

3.2.2.1 Füße eingespannter Stützen mit Zuganker

Erläuterung:

Fußplatten, die durch Zuganker eingespannt werden, werden z.B. bei Rahmenkonstruktionen eingesetzt, bei denen die Stützen neben der Horizontal- und Vertikalkraft auch Momente aufnehmen sollen. Für das Abtragen der Vertikalkräfte wird ein Schubdübel nach Kapitel 3.2.3 angeordnet. Der Überstand sollte nur so groß gewählt werden, daß keine Plattendicken über 80 mm erforderlich werden, sollte die Plattendicke doch größer werden, so sind ausgesteifte Fußplatten oder das Einschalten von Trägerstücken zwischen Fußplatte und Beton zu verwenden. In der vorliegenden Version werden die beiden letztgenannten nicht behandelt. Die Zuganker und der Beton müssen ein Kräftepaar aus dem Einspannmoment aufnehmen.

Aufgabenstellung:

Es werden aus einer statischen Berechnung die Schnittkräfte $N_d = 50 \text{ kN}$, $V_d = 21,5 \text{ kN}$ und $M_d = 100 \text{ kNm}$ entnommen.
Das Stützenprofil soll ein doppelsymmetrisches Walzprofil HEA500 aus ST 37-2 sein. Für die Befestigung durch die Zuganker sind in der Fußplatte 4 Aussparungen vorzusehen. Die Fußplatte orientiert sich an den Mindestmaßen und soll eine Höhe $h_n = 600 \text{ mm}$ und eine Breite $b_n = 300 \text{ mm}$ haben. Der Abstand der Schrauben vom Rand soll $e_1 = 30 \text{ mm}$ sein.
Die zulässige Spannung in den Zugankern beträgt $\text{zul}_{\sigma_Z} = 500 \text{ kN/mm}^2$ bei einem Sicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,75$. Man erhält so einen erforderlichen Gesamtquerschnitt für die Zuganker auf einer Seite, der dann durch Wahl des Durchmessers und der Anzahl abgedeckt werden muß.
Der verwendete Fundamentbeton soll der Festigkeitsklasse B15 entsprechen.
Die vorgeschlagenen Schweißnähte sind zu prüfen.

Schnittkräfte:

Normalkraft	$N_d := 50 \cdot \text{kN}$
Moment	$M_d := 100 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Querkraft	$V_d := 21.5 \cdot \text{kN}$

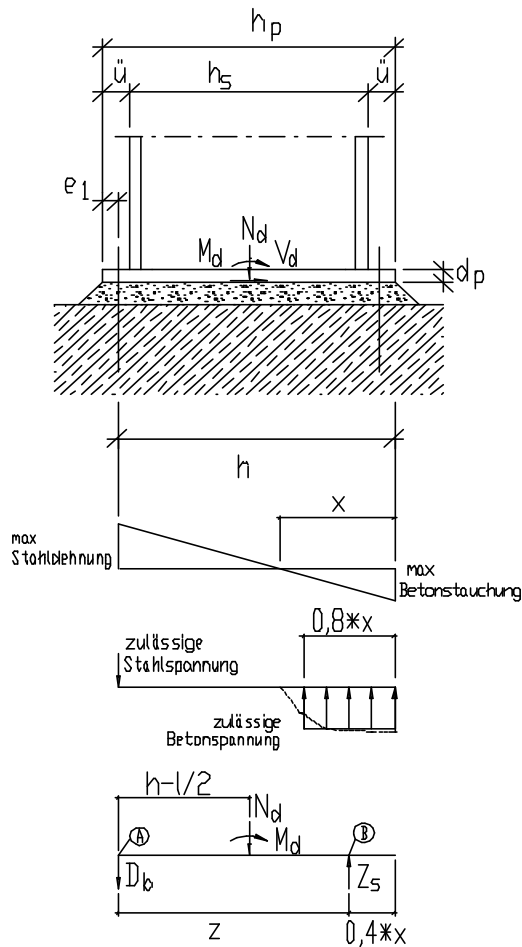


Überprüfung ob die Querkraft mit Hilfe eines Schubdübels Kapitel 3.2.3 abgetragen werden muß.

erforderlich = "ja"

Stützenprofil wählen:

Stützenprofil wählen:	HEA 500
$h_S := 490\text{mm}$	$t_s := 12\text{mm}$
$b_S := 300\text{mm}$	$t_g := 23\text{mm}$
$r_S := 27\text{mm}$	



Ansicht mit Dehnung und Spannung Bild 3.2.2.1-1

Baustoffe wählen:

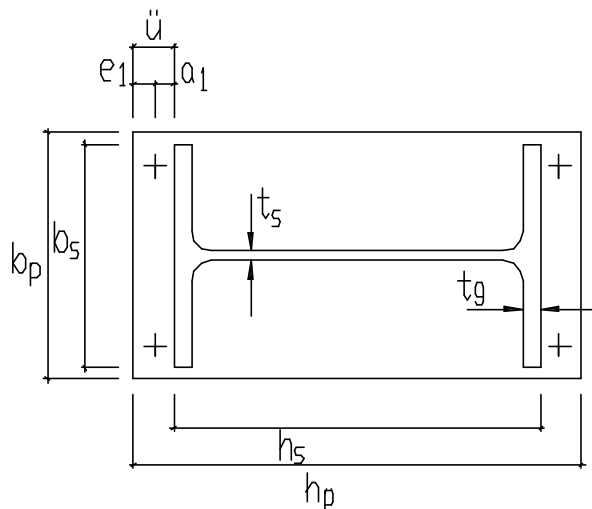
Stahlsorte der Stütze

Stahl := "St37-2"

Betonklasse für Fundament

Beton := "B15"

a) Plattenfläche



Draufsicht Bild 3.2.2.1-2

Breite der Fußplatte $\min_{b_p} := b_s + 20\text{mm}$ $\min_{b_p} = 320.00\text{ mm}$
wählen $b_p := 300\text{ mm}$

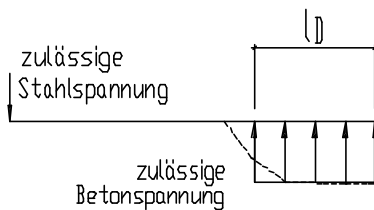
Länge der Fußplatte $\min_{h_p} := h_s$ $\min_{h_p} = 490.00\text{ mm}$
wählen $h_p := 600\text{ mm}$

Überstand zur Befestigung der Verankerung auf der Fußplatte

$$\ddot{u} := \frac{h_p - h_s}{2} \quad \ddot{u} = 55.00\text{ mm}$$

Der Überstand muß so groß sein, daß die vorgesehenen Zuganker befestigt werden können. Sollte dies nicht der Fall sein, so muß h_p verändert werden.

b) Zuganker und Druckfläche



Druckfläche Bild 3.2.2.1-3

Aus [3] für Rechteck Diagramm

Betondruckkraft $D_b = b \cdot 0.8 \cdot x \cdot 0.95 \cdot \text{zul}_{\sigma_b}$ [Gl. 1]

Abstand der Schrauben vom Rand $e_1 := 30\text{ mm}$

Abstand der Schrauben vom Gurt der Stütze $a_1 := \ddot{u} - e_1$



Kontrolle = "a1 für die Befestigung überprüfen" $a_1 = 25.00\text{ mm}$

Statische Höhe $h := h_p - e_1$ $h = 570.00\text{ mm}$

Druckfestigkeit des Betons $S_{\beta R}(\text{Beton}) = 10.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Zulässige Druckfestigkeit $\text{zul}_{\sigma_b} := \frac{S_{\beta R}(\text{Beton})}{1.3}$ $\text{zul}_{\sigma_b} = 8.08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Exzentrizität $e := \frac{M_d}{N_d}$ [Gl. 2]

Innerer Hebelarm $z = k_z \cdot h$ [Gl. 3]

Höhe der Druckzone $x = k_x \cdot h$ [Gl. 4]

Aus der Gleichgewichtsbedingung $\Sigma M = 0$ um den Punkt A erhält man die [Gl. 5]

$$\Sigma M_A = 0 \quad D_b \cdot z - M_d - N_d \cdot \left(h - \frac{1}{2} \right) = 0 \quad [\text{Gl. 5}]$$

Es werden die [Gl. 1, 2, 3 und 4] in [Gl. 5] eingesetzt und nach " $k_x \cdot k_z$ " aufgelöst.

Tabellenwert ($k_x \cdot k_y$) wird ersetzt durch (tbwert)

$$\text{tbwert} := \frac{N_d \cdot \left(e + h - \frac{h_p}{2} \right)}{0.76 \cdot b_p \cdot h^2 \cdot \text{zul_}\sigma_b} \quad \text{tbwert} = 0.1897$$

Der Ansatz zur Berechnung der Ankerzugkräfte bei voller Ausnutzung der zulässigen Betondruckspannungen setzt mit den Dehnungsgrenzen

$$\epsilon_b \leq 3.5 \text{ ‰} \quad \text{und} \quad \epsilon_s \leq 5.0 \text{ ‰} \quad \text{nach [2]}$$

voraus, daß der innere Hebelarm nicht größer als die statische Höhe sein kann.
Daraus folgt:

$$k_x < 1.0 \text{ und somit auch } (k_z \cdot k_x) < 0.6$$

Der Tabellenwert muß dann kleiner 0.6 sein.

$$\text{Bedingung}(\text{tbwert}, 0.6) = \text{"Bedingung erfüllt!"}$$



Kontrolle der Dehnungen in der Fuge zwischen Fundament und Fußplatte

Stahldehnung $\epsilon_s(\text{tbwert}) = 5.00 \times 10^{-3}$

Betonstauchung $\epsilon_b(\text{tbwert}) = -1.50 \times 10^{-3}$

Höhe der Druckzone

$$k_x := 1.25 - \sqrt{1.25^2 - 2.50 \cdot \text{tbwert}} \quad k_x = 0.21$$

Bestimmung des Beiwertes k_z des inneren Hebelarmes

$$k_z := 1 - 0.4 \cdot k_x \quad k_z = 0.92$$

Aus dem Gleichgewicht $\Sigma V = 0$ der Kräfte kann die Ankerzugkraft bestimmt werden

Druckkraft auf den Beton $D_b := 0.76 \cdot k_x \cdot b_p \cdot h \cdot \text{zul_}\sigma_b \quad D_b = 217.08 \text{ kN}$

Gleichgewicht $Z_s := D_b - N_d \quad Z_s = 167.08 \text{ kN}$

Verankerung :

zul Spannung
der Zuganker

$$\text{zul}_{\sigma_Z} := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Sicherheit der
Zuganker

$$\gamma_M := 1.75$$

erforderlicher Gesamt-
querschnitt

$$A_Z := \frac{Z_S}{\frac{\text{zul}_{\sigma_Z}}{\gamma_M}}$$

$$A_Z = 584.78 \text{ mm}^2$$

Es kann durch Veränderung der Werte h_D und/oder der Betonklasse Einfluß auf die Zugkraft genommen werden.

Drucklänge für ein Rechteck-Diagramm gemäß [3]

$$l_D := 0.8 \cdot k_X \cdot h$$

$$l_D = 94.30 \text{ mm}$$

c) Berechnung der Fußplatte

maximale Blechstärke $t := 40 \text{ mm}$

$$t = 40.00 \text{ mm}$$

Streckgrenze

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

Materialsicherheitsbeiwert

$$\gamma_M := 1.1$$

Bemessungswert
der Streckgrenze

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

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

Unter der Voraussetzung kleiner Überstände senkrecht zur Plattenachse wird die volle Plattenbreite b_p als mittragend angesetzt.

Maßgebende Schnittgrößen auf der Zugseite

Querkraft

$$V_Z := Z_S$$

$$V_Z = 167.08 \text{ kN}$$

Moment

$$M_Z := Z_S \cdot a_1$$

$$M_Z = 4.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maßgebende Schnittgrößen auf der Druckseite

Hier wird unterschieden zwischen Druckflächen, die sich über den gesamten Überstand \ddot{u} erstrecken, und solchen, die nur Teile erfassen, also $l_D < \ddot{u}$.

Querkraft

$$V_D := \begin{cases} 0.95 \cdot \text{zul}_{\sigma_b} \cdot b_p \cdot \ddot{u} & \text{if } l_D \geq \ddot{u} \\ 0.95 \cdot \text{zul}_{\sigma_b} \cdot b_p \cdot l_D & \text{if } l_D < \ddot{u} \end{cases}$$

$$V_D = 126.61 \text{ kN}$$

Moment

$$M_D := \begin{cases} 0.95 \cdot \text{zul}_{\sigma_b} \cdot b_p \cdot \frac{\ddot{u}^2}{2} & \text{if } l_D \geq \ddot{u} \\ 0.95 \cdot \text{zul}_{\sigma_b} \cdot b_p \cdot l_D \cdot \left(\ddot{u} - \frac{l_D}{2} \right) & \text{if } l_D < \ddot{u} \end{cases}$$

$$M_D = 3.48 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_d = \frac{M_d}{W_{el}}$$

[Gl. 6]

$$W_{el} = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad [Gl. 7]$$

[Gl. 7] wird in [Gl. 6] eingesetzt und nach "dp" aufgelöst. Folgende Transformation wird durchgeführt.

$$h \longrightarrow h_p$$

$$b \longrightarrow b_p$$

$$\sigma_d \longrightarrow f_{yd}$$

$$\max M := \max(M_Z, M_D) \quad \max M = 4.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{erf_dp} := \sqrt{\frac{6 \max M}{b_p \cdot f_{yd}}} \quad \text{erf_dp} = 19.57 \text{ mm}$$



Aufgerundete Plattendicke

$$d_p = 20.00 \text{ mm}$$

Schubnachweis

$$\max V := \max(V_D, V_Z) \quad \max V = 167.08 \text{ kN}$$

$$\tau_d := 1.5 \cdot \frac{\max V}{b_p \cdot d_p} \quad \tau_d = 41.77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Rd} := \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \tau_{Rd} = 125.97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis $\frac{\tau_d}{\tau_{Rd}} \leq 1$

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

d) Anschluß des Stützenschafts an die Fußplatte

Bei Doppel T-Profilen wird nach [3] Teil 1, Element 801 vereinfachend angenommen, daß die Biegemomente und Längskräfte nur in den Gurten und die Querkkräfte nur im Steg wirken.

Nachweis der Schweißnähte

Eine Kraftübertragung direkt über den Kontakt zwischen Fußplatte und Profil wird nicht angesetzt, da sonst die Kontaktbereiche winkeligerecht maschinell zu bearbeiten sind.

maßgebenden Kräfte im Gurt und im Steg

$$\text{Gurt} \quad F_{gd} := \frac{|M_d|}{h_S - t_g} + \frac{N_d}{2} \quad F_{gd} = 239.13 \text{ kN}$$

$$\text{Steg} \quad F_{sd} := V_d \quad F_{sd} = 21.50 \text{ kN}$$

Grenzschweißnahtspannung $\alpha_W := 0.95$

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

Gurtschweißnaht:

$$\min_t := \min(t_g, d_p) \quad \min_t = 20.00 \text{ mm}$$

$$\max_t := \max(t_g, d_p) \quad \max_t = 23.00 \text{ mm}$$

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

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

$$\text{erf}_{aW} := \frac{F_{gd}}{\sigma_{WRd} \cdot [2 \cdot (b_S + t_g) - t_s]} \quad \text{erf}_{aW} = 1.82 \text{ mm}$$



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

Fläche $A_{Wg} := [2 \cdot (b_S + t_g) - t_s] \cdot a_{Wg} \quad A_{Wg} = 3170.00 \text{ mm}^2$

Spannung $\sigma_{Wgd} := \frac{F_{gd}}{A_{Wg}} \quad \sigma_{Wgd} = 75.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

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

Stegschweißnaht:

$$\min_t := \min(t_s, d_p) \quad \min_t = 12.00 \text{ mm}$$

$$\max_t := \max(t_s, d_p) \quad \max_t = 20.00 \text{ mm}$$

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

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

$$\text{erf}_{aW} := \frac{F_{sd}}{\sigma_{WRd} \cdot [2 \cdot [h_S - 2 \cdot (t_g + r_S)]]} \quad \text{erf}_{aW} = 0.13 \text{ mm}$$



empfohlene Schweißnaht $a_{Ws} := \text{ceil}(a) \cdot \text{mm} \quad a_{Ws} = 4.00 \text{ mm}$

Fläche $A_{Ws} := a_{Ws} \cdot 2 \cdot [h_S - 2 \cdot (t_g + r_S)] \quad A_{Ws} = 3120.00 \text{ mm}^2$

Spannung $\tau_{Wsd} := \frac{V_d}{A_{Ws}} \quad \tau_{Wsd} = 6.89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

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

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

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

- ☐ 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)