

Einwirkungskombinationen (vereinfacht)

Grundkombination 1:

$$1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k$$

Grundkombination 2:

$$1,35 \cdot G_k + 1,35 \cdot \sum Q_k$$

Grundkombination 3:

$$1,0 \cdot G_k + 0,9 \cdot \sum Q_k + 1,0 \cdot F_{A,k}$$

Sonstiges

Gewicht Stahl: $g_k \approx 78,5 \text{ [KN/m}^3]$

Profil wählen

Siehe Schneider 8.37 → mit s_k und Beanspruchbarkeit $N_{R,d}$ das Profil ablesen

Gerbrauchstauglichkeitsnachweis

$$w = \sum w_i \quad \text{Nachweise: Einfeldträger } w \leq l/300 \\ \text{Kragträger } w \leq l/200$$

Bei ≥ 2 Veränderlichen → Durchbiegung einzeln ausrechnen → Kombinationen bilden
→ $1,0 \cdot w_g + 0,9 \cdot (w_{q1} + w_{qi})$

Verfahren E-E

Grenzspannungen

$$\sigma_{R,d} = f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \text{ [KN/cm}^2]$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,d}}{\sqrt{3}} \text{ [KN/cm}^2]$$

f_{y,k}: siehe Skript 1/12a
 γ_m: Teilsicherheitsbeiwert (1,1)

Normalspannung:

$$\sigma = \left| \frac{N}{A} \right| + \left| \frac{M_y \cdot 100}{W_y} \right| \text{ [KN/cm}^2]$$

Schubspannung:

allgemein:

$$\tau = \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot b} \text{ [KN/cm}^2]$$

Vereinfachung für I-förmige Träger:

$$\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}} \quad (\text{wenn } \frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} > 0,6)$$

A_{Steg}: siehe Skript 4.1/12

Vergleichsspannung:

wenn $\frac{\sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 0,5$ oder $\frac{\tau}{\tau_{R,d}} \leq 0,5 \rightarrow$ keine Vergleichsspannung (σ_v)

sonst für einfache Biegung:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2} \text{ [KN/cm}^2]$$

Nachweise:

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

$$\frac{\tau_d}{\tau_{R,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

σ _d :	vorh. Normalspannung
σ _{R,d} :	Grenznormalspannung
τ _d :	vorh. Schubspannung
τ _{R,d} :	Grenzscherubspannung
σ _v :	Vergleichsspannung

Verfahren E-P

Grenzschnittgrößen:

Doppeltsymmetrische I-Profile:

→ Schnittgrößen ablesen aus Skript 4.1/7ff

Alternativ berechnen:

$$N_{pl,d} = \sigma_{R,d} \cdot A \quad [\text{KN}]$$

$$V_{pl,z,d} = T_{R,d} \cdot h_{Steg} \cdot s \quad [\text{KN}]$$

$$M_{pl,y,d} = 2 \cdot S_{y,max} \cdot \sigma_{R,d} \cdot 0,01 = W_{pl,y,d} \cdot f_{y,d} \quad [\text{KNm}]$$

$$V_{pl,y,d} = T_{R,d} \cdot 2 \cdot t_f \cdot b_t \quad [\text{KN}]$$

$$M_{pl,z,d} = 2 \cdot S_{z,max} \cdot \sigma_{R,d} \cdot 0,01 \quad [\text{KNm}]$$

$$\sigma_{R,d}: \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$T_{R,d}: \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$h_{Steg}: \quad [\text{cm}] = h - t$$

$$S_{y,max}: \quad [\text{cm}^3] = \sum (A_i \cdot z_i)$$

$$S_{z,max}: \quad [\text{cm}^3] = \sum (A_i \cdot y_i)$$

Andere Profile:

Bei reiner Momentenbeanspruchung läuft die Spannungsnulllinie nicht durch den Schwerpunkt, sondern durch Flächenhalbierende.

→ $S_{y,o}$ und $S_{y,u}$ müssen bezogen auf Flächenhalbierende berechnet werden!

Das plastische Moment ergibt sich zu $M_{pl,y,d} = (S_{y,o} + S_{y,u}) \cdot f_{y,d}$

$$\alpha_{pl} = \frac{M_{pl,y,d}}{M_{el,d}} = \frac{M_{pl,y,d}}{W_{el} \cdot f_{y,d}} = \frac{W_{pl,y,d}}{W_{el,d}} \quad []$$

Interaktionstabelle:

Biegung um y-Achse:

	$\frac{V}{V_{pl,d}} \leq 0,33$	$0,33 < \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 1$
$\frac{N}{N_{pl,d}} \leq 0,1$	$\frac{M}{M_{pl,d}} \leq 1$	$0,88 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,37 \cdot \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 1$
$0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$	$0,9 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$	$0,8 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,89 \cdot \frac{N}{N_{pl,d}} + 0,33 \cdot \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 1$

Biegung um z-Achse:

	$\frac{V}{V_{pl,d}} \leq 0,25$	$0,25 < \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 0,9$
$\frac{N}{N_{pl,d}} \leq 0,3$	$\frac{M}{M_{pl,d}} \leq 1$	$0,95 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,82 \cdot \left(\frac{V}{V_{pl,d}}\right)^2 \leq 1$
$0,3 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$	$0,91 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \left(\frac{N}{N_{pl,d}}\right)^2 \leq 1$	$0,87 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,95 \cdot \left(\frac{N}{N_{pl,d}}\right)^2 + 0,75 \cdot \left(\frac{V}{V_{pl,d}}\right)^2 \leq 1$

Schrauben

Abscheren je Schraube:

$V_{a,R,d} \rightarrow$ siehe Skript 3/17

alternativ mit Fomel:

$$V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M} \quad [\text{KN}]$$

α_a : 0,6 für Schrauben 4,6, 5,6, 8,8
0,55 für Schrauben 10,9

$f_{u,b,k}$: Zugfestigkeit der Schraube (ultimate tensile strength)

γ_M : 1,1 bzw. einschnittig & ungestützt: $\gamma_M = 1,25$

Schrauben auf Zug + Abscheren:

Beanspruchung einer Schraube:

$$N_d = \frac{N_x}{n} \quad [\text{KN}]$$

N_x : Zugkraft

$V_{s,d}$: Abscherkraft

n : Anzahl der Schrauben (max. 8 Schrauben anrechenbar !!)

$$V_d = \frac{V_{s,d}}{n} \quad [\text{KN}]$$

Nachweis:

$$\left(\frac{N_d}{N_{R,d}}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{a,R,d}}\right)^2 \leq 1$$

$N_{R,d}$: Grenzzugkraft → siehe Skript 3/18

$V_{a,R,d}$: Grenzabscherkraft → siehe Skript 3/17

Lochleibung je Schraube:

kleinster Abstand:

$$e_1 = 1,2 d_L \quad (2,1 d_L) \triangleq \text{Randabstand in Kraftrichtung}$$

$$e = 2,2 d_L \quad (2,6 d_L) \triangleq \text{Lochabstand in Kraftrichtung}$$

$$e_2 = 1,2 d_L \quad (1,5 d_L) \triangleq \text{Randabstand quer zur Kraftrichtung}$$

$$e_3 = 2,4 d_L \quad (3,0 d_L) \triangleq \text{Lochabstand quer zur Kraftrichtung}$$

Klammerwerte ergeben Beiwerte $\alpha_l \geq 2,0$

Abstand für Größtmögliche Beanspruchbarkeit:

$$e_1 = 3,0 d_L \triangleq \text{Randabstand in Kraftrichtung}$$

$$e = 3,5 d_L \triangleq \text{Lochabstand in Kraftrichtung}$$

$$e_2 = 1,5 d_L \triangleq \text{Randabstand quer zur Kraftrichtung}$$

$$e_3 = 3,0 d_L \triangleq \text{Lochabstand quer zur Kraftrichtung}$$

$e_2 \geq 1,5 d_l$ und $e_3 \geq 3,0 d_l$:

$$\text{Randabstand in Kraftrichtung maßgebend: } \alpha_{l(a)} = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_l} - 0,3 \quad *^1$$

$$\text{Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend: } \alpha_{l(a)} = 1,08 \cdot \frac{e}{d_l} - 0,77$$

$e_2 = 1,2 d_l$ und $e_3 = 2,4 d_l$:

$$\text{Randabstand in Kraftrichtung maßgebend: } \alpha_{l(b)} = 0,73 \cdot \frac{e_1}{d_l} - 0,2$$

$$\text{Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend: } \alpha_{l(b)} = 0,72 \cdot \frac{e}{d_l} - 0,51$$

$$e_2 = x \cdot d_L$$

$$x = e_2/d_L$$
bzw.

$$e_3 = x \cdot d_L$$

$$x = e_3/d_L$$

$1,2 d_l < e_2 < 1,5 d_l \rightarrow \text{Interpolation!}$

$$\alpha_l = \alpha_{l(b)} + \frac{\alpha_{l(a)} - \alpha_{l(b)}}{1,5 - 1,2} \cdot (x - 1,2)$$

$$\alpha_l = \text{siehe oben, bzw. vereinfacht} = 2,0$$

$2,4 d_l < e_3 < 3,0 d_l \rightarrow \text{Interpolation!}$

$$\alpha_l = \alpha_{l(b)} + \frac{\alpha_{l(a)} - \alpha_{l(b)}}{3,0 - 2,4} \cdot (x - 2,4)$$

$$\alpha_l = \text{siehe oben, bzw. vereinfacht} = 2,0$$

$$V_{l,R,d} = \text{Tafelwert [KN/mm]} \cdot \min t [\text{mm}]$$

$$\text{Tafelwert} = \text{Skript 3/17}$$

$$V_{l,R,d} = t \cdot d_{sch} \cdot \alpha_l \cdot \frac{f_{y,k}}{Y_M} \cdot n \quad [\text{KN}]$$

$t = \text{minimale Dicke des Bleches}$
 $d_{sch} = \text{Schaftdurchmesser}$
 $\alpha_l = \text{siehe oben, bzw. vereinfacht} = 2,0$, kleineres α_l maßgebend!
 $f_{y,k} = \text{Streckgrenze Blech} \rightarrow \text{Skript 1/12a}$
 $Y_M = 1,1$ bzw. einschrittig & ungestützt: $Y_M = 1,25$
 $n = \text{Anzahl der Schrauben}$ (nur verwenden bei vereinfachter Rechnung)

*¹ wenn vorh. e_1 oder vorh. e größer als $3,0 \cdot d_L$ bzw. $3,5 \cdot d_L \rightarrow$ Maximalwerte berechnen und einsetzen.

Anschluss an Träger

$$M = A \cdot a \quad [\text{KNcm}]$$

$$V_{1x}^M = \frac{M \cdot z_1}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2} \quad [\text{KN}]$$

ichtung (siehe Zeichnung)
ichtung (siehe Zeichnung)

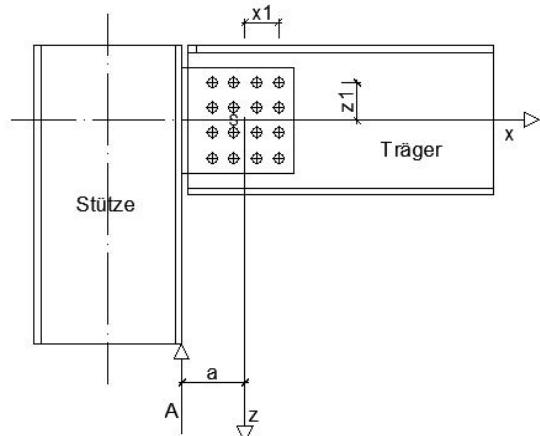
$$V_{1z}^M = \frac{M \cdot x_1}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2} \quad [\text{KN}]$$

$$V_{1z}^V = \frac{A}{n_T} \quad [\text{KN}]$$

Maximale Schraubenkraft:

$$\max V_1 = \sqrt{(V_{1z}^V + V_{1z}^M)^2 + (V_{1x}^M)^2} \quad [\text{KN}]$$

$V_{\text{maß}}$ = minimaler Wert von $V_{a,R,d}$ und $V_{I,R,d}$



Nachweis:

$$\max V_1 \leq V_{\text{maß}}$$

Grenzanschlusskraft:

$$A_{R,d} = \frac{V_{R,d}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_T} + \frac{a \cdot x_1}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2}\right)^2 + \left(\frac{a \cdot z_1}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2}\right)^2}} \quad [\text{KN}]$$

Anschluss an Stütze

$$V_{1z} = \frac{A}{n_T} \quad [\text{KN}]$$

$$V_{1x} = \frac{A \cdot e \cdot z_{w,1}}{2 \cdot \sum (z_{w,i}^2)} \quad [\text{KN}]$$

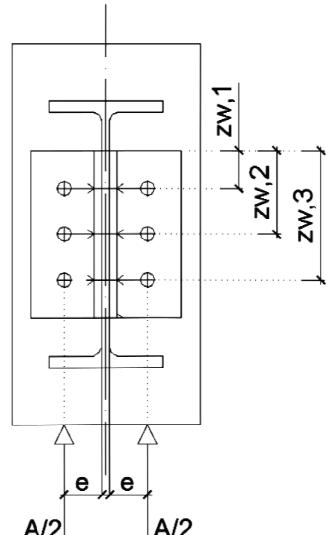
A = Auflagerkraft [KN]
 n_T = Schraubenanzahl
 $z_{w,1}$ = (siehe Zeichnung)

$$\max V_1 = \sqrt{(V_{1z})^2 + (V_{1x})^2} \quad [\text{KN}]$$

$V_{\text{maß}}$ = minimaler Wert von $V_{a,R,d}$ und $V_{I,R,d}$

Nachweis:

$$\max V_1 \leq V_{\text{maß}}$$



Grenzanschlusskraft:

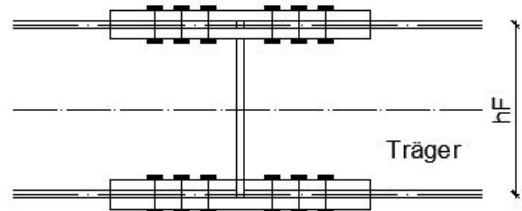
$$A_{R,d} = \frac{2 \cdot V_{R,d}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_w}\right)^2 + \left(\frac{e \cdot z_{w,1}}{\sum (z_{w,i}^2)}\right)^2}} \quad [\text{KN}]$$

rauben pro
ch

Gurtplattenstoß

Schnittgrößen:

$$I_{Gurt} = 2 \cdot \left(\frac{b \cdot t^3}{12} \right) + 2 \cdot A_{Gurt} \cdot z^2$$



Moment in Gurt (oben und unten):

$$M_{Gurt} = M_{ges} \cdot \frac{I_{Gurt}}{I_{ges}}$$

b: Breite des Profils
t: Dicke des Gurtes
 A_{Gurt} : $b \cdot t$ [cm²]
z: $0,5 \cdot (h-t)$ [cm] nicht sicher!!
 h_f = Schwerpunktabstand der beiden Gurte = $h - t$

Normalkraft in einem Gurt:

$$N_{Gurt} = N_{ges} \cdot \frac{A_{Gurt}}{A_{ges}} + \frac{M_{Gurt} \cdot 100}{h_f} \quad \text{oder bei vereinfachter Rechnung: } N_{Gurt} = \frac{M_{ges}}{h - t} \text{ [KN]}$$

Auf die Gurtschrauben entfallende Beanspruchung:

$$V_N = \frac{N_{Gurt}}{n_G}$$

n_G: Anzahl der Schrauben im

Stegstoß

Moment im Steg:

$$M_{Steg} = M_{ges} - M_{Gurt} \text{ [KNm]} \quad \text{oder} \quad M_{Steg} = M_{ges} \cdot \frac{I_{Steg}}{I_{ges}} \text{ [KNm]}$$

$$M' = M_{Steg} + V \cdot a \text{ [KNm]}$$

b: Breite des Profils
t: Dicke des Gurtes
 A_{Gurt} : $b \cdot t$ [cm²]
z: $0,5 \cdot (h-t)$ [cm] nicht sicher!!
 h_f = Schwerpunktabstand der beiden Gurte = $h - t$

Normalkraft im Steg:

$$N_{Steg} = N_{ges} - N_{Gurt} \quad \text{oder} \quad N_{Steg} = N_{ges} \cdot \frac{A_{Steg}}{A_{ges}}$$

Querkraft im Steg:

$$V_{Steg} = V_{ges}$$

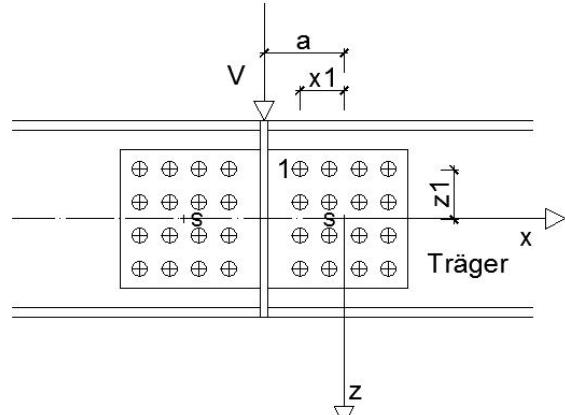
Auf die Schrauben entfallende Beanspruchung:

$$V_{1x}^M = \frac{M' \cdot z_1}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2} \text{ [KN]}$$

$$V_{1z}^M = \frac{M' \cdot x_1}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2} \text{ [KN]}$$

$$V_{1x}^V = \frac{N_{Steg}}{n_S} \text{ [KN]}$$

$$V_{1z}^V = \frac{V}{n_S} \text{ [KN]}$$



M': [KNcm]
n_S: Anzahl der Schrauben in einer Hälfte des Stegblechstoßes

$$\max V_1 = \sqrt{(V_{1z}^M + V_{1x}^V)^2 + (V_{1x}^M + V_{1z}^V)^2} \text{ [KN]} \quad !!! \text{ zusätzlich Nachweis der Laschen!!!}$$

Schweißnaht

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

α_w : siehe Skript S. 3/40

$$\operatorname{erf} A_w \geq \frac{F_d}{\sigma_{w,R,d}}$$

$$A_w = a \cdot l_s \cdot x$$

x: Anzahl der Nähte

$$\min a = \sqrt{\max t} - 0,5 \quad \text{und} \quad 2\text{mm} \leq a \leq 0,7 \cdot \min t$$

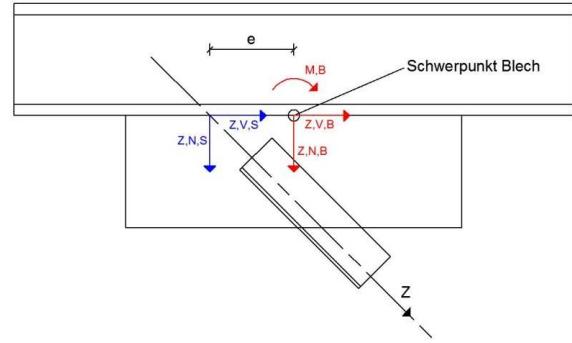
max t in mm

$$a_{\text{eff.}} = \frac{F_d}{l_s \cdot \sigma_{w,R,d}}$$

F_d: N_d oder V_d

$$\min l_s \geq 6 \cdot a \quad \text{und} \quad \max l \leq 150 \cdot a \quad \text{und} \quad l > b$$

$$l_{s,\text{eff.}} = \frac{F_d}{x \cdot a \cdot \sigma_{w,R,d}}$$



$$\sigma_{\perp}^N = \frac{N_d}{A_w}$$

$$W_w: \frac{a \cdot l_w^2}{6} (\cdot 2)$$

$$\sigma_{\perp}^M = \frac{M}{W_w}$$

$$\tau_{\perp}^N = \frac{V_{d,\perp}}{A_w}$$

Z_{N,S}: Senkrechte Komponente von Z in Stabachse
Z_{V,S}: Horizontale Komponente von Z in Stabachse

Anschlusschnittgrößen:

Z_{N,B} = Z_{N,S} Senkrechte Kraftkomponente von Z in Blechschwerpunkt

Z_{V,B} = Z_{V,S} Horizontale Kraftkomponente von Z in Blechschwerpunkt

M_B: Z_{N,S} • e Moment in Blechschwerpunkt

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{(\sigma_{\perp}^N + \sigma_{\perp}^M)^2 + (\tau_{\perp}^N)^2 + (\tau_{\parallel}^N)^2}$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$$

Bemessung der Halsnaht

$$S_{y1} = A_G \cdot z$$

$$a_{\text{eff.}} \geq \frac{V_{\max} \cdot S_{y1}}{I_y \cdot 2 \cdot \tau_{w,R,d}} \quad [\text{mm}]$$

S_{y1}: [cm³] Statisches Moment an der Schweißnaht

z: 0,5 • (h - t)

I_y: [cm⁴] Flächenträgheitsmoment des gesamten Trägers

T_{w,R,d}: [KN/cm²] $\alpha \cdot \sigma_{R,d}$

Biegesteifer Anschluss von I-Trägern (mit Schweißnaht)

1. Möglichkeit:

Tragsicherheitsnachweis darf entfallen, wenn Nahtdicken aus Tabelle eingehalten sind.
Kann jedoch unwirtschaftlich sein!

Werkstoff	Nahtdicken
S 235	$a_f \geq 0,5 \cdot t_f$ $a_s \geq 0,5 \cdot t_s$
S 275	$a_f = 0,6 \cdot t_f$ $a_s = 0,6 \cdot t_s$
S 355	$a_f = 0,7 \cdot t_f$ $a_s = 0,7 \cdot t_s$

2. Möglichkeit:

Bei doppeltsymmetrischen Trägern vereinfachte Berechnung
(Normalkraft & Moment werden Flansch zugeordnet, Querkraft dem Steg)

2.1 Ermittlung der Beanspruchungen:

$$\text{Beanspruchung eines Flansches: } F_{Fl} = \frac{N}{2} \pm \frac{M_y \cdot 100}{h_f} \quad [\text{KN}]$$

$$M_y = Q_{d1} \cdot e_x + Q_{d2} \cdot e_z \quad [\text{KNm}]$$
$$h_f = h - t \quad [\text{cm}]$$

$$\text{Beanspruchung Steg: } F_{St} = V_z \quad [\text{KN}]$$

2.2 Kontrolle Beanspruchbarkeit Flansch:

$$\sigma_{Fl} = \frac{F_{Fl}}{A_{Fl}} \quad [\text{KN/cm}^2] \leq \sigma_{R,d}$$

F_{Fl} : siehe oben

A_{Fl} : $[\text{cm}^2]$ $b \cdot t$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

2.3 Kontrolle Schubspannung Steg:

$$T = \frac{V_z}{A_{St}} \leq T_{R,d}$$

V_z : $[\text{KN}]$ Querkraft am Anschluss

A_{St} : $[\text{cm}^2]$ siehe Schneider 8.16

$$T_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}}$$

2.4 Berechnung Schweißnahtlängen:

Länge in einem Flansch: $l_{wF} = 2 \cdot b + 2 \cdot t - 2 \cdot r - s$

Länge in Steg: $l_{wS} = 2 \cdot (h - 2 \cdot t - 2 \cdot r)$

2.5 Berechnung Schweißnahtdicken:

$$\text{Dicke im Flansch: } a_{eff} = \frac{F_{Fl}}{l_{wF} \cdot \sigma_{w,R,d}} \quad [\text{cm}]$$

l_{wF} : $[\text{cm}]$ siehe oben

l_{wS} : $[\text{cm}]$ siehe oben

$$\text{Dicke im Steg: } a_{eff} = \frac{V_z}{l_{wS} \cdot \sigma_{w,R,d}} \quad [\text{cm}]$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \quad (\alpha \text{ siehe Skript S. 3/40})$$

Spannungsnachweis Grundmaterial

Allgemein: $A_{\text{Netto}} = A_{\text{Brutto}} - \Delta A$

wenn: $\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} \leq \begin{cases} 1,2 & \text{für S235} \rightarrow \text{Lochabzug darf entfallen} \\ 1,08 & \text{für S355} \end{cases}$

Grenzspannung:

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$f_{y,k}$: siehe Skript 1/12a
 γ_m : Teilsicherheitsbeiwert (1,1)

Normalspannung:

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A_{\text{Brutto}}}$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

Für Winkelanschluss: $\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 0,8$ (wenn Momente nicht berücksichtigt werden)

wenn: $\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} > \begin{cases} 1,2 & \text{für S235} \rightarrow \text{Lochabzug darf nicht entfallen} \\ 1,08 & \text{für S355} \end{cases}$

$$N_{R,d} = A_{\text{Netto}} \cdot \frac{f_{u,k}}{1,25 \cdot \gamma_m}$$

$f_{u,k}$: S235 → $f_{u,k} = 36 \text{ [KN/cm}^2]$
S355 → $f_{u,k} = 47 \text{ [KN/cm}^2]$
S275 → $f_{u,k} = 41 \text{ [KN/cm}^2]$

Nachweis:

$$N_d \leq N_{R,d}$$

Winkel mit einer Schraube:

$$A^*: [\text{cm}^2] = t \cdot (a - w_1 - 0,5 \cdot d_L)$$

$$A_{\text{Netto}} = 2 \cdot A^*$$

$$\text{Nachweis: } N_{R,d} = \frac{2 \cdot A^* \cdot f_{u,k}}{1,25 \cdot \gamma_m}$$

$f_{u,k}$: S235 → $f_{u,k} = 36 \text{ [KN/cm}^2]$
S355 → $f_{u,k} = 47 \text{ [KN/cm}^2]$
S275 → $f_{u,k} = 41 \text{ [KN/cm}^2]$

Knicken nach dem Ersatzstabverfahren:

Knicklängen:

β: siehe Skript 4.3/7

Knicken in z-Richtung: $s_{k,y} = \beta \cdot l_1$

Knicken in y-Richtung: $s_{k,z} = \beta \cdot l_2$

Trägheitsradien:

$$i_y = \sqrt{\frac{l_y}{A}} \text{ [cm]} \quad \text{und} \quad i_z = \sqrt{\frac{l_z}{A}} \text{ [cm]}$$

bezogene Schlankheiten:

$$\bar{\lambda}_{k,y} = \frac{s_{k,y} \cdot 100}{i_y \cdot \lambda_a} \quad []$$

$$\bar{\lambda}_{k,z} = \frac{s_{k,z} \cdot 100}{i_z \cdot \lambda_a} \quad []$$

$s_{k,y}$: [m] siehe oben
 $s_{k,z}$: [m] siehe oben
 i_y : [cm] siehe oben
 i_z : [cm] siehe oben
 λ_a : 92,9 für S235
75,9 für S355

Knickspannungslinie:

→ siehe Skript 4.3/12

Abminderungsfaktor χ :

→ siehe Skript 4.3/11 (Tabelle) (kleinerer Wert maßgebend)

Nachweis:

$$\frac{N}{\chi \cdot N_{pl,d}} \leq 1$$

$N_{pl,d}$: $\sigma_{R,d} \cdot A$

Biegeknicken mit Ersatzstabverfahren

Knicklängen:

Knicken in z-Richtung: $s_{k,y} = \beta \cdot l_1$
 Knicken in y-Richtung: $s_{k,z} = \beta \cdot l_2$

β : siehe Skript 4.3/7

Trägheitsradien:

$$i_y = \sqrt{\frac{l_y}{A}} \text{ [cm]} \quad \text{und} \quad i_z = \sqrt{\frac{l_z}{A}} \text{ [cm]}$$

bezogene Schlankheiten:

$$\bar{\lambda}_{k,y} = \frac{s_{k,y} \cdot 100}{i_y \cdot \lambda_a} \quad []$$

$$\bar{\lambda}_{k,z} = \frac{s_{k,z} \cdot 100}{i_z \cdot \lambda_a} \quad []$$

$s_{k,y}$: [m] siehe oben
 $s_{k,z}$: [m] siehe oben
 i_y : [cm] siehe oben
 i_z : [cm] siehe oben
 λ_a : 92,9 für S235
 75,9 für S355

Knickspannungslinie:

→ siehe Skript 4.3/12

Abminderungsfaktor χ :

→ siehe Skript 4.3/11 (Tabelle)

Momentenbeiwert β_m :

→ siehe Skript 4.3/15 (aus Tabelle 11)

$$\Delta n = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{N}{\chi \cdot N_{pl,d}} \cdot \left(1 - \frac{N}{\chi \cdot N_{pl,d}} \right) \cdot \chi^2 \cdot \bar{\lambda}_{k,y/z}^2 \quad [] \\ 0,1 \quad [] \end{array} \right.$$

zunächst Nachweis mit 0,1 führen (da auf sicherer Seite)

Nachweis:

$$\frac{N}{\chi \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_m \cdot M}{M_{pl,d}} + \Delta n \leq 1$$

$N_{pl,d}$: $\sigma_{R,d} \cdot A$
 $M_{pl,y,d}$: $2 \cdot S_{y,max} \cdot \sigma_{R,d} \cdot 0,01 \text{ [KNm]}$
 $W_{pl,y,d} \cdot f_{y,d} \cdot 0,01 \text{ [KNm]}$

Biegendrillknicken (vereinfacht)

Trägheitsradius um die z-Achse:

Walzträger: $i_{z,g} \rightarrow$ siehe Skript 4.4/14

$$\text{allgemein: } i_{z,g} = \sqrt{\frac{I_{z,g}}{A_g}} \text{ [cm]}$$

$$\text{mit } I_{z,g} = \frac{b^3 \cdot h}{12} + \frac{s^3 \cdot h_{\text{Steg}}}{60} \text{ [cm}^4]$$

$$A_g = \text{Fläche Gurt} + 1/5 \text{ des Steges} = b \cdot t + \frac{1}{5} \cdot h_{\text{Steg}} \cdot s \text{ [cm}^2]$$

Bezugsschlankheitsgrad:

für S235 $\rightarrow \lambda_a = 92,9$

für S355 $\rightarrow \lambda_a = 75,9$

Druckkraftbeiwert:

vereinfacht und auf der sicheren Seite: $k_c = 1,0$

genau: siehe Skript 4.4/14

$$\bar{\lambda} = \frac{c \cdot k_c}{i_{z,g} \cdot \lambda_a}$$

c : [cm] Abstand der seitlichen Halterung

Nachweis:

$$\bar{\lambda} \leq 0,5 \cdot \frac{M_{pl,y,d}}{M_y}$$

$$\text{Wenn nicht eingehalten} \rightarrow \frac{0,843 \cdot M_y}{\chi \cdot M_{pl,y,d}} \leq 1$$

χ : siehe Skript 4.3/11
für Walzprofile KSL c
für geschweißte Träger \rightarrow siehe Skript 4.4/14