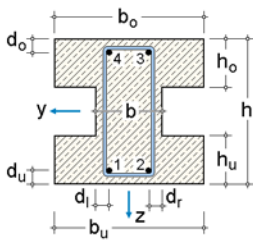


POS. 35: DOPPEL-T (STB. 2-ACHS.)

Biege- und Schubbemessung einschl. Gebrauchsnachweise (EC 2 (1.11), NA: Deutschland)

Zweiachsig Biegung mit/ohne Normalkraft (4H-BETON Version: 11/2007-4I)



Doppel-T-Querschnitt

h = 100.0 cm b = 40.0 cm
 h_o = 20.0 cm b_o = 160.0 cm
 h_u = 30.0 cm b_u = 60.0 cm

Randabstände der Längsbewehrung

d_o = 6.0 cm d_u = 6.0 cm
 d_l = 6.0 cm d_r = 6.0 cm

Material

C25/30
 BSt 500 (A)
 $\gamma_s = 1.15$, $\gamma_c = 1.50$
 Expositionsklasse X0

Min./Max. Bewehrung

min A_s (9.2.1.1, 9.5.2), max $\rho_0 = 8.00 \%$

Bewehrungsgruppen

Nr	Rang	min A _s cm ²	max A _s cm ²
1	1	0.00	100.00
2	1	0.00	100.00
3	1	0.00	100.00
4	1	0.00	100.00

min A_s: Grundbewehrung je Gruppe
 max A_s: höchste Bewehrungsmenge je Gruppe

Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit werden mit der Spannungsdehnungslinie für den Beton nach 3.1.7 (Bild 3.3) mit $f_{cd} = \alpha_c f_{ck} / \gamma_c = 14.2 \text{ MN/m}^2$ und der Spannungsdehnungslinie für die Bewehrung nach 3.2.7 (Bild 3.8) mit $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434.8 \text{ MN/m}^2$ und $f_{td} = f_{tk} / \gamma_s = 456.5 \text{ MN/m}^2$ geführt!

Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit werden mit der Spannungsdehnungslinie für den Beton nach 3.1.5 (Bild 3.2) mit $f_c = f_{cm} = 33.0 \text{ MN/m}^2$ und der Spannungsdehnungslinie für die Bewehrung nach 3.2.7 (Bild 3.8) mit $f_y = f_{yk}$, $f_t = 525.0 \text{ MN/m}^2$ und $\epsilon_{uk} = 25\%$ geführt!

Bemessungsgrößen und erforderliche Bewehrungsquerschnitte (EC 2, 6.1)

	γ	N _{Ed} kN	M _{yEd} kNm	M _{zEd} kNm	ϵ_{c2u} ‰	ϵ_{s2u} ‰	ϵ_{s1u} ‰	ϵ_{c1u} ‰	α_{ku} °	d cm	z cm	x cm
1	---	-55.00	387.00	256.00	-2.77	0.30	25.00	26.99	94.50	101.1	86.3	10.1
			305.43	0.00	-1.10	0.57	25.00	26.67	90.00	94.0	76.3	3.9

ϵ_{c2u} : Betondehnung im Bruchzustand (Faser 2), ϵ_{s1u} : Dehnung der Bewehrung im Bruchzustand (Faser 1),
 α_{ku} : Richtungswinkel der Querschnittshauptdehnung, d: statische Höhe, z: Hebelarm der inneren Kräfte, x: Betondruckzonenhöhe

	A _{sb1} cm ²	A _{sb2} cm ²	A _{sb3} cm ²	A _{sb4} cm ²	Bemerkung
1	4.37	4.37	4.37	4.37	
	3.26	3.26	3.26	3.26	8)

8) Mindestbewehrung nach 9.2.1.1

⇒ Längsbewehrung: erf A_s = 4.4/4.4/4.4/4.4 cm²

Schubbemessung (EC 2, 6.2 + 6.3) - getrennt für V_{yEd}+T_{Ed} und V_{zEd}+T_{Ed}

Mindestbewehrung nach 9.2.2(5), Materialgüte wie Biegebewehrung

z = 0.9 d (10.3.4(2), d je Richtung), c_{v,D} = 3.0 cm, D = Druckbewehrung

Druckstrebenwinkel $\theta_{gew} = 0^\circ$, Torsion: $t_{eff} = A_c / U_c > 2 \cdot \min(d_o, d_u)$

Der Mindestwert von V_{Rdct} wird nach Norm begrenzt (V_{Rdct} ≥ min V_{Rdct}).

Es wird nur der Steg bemessen; der Anschluss von Zug-/Druckgurt muss gesondert nachgewiesen werden.

Bemessung für Querkraft (EC 2, 6.2)

	V _{yEd} kN	V _{zEd} kN	Z _y cm	V _{yRdct} kN	θ_y °	V _{yRdmax} kN	Z _z cm	V _{zRdct} kN	θ_z °	V _{zRdmax} kN	a _{s,büV} cm ² /m	Bemerkung
1	0.00	186.00	0.0	0.00	0.0	0.00	84.6	122.43	31.6	1603.24	3.28	Mindestbew.

z: maßgebender innerer Hebelarm, V_{Rdct}: Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung

θ : Druckstrebenwinkel, V_{Rdmax}: Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit

Bemessung für Torsion (EC 2, 6.3)

	T _{Ed} kNm	V _{yEd} +V _{zEd} kN	θ_y °	V _{zEd} +V _{yEd} kN	θ_z °	T _{Rdmax} kNm	a _{s,büT} cm ² /m	A _{s,T} cm ²	Bemerkung
1	135.00	0.00	0.0	328.93	31.6	208.85	4.32	25.57	

Angabe der Bügelbewehrung a_{s,büT} je Schenkel, die Torsionslängsbewehrung A_{s,T} ist gleichmäßig über den Umfang zu verteilen

Bemessung für Querkraft und Torsion (EC 2, 6.3(4))

1: (T_{Ed} / T_{Rdmax}) + (V_{zEd} / V_{zRdmax}) = 0.43 < 1.0 ⇒ Nachweis erfüllt!

⇒ Schubbewehrung: erf $a_{s,büV} = 3.28 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Torsion: erf $a_{s,büT} = 4.32 \text{ cm}^2/\text{m}$ (1-schnittig)
 Σ (2-schnittig) erf $a_{s,bü} = 11.93 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Torsion: erf $A_{s,T} = 25.6 \text{ cm}^2$ (gleichmäßig über den Umfang verteilen)

Begrenzung der Rissbreite (EC 2, 7.3: 7.3.2 Mindestbewehrung, 7.3.3 ohne direkte Berechnung)

Rissbildung unter Biegezwang (selbst induziert)
 Faktor für den Erhärtungsablauf des Betons $k_{z,t} = 1.00$
 Normalkraft in der Schwerlinie bei Erstrissbildung $N_{cr} = 0.00 \text{ kN}$
 Rissbreite $w_k = 0.30 \text{ mm}$
 Risschnittgrößen: $N_r = 400.00 \text{ kN}$ $M_{yR} = 100.00 \text{ kNm}$ $M_{zR} = 300.00 \text{ kNm}$
 Bewehrung (Anfangszustand): $A_s = 4.37/4.37/4.37/4.37 \text{ cm}^2$

Nr	d_s mm	k_c	k	$A_{s,min}$ cm ²	d_{sgr} mm	σ_s N/mm ²	ΔA_{sr} cm ²
1	20	0.40	0.74	3.55	60.0	56.1	9.50
2	20	0.40	0.74	3.55	41.6	149.0	9.50
3	20	0.40	0.74	3.55	20.0	223.0	9.50
4	20	0.40	0.74	3.55	54.5	130.2	9.50

Betonzugfestigkeit (Zwang) $f_{ct,eff} = 2.56 \text{ N/mm}^2$ Betonzugfestigkeit (Last) $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
 k_c : Beiwert - Spannungsverteilung, k : Beiwert - Betonzugspannungen, $A_{s,min}$: Mindestbewehrung aus Zwang
 d_s : gewählter Stabdurchmesser, d_{sgr} : vorhandener Stabdurchmesser
 σ_s : Stahlzugspannung, ΔA_{sr} : Bewehrungserhöhung aus Last und Zwang

⇒ einschl. Rissbewehrung: erf $A_s = 13.9/13.9/13.9/13.9 \text{ cm}^2$

Nachweis der Ermüdung (EC 2, 6.8.5 + 6.8.7(1))

für Stahl: $U_{s1} = \gamma_{F,fat} \gamma_{Ed,fat} \Delta\sigma_{s,equ} \leq U_{s2} = \Delta\sigma_{Rsk}(N^*)/\gamma_{s,fat} = 152.17 \text{ N/mm}^2$
 schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{s,equ} = \sigma_{s,0} - \sigma_{s,U}$
 Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{F,fat} = 1.00$, $\gamma_{Ed,fat} = 1.00$, $\gamma_{s,fat} = \gamma_s = 1.15$
 zul. Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*) = 175.0 \text{ N/mm}^2$
 für Querkraft: $\Delta\sigma_{Rskv}(N^*) = 107.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{s2v} = \Delta\sigma_{Rskv}(N^*)/\gamma_{s,fat} = 93.04 \text{ N/mm}^2$
 für Beton: $U_{c1} = |\sigma_{cd,max,equ}|/f_{cd,fat} + 0.43 \sqrt{(1 - \sigma_{cd,min,equ}/\sigma_{cd,max,equ})} \leq 1.0$
 Bemessungswert der Zylinderdruckfestigkeit $f_{cd,fat} = 15.00 \text{ N/mm}^2$ bei $t_0 = 28 \text{ d}$
 Materialsicherheit $\gamma_{c,fat} = \gamma_c = 1.50$
 Belastung: $N_{s1} = 0.00 \text{ kN}$ $M_{ys1} = 187.00 \text{ kNm}$ $M_{zs1} = 256.00 \text{ kNm}$ $V_{ys1} = 0.00 \text{ kN}$ $V_{zs1} = 186.00 \text{ kN}$
 $N_{s2} = -10.00 \text{ kN}$ $M_{ys2} = 210.00 \text{ kNm}$ $M_{zs2} = 145.00 \text{ kNm}$ $V_{ys2} = 225.00 \text{ kN}$ $V_{zs2} = 200.00 \text{ kN}$
 Bewehrung (Anfangszustand): $A_s = 13.87/13.87/13.87/13.87 \text{ cm}^2$ $a_{s,büV} = 3.28 \text{ cm}^2/\text{m}$

Ermüdungsnachweis für Stahl:

Nr	$\sigma_{s,0}$ N/mm ²	$\sigma_{s,U}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{s,equ}$ N/mm ²	U_{s1} N/mm ²	$\Delta A_{s,fat}$ cm ²
1	81.10	62.85	18.25	18.25	0.00
2	101.16	91.24	9.92	9.92	0.00
3	69.41	6.47	62.94	62.94	0.00
4	31.09	-3.68	34.77	34.77	0.00

Ermüdungsnachweis für Beton:

$\sigma_{cd,min,equ} = 2.18 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{cd,max,equ} = 7.98 \text{ N/mm}^2$
 $U_{c1} = 0.90 < 1.00 \Rightarrow$ Nachweis erfüllt!
Nachweis der Betondruckstrebe für maßgebendes $V_{s1,2}$:
 $\sigma_{cdv,min,equ} = 0.00 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{cdv,max,equ} = 2.41 \text{ N/mm}^2$
 $U_{c1v} = 0.24 < 0.50 \Rightarrow$ Nachweis erfüllt!

Querkraftbewehrung:

$\Delta\sigma_{sv,equ} = 93.04 - 0.00 = 93.04 \text{ N/mm}^2 = U_{s2v}$
 $\Delta\sigma_{sv,equz} = 27.37 - 25.46 = 1.92 \text{ N/mm}^2$
 $U_{s1vz} = 1.92 < U_{s2v} = 93.04$
 $\Rightarrow \Delta a_{sbü,fat} = 46.58 \text{ cm}^2/\text{m}$

⇒ einschl. Ermüdungsbewehrung: erf $A_s = 13.9/13.9/13.9/13.9 \text{ cm}^2$
 erf $a_{s,büV} = 49.86 \text{ cm}^2/\text{m}$

Begrenzung der Stahlzug- und Betondruckspannungen (EC 2, 7.2)

zulässige Stahlzugspannung $\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} = 400.0 \text{ N/mm}^2$
 zulässige Betondruckspannung $\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = -15.0 \text{ N/mm}^2$
 Spannungsschnittgrößen: $N_\sigma = 85.00 \text{ kN}$ $M_{y\sigma} = 387.00 \text{ kNm}$ $M_{z\sigma} = 256.00 \text{ kNm}$
 Bewehrung (Anfangszustand): $A_s = 13.87/13.87/13.87/13.87 \text{ cm}^2$

maximale Stahlzugspannungen

Nr	σ_{0s} N/mm ²	σ_s N/mm ²	$\Delta A_{s\sigma}$ cm ²
1	161.6	161.6	0.00
2	183.8	183.8	0.00
3	21.3	21.3	0.00
4	-0.9	0.0	0.00

minimale Betondruckspannung

Anfangszustand:

$$\sigma_{0c} = -9.4 \text{ N/mm}^2$$

Endzustand:

$$\sigma_c = -9.4 \text{ N/mm}^2 > -15.0$$

σ_{0s} : Anfangszustand, σ_s : Endzustand
 $\Delta A_{s\sigma}$: Bewehrungserhöhung aus Stahl- und Betonnachweis

⇒ keine zusätzliche Spannungsbewehrung !

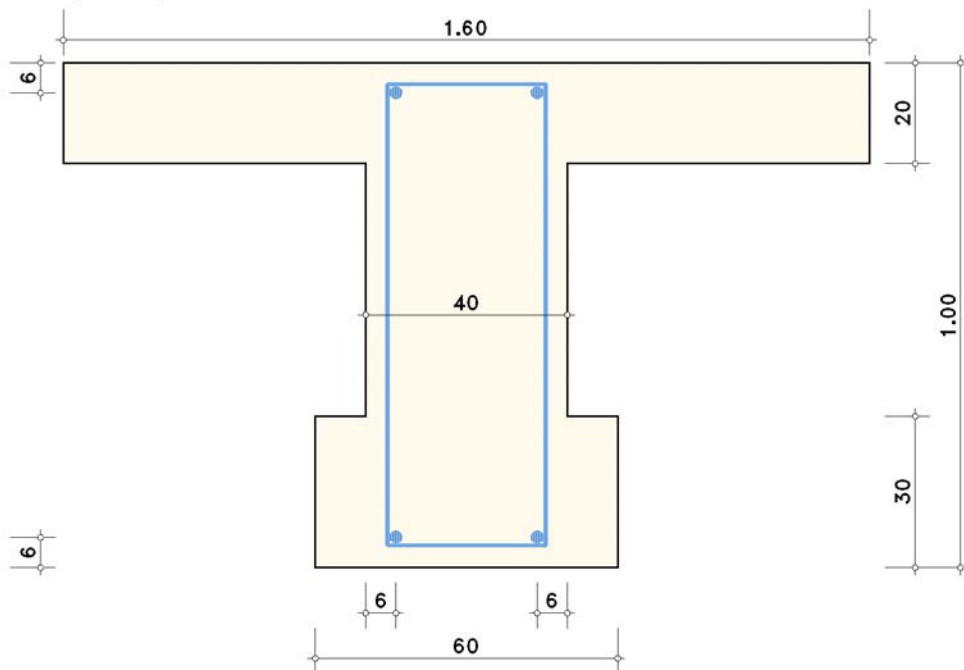
Gesamtbewehrung: total $A_s = 13.9/13.9/13.9/13.9 \text{ cm}^2$
total $a_{s,büV} = 49.86 \text{ cm}^2/\text{m}$
total $a_{s,büT} = 4.32 \text{ cm}^2/\text{m}$, $A_{s,T} = 25.6 \text{ cm}^2$
Ausnutzungsgrad: $U = 0.35$

gewählt: Längs, E1: 1 Ø 25 = 4.9 cm² < 13.9 cm²
E2: 1 Ø 25 = 4.9 cm² < 13.9 cm²
E3: 1 Ø 25 = 4.9 cm² < 13.9 cm²
E4: 1 Ø 25 = 4.9 cm² < 13.9 cm²
Bügel, 2-schnittig: Ø 8 / 30 cm = 3.35 cm²/m < 58.51 cm²/m

Bewehrungsskizze:

Maßstab 1 : 15

Bewehrung nur angedeutet!



Querschnittsdaten

Bruttobetongfläche: $A_c = 70.0 \text{ dm}^2$ Flächenträgheitsmomente: $I_{cys} = 723.0 \text{ dm}^4$, $I_{czs} = 763.3 \text{ dm}^4$

Schwerpunktkoordinaten (von der Mitte des oberen Randes): $y_s = 0.0 \text{ cm}$, $z_s = 39.3 \text{ cm}$

Gesamtfläche der Längsbewehrung: $\Sigma(\text{erf } A_s) = 55.5 \text{ cm}^2 \Rightarrow \rho_s = 0.79\% < 8.00\%$

Materialdaten für die Bemessung

Beton	f_{ck} MN/m ²	α	ϵ_{c2} ‰	ϵ_{c2u} ‰	n_c	E_{cm} MN/m ²	f_{ctm} MN/m ²
C25/30	25.0	0.850	-2.00	-3.50	2.00	31475.8	2.565

Bewehrung	f_{yk} MN/m ²	f_{tk} MN/m ²	ϵ_{su} ‰	E_s MN/m ²
BSt 500 (A)	500.0	525.0	25.00	200000.0

Bemessungswert der Zylinderdruckfestigkeit $f_{cd} = \alpha_c f_{ck} / \gamma_c$

Dehnung beim Erreichen der Festigkeitsgrenze ϵ_{c2} , Bruchdehnung ϵ_{c2u}

Betonspannungen $\sigma_c = f_{cd} (1 - (1 - \epsilon_c / \epsilon_{c2})^n)$ für $0 \leq \epsilon_c < \epsilon_{c2}$ und $\sigma_c = f_{cd}$ für $\epsilon_c \geq \epsilon_{c2} > \epsilon_{c2u}$

Elastizitätsmodul E_{cm} , Mittelwert der zentralen Zugfestigkeit f_{ctm}

Bemessungswert der Streckgrenze $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

Bemessungswert der Zugfestigkeit $f_{td} = f_{tk} / \gamma_s$

Stahlbruchdehnung ϵ_{su} , Elastizitätsmodul E_s