Plattenstärke

$t(t_{Ssv}) =$  "keine Stegverstärkung notwendig"

$kN \equiv 1000 \cdot N$

$MN \equiv 1000 \cdot kN$

- ☐ 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)