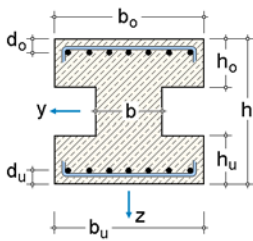


POS. 22: DOPPEL-T (STB. 1-ACHS.)

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

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



Doppel-T-Querschnitt

$h = 100.0 \text{ cm}$, $b = 40.0 \text{ cm}$
 $h_0 = 20.0 \text{ cm}$, $b_0 = 160.0 \text{ cm}$
 $h_u = 30.0 \text{ cm}$, $b_u = 60.0 \text{ cm}$

Randabstände der Längsbewehrung
 $d_o = 3.8 \text{ cm}$, $d_u = 6.6 \text{ cm}$

Material

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

Bewehrungsanordnung

Begrenzung der Druckzonenhöhe
 auf $\lim \xi = 0.617$

Min./Max. Bewehrung

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

Grundbewehrung

$A_{s0o} = 0.00 \text{ cm}^2$, $A_{s0u} = 0.00 \text{ cm}^2$
 $a_{s0b\underline{u}} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

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_{Ed} kNm | ϵ_{c2u} ‰ | ϵ_{s2u} ‰ | ϵ_{s1u} ‰ | ϵ_{c1u} ‰ | ξ | ζ | d cm | A_{s0} cm ² | A_{su} cm ² | Bemerkung |
|---|----------|----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|---------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|
| 1 | --- | 100.00 | 1500.00 | -2.78 | -1.65 | 25.00 | 26.96 | 0.10 | 0.96 | 93.4 | ---- | 37.51 | |
| | | | 305.43 | -0.99 | 0.07 | 25.00 | 26.84 | ---- | ---- | ---- | ---- | 6.63 | 9) |

$\epsilon_{c2u} = -3.50\%$: Betondehnung im Bruchzustand (Faser 2), $\epsilon_{s1u} = 25.00\%$: Dehnung der Bewehrung im Bruchzustand (Faser 1)
 $x = \xi d$: Höhe der Betondruckzone, $z = \zeta d$: Hebelarm der inneren Kräfte, $d = h - d_i$: statische Nutzhöhe

9) Mindestbewehrung nach 9.2.1.1

⇒ Längsbewehrung: erf $A_{s0} = 0.0 \text{ cm}^2$ erf $A_{su} = 37.5 \text{ cm}^2$

Schub- und Verbundbemessung (EC 2, 6.2 + 6.3)

Mindestbewehrung nach 9.2.2(5), Materialgüte wie Biegebewehrung

$z = 0.9 d$ (6.2.3(1)), $c_{v,D} = 3.0 \text{ cm}$, D = Druckbewehrung

Bewehrungswinkel $\alpha = 90.0^\circ$, Druckstrebenwinkel $\theta_{gew} = 0^\circ$

Zugbewehrung $A_{s1,gew} = 8.0 \text{ cm}^2$

Der Mindestwert von V_{Rdct} wird nach Norm begrenzt ($V_{Rdct} \geq \min V_{Rdct}$).

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

Bemessung für Querkraft (EC 2, 6.2)

| | V_{Ed} kN | ρ_l % | z cm | V_{Rdct} kN | θ ° | $\cot \theta$ | V_{Rdmax} kN | AB | a_l cm | $a_{s,b\underline{u}v}$ cm ² /m | Bemerkung |
|---|----------------|---------------|-----------|------------------|---------------|---------------|-------------------|----|-------------|---|------------------|
| 1 | 50.00 | 0.21 | 84.1 | 104.46 | 18.4 | 3.00 | 1071.76 | 1 | 126.1 | 3.28 | Mindestbewehrung |

ρ_l : Längsbewehrungsgrad bezogen auf die statische Höhe, z : maßgebender innerer Hebelarm

V_{Rdct} : Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung, θ : Druckstrebenwinkel,

V_{Rdmax} : Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit, a_l : Versatzmaß

AB: Ausnutzungsbereich s. NA-DE

Schubkraftübertragung in Fugen (EC 2, 6.2.5)

Bemessungswert der zu übertragenden Schubkraft $v_{Ed,j} = \beta \cdot V_{Ed} / (z \cdot b_j)$ mit $\beta = 1.00$,

Breite der Kontaktfläche $b_j = 40.00 \text{ cm}$ (im Steg), Druckstrebenwinkel $\theta_j = 45^\circ$,

Normalspannung senkrecht zur Fuge $\sigma_n = 0$

Beanspruchung der Fuge aus dynamischer Belastung

Oberflächenbeschaffenheit der Fuge: glatt (⇒ $c = 0.10$, $\mu = 0.6$)

| | $v_{Ed,j}$ kN/m ² | $v_{Rdct,j}$ kN/m ² | Z_j cm | $v_{Rdmax,j}$ kN/m ² | $a_{s,büj}$ cm ² /m | Bemerkung |
|---|---------------------------------|-----------------------------------|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | 59.48 | 0.00 | 84.1 | 566.67 | 1.90 | |

Analog zur Querkraftbemessung: $v_{Rdct,j} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n$, $v_{Rdmax,j} = 0.5 \cdot v_{fcd}$ (v Festigkeitsabminderungsbeiwert)
 Bemessungswert der Betonzugfestigkeit: $f_{ctd} = 1.20 \text{ N/mm}^2$

⇒ Schubbewehrung: erf $a_{s,bü} = 3.28 \text{ cm}^2/\text{m} = \max(a_{s,büV}, a_{s,büj})$

Begrenzung der Rissbreite (EC 2, 7.3: 7.3.2 Mindestbewehrung, 7.3.4 Begrenzung der Rissbreite)

Rissbildung unter Biegezwang (selbst induz.)

Faktor für Erhärtungsablauf $k_{z,t} = 1.00$

Erstrissbildung: $N_{cr} = 100.00 \text{ kN}$

Rissbreite $w_k = 0.30 \text{ mm}$

gew. Durchmesser $d_{s0} = 20 \text{ mm}$ $d_{su} = 20 \text{ mm}$

Risschnittgrößen:

$N_r = 80.00 \text{ kN}$ $M_r = 1200.00 \text{ kNm}$

Anfangszustand: $A_{s0} = 0.00 \text{ cm}^2$ $A_{su} = 37.51 \text{ cm}^2$

Mindestbewehrung:

Beiwert - Spannungsverteilung $k_c = 0.53 / 0.35$

Beiwert - Eigenspannungen $k = 0.74$

Betonzugfestigkeit (Zwang) $f_{ct,eff} = 2.56 \text{ N/mm}^2$

Zugzonen $A_{ct0} = 16.6 \text{ dm}^2$ $A_{ctu} = 25.7 \text{ dm}^2$

($A_{sto,min} = 5.1 \text{ cm}^2$ $A_{stu,min} = 11.5 \text{ cm}^2$)

Begrenzung der Rissbreite:

Betonzugfestigkeit (Last) $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2.56 \text{ N/mm}^2$

wirksame Plattenbreite $b_{eff} = 51.4 / 59.8 \text{ cm}$

$\sigma_{s0} = 0.0 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{su} = 385.7 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{c0} = 0.00 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_s - \epsilon_c = 0.000\%$, $s_{r,max} = 0.0 \text{ mm}$

$\sigma_{cu} = 5.71 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_s - \epsilon_c = 1.747\%$, $s_{r,max} = 171.6 \text{ mm}$

($A_{sto,ste} = 0.0 \text{ cm}^2$ ($d_{s0} = 20 \text{ mm}$))

$A_{stu,ste} = 37.5 \text{ cm}^2$ (⇒ $d_{su} = 21.3 \text{ mm} > 20$, $w_u = 0.28 \text{ mm}$)

Zusatzbewehrung:

$\max A_{sto} = 5.1 \text{ cm}^2$ ⇒ $\Delta A_{sto} = 5.1 \text{ cm}^2$

⇒ einschl. Rissbewehrung: erf $A_{s0} = 5.1 \text{ cm}^2$ erf $A_{su} = 37.5 \text{ cm}^2$

Nachweis der Ermüdung (EC 2, 6.8.6 + 6.8.7(2))

für Stahl: $U_{s1} = \Delta \sigma_s \leq U_{s2} = 70.0 \text{ N/mm}^2$

Spannungsschwingbreite $\Delta \sigma_s = \sigma_{s,0} - \sigma_{s,u}$

für Querkraft: $U_{s1v} = \Delta \sigma_{sv} \leq U_{s2v} = 70.0 \text{ N/mm}^2$

für Beton: $U_{c1} = |\sigma_{cd,max}| / f_{cd,fat} \leq 0.5 + 0.45 |\sigma_{cd,min}| / f_{cd,fat} \leq 0.9$

Bemessungswert der Zylinderdruckfestigkeit $f_{cd,fat} = 15.00 \text{ N/mm}^2$ bei $t_0 = 28 \text{ d}$

Materialsicherheit $\gamma_{c,fat} = \gamma_c = 1.50$

Abminderungsfaktor für Querkraft $\alpha_c = 0.75$ ($f_{cdv,fat} = \alpha_c f_{cd,fat}$)

Belastung: $N_{s1} = 50.00 \text{ kN}$ $M_{s1} = 900.00 \text{ kNm}$ $V_{s1} = 50.00 \text{ kN}$

$N_{s2} = 100.00 \text{ kN}$ $M_{s2} = 1350.00 \text{ kNm}$ $V_{s2} = 75.00 \text{ kN}$

Bewehrung (Anfangszustand): $A_{s0} = 5.12 \text{ cm}^2$ $A_{su} = 37.51 \text{ cm}^2$ $a_{s,büV} = 3.28 \text{ cm}^2/\text{m}$

Ermüdungsnachweis für Stahl:

Anfangszustand:

$\Delta \sigma_{s00} = -39.79 - -60.32 = 20.53 \text{ N/mm}^2$

$\Delta \sigma_{s0u} = 417.85 - 276.72 = 141.13 \text{ N/mm}^2$

Endzustand:

$\Delta \sigma_{s0} = -32.05 - -48.36 = 16.31 \text{ N/mm}^2$

$U_{s10} = 16.31 < U_{s2} = 70.00$ ⇒ $\Delta A_{s0,fat} = 0.0 \text{ cm}^2$

$\Delta \sigma_{su} = 207.24 - 137.31 = 69.93 \text{ N/mm}^2$

$U_{s1u} = 69.93 < U_{s2} = 70.00$ ⇒ $\Delta A_{su,fat} = 39.6 \text{ cm}^2$

Querkraftbewehrung:

$\Delta \sigma_{sv} = 156.90 - 104.60 = 52.30 \text{ N/mm}^2$

$U_{s1v} = 52.30 < U_{s2v} = 70.00$

Ermüdungsnachweis für Beton:

$\sigma_{cd,min} = 5.89 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{cd,max} = 8.67 \text{ N/mm}^2$

$U_{c1} = 0.58 < 0.68 < 0.9$ ⇒ Nachweis erfüllt !

Nachweis der Betondruckstrebe:

$\sigma_{cdv,min} = 0.50 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{cdv,max} = 0.74 \text{ N/mm}^2$

$U_{c1v} = 0.07 < 0.52 < 0.9$ ⇒ Nachweis erfüllt !

⇒ einschl. Ermüdungsbewehrung: erf $A_{s0} = 5.1 \text{ cm}^2$ erf $A_{su} = 77.1 \text{ cm}^2$

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: $N_\sigma = 100.00 \text{ kN}$, $M_\sigma = 1500.00 \text{ kNm}$

Bewehrung (Anfangszustand): $A_{s0} = 5.12 \text{ cm}^2$ $A_{su} = 77.14 \text{ cm}^2$

maximale Stahlzugspannungen

Anfangszustand:

$\sigma_{s0} = -54.1 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{su} = 229.8 \text{ N/mm}^2$

= Endzustand

minimale Betondruckspannung

Anfangszustand:

$\sigma_{0c} = -9.6 \text{ N/mm}^2$

= Endzustand

⇒ keine zusätzliche Spannungsbewehrung !

Gesamtbewehrung: total $A_{so} = 5.1 \text{ cm}^2$ $A_{su} = 77.1 \text{ cm}^2$

total $a_{s,büv} = 3.28 \text{ cm}^2/\text{m}$

Ausnutzungsgrad: $U = 0.51$

gewählt: Längs, oben: $2 \text{ } \varnothing 10 = 1.6 \text{ cm}^2 < 5.1 \text{ cm}^2$
 unten: $8 \text{ } \varnothing 20 + 4 \text{ } \varnothing 20 = 37.7 \text{ cm}^2 < 77.1 \text{ cm}^2$
 Bügel, 2-schnittig: $\varnothing 8 / 30 \text{ cm} = 3.35 \text{ cm}^2/\text{m} > 3.28 \text{ cm}^2/\text{m}$

Verankerungslängen oben ($A_{sb,erf} = 0.00 \text{ cm}^2$ $A_{s,vorh} = 1.57 \text{ cm}^2$):

l_b : Grundmaß der Verankerungslänge, $l_{b,min}$: Mindestwert der Verankerungslänge, $l_{b,net}$: Verankerungslänge
 Zugkraftdeckung: Verankerungslänge am $l_{b,dir}$: direkten Endauflager, $l_{b,ind}$: indirekten Endauflager, $l_{b,Zwi}$: Zwischenaflager

mit Winkelhaken: $l_b = 57.7 \text{ cm}$, $l_{b,min} = 12.1 \text{ cm}$, $l_{b,net} = 12.1 \text{ cm}$

$l_{b,dir} = 8.1 \text{ cm}$, $l_{b,ind} = 12.1 \text{ cm}$, $l_{b,Zwi} = 6.0 \text{ cm}$

ohne: $l_b = 57.7 \text{ cm}$, $l_{b,min} = 17.3 \text{ cm}$, $l_{b,net} = 17.3 \text{ cm}$

$l_{b,dir} = 11.5 \text{ cm}$, $l_{b,ind} = 17.3 \text{ cm}$, $l_{b,Zwi} = 6.0 \text{ cm}$

Verankerungslängen unten ($A_{sb,erf} = 37.51 \text{ cm}^2$ $A_{s,vorh} = 37.70 \text{ cm}^2$):

l_b : Grundmaß der Verankerungslänge, $l_{b,min}$: Mindestwert der Verankerungslänge, $l_{b,net}$: Verankerungslänge
 Zugkraftdeckung: Verankerungslänge am $l_{b,dir}$: direkten Endauflager, $l_{b,ind}$: indirekten Endauflager, $l_{b,Zwi}$: Zwischenaflager

mit Winkelhaken: $l_b = 80.7 \text{ cm}$, $l_{b,min} = 20.0 \text{ cm}$, $l_{b,net} = 56.2 \text{ cm}$

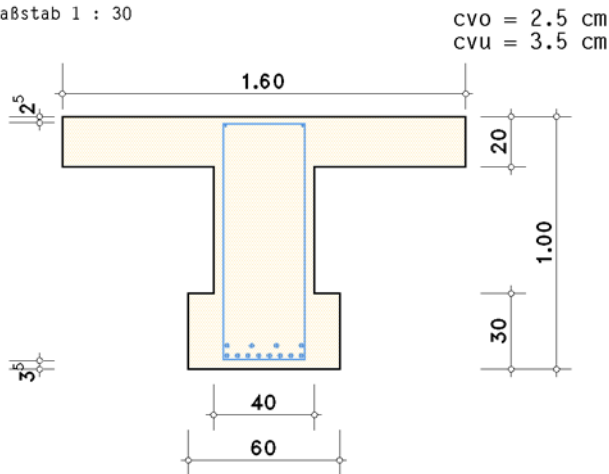
$l_{b,dir} = 37.5 \text{ cm}$, $l_{b,ind} = 56.2 \text{ cm}$, $l_{b,Zwi} = 12.0 \text{ cm}$

ohne: $l_b = 80.7 \text{ cm}$, $l_{b,min} = 24.2 \text{ cm}$, $l_{b,net} = 80.3 \text{ cm}$

$l_{b,dir} = 53.5 \text{ cm}$, $l_{b,ind} = 80.3 \text{ cm}$, $l_{b,Zwi} = 12.0 \text{ cm}$

Bewehrungsskizze:

Maßstab 1 : 30



Querschnittsdaten

Bruttobetongfläche: $A_c = 70.0 \text{ dm}^2$, Flächenträgheitsmoment: $I_{cs} = 723.0 \text{ dm}^4$

Widerstandsmoment: $W_{cs} = 119.1 \text{ dm}^3$, Schwerpunktsabstand vom oberen Rand: $z_s = 39.3 \text{ cm}$

Gesamtfläche der Längsbewehrung: $\Sigma(erf A_s) = 82.3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \rho_s = 1.18\% < 8.00\%$

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 zentrischen 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

