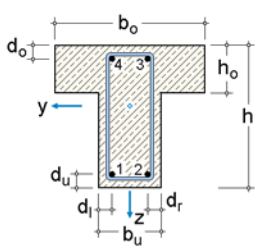


POS. 32: PLATTENBALKEN (STB. 2-ACHS.)

Biege- und Schubmessung einschl. Gebrauchsnachweise (EC 2 (1.11), NA: Deutschland)
 Zweiachsig Biegung mit/ohne Normalkraft (4H-BETON Version: 11/2007-4I)



Plattenbalken-Querschnitt

h = 75.0 cm ho = 16.0 cm
 bo = 145.0 cm bu = 25.0 cm
 do = 6.0 cm du = 6.0 cm
 di = 6.0 cm dr = 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 | x | 20.00 | 100.00 |
| 2 | x | 25.00 | 100.00 |
| 3 | x | 15.00 | 100.00 |
| 4 | x | 30.00 | 100.00 |

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

Rangfolge lastfallweise variabel

Bügel: min $a_{sbü} = 40.00$ cm²/m

Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit werden mit der Spannungsdehnungslinie für den Beton nach 3.1.7 (Bild 3.3) mit $f_{cd} = \alpha_c f_{ck} / \gamma_c = 14.2$ MN/m² und der Spannungsdehnungslinie für die Bewehrung nach 3.2.7 (Bild 3.8) mit $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434.8$ MN/m² und $f_{td} = f_{tk} / \gamma_s = 456.5$ MN/m² geführt!

Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit werden mit der Spannungsdehnungslinie für den Beton nach 3.1.5 (Bild 3.2) mit $f_c = f_{cm} = 33.0$ MN/m² und der Spannungsdehnungslinie für die Bewehrung nach 3.2.7 (Bild 3.8) mit $f_y = f_{yk}$, $f_t = 525.0$ MN/m² 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 | --- | 90.00 | 100.00 | 300.00 | -3.50 | 0.52 | 5.92 | 13.65 | 209.40 | 73.7 | 65.4 | 27.4 |
| | | | 0.00 | -20.04 | -2.47 | 1.73 | 25.00 | 47.23 | 0.00 | 79.0 | 75.7 | 7.1 |

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 | 4.14 | 4.14 | 4.14 | 4.14 | 12) |
| | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 8) 12) |

8) Mindestbewehrung nach 9.2.1.1

12) einachsige Bemessung unwirtschaftlich

⇒ Längsbewehrung: erf $A_s = 20.0/25.0/15.0/30.0$ cm²

Schubmessung (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 ($V_{Rdct} \geq \min V_{Rdct}$).

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

Bemessung für Querkraft (EC 2, 6.2)

| | V_{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 | 100.00 | 45.00 | 13.0 | 79.43 | 33.8 | 479.16 | 62.1 | 66.63 | 30.2 | 716.75 | 11.86 | |

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_{yEdT+V} kN | θ_y ° | V_{zEdT+V} kN | θ_z ° | T_{Rdmax} kNm | $a_{s,büT}$ cm ² /m | $A_{s,T}$ cm ² | Bemerkung |
|---|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------|
| 1 | 35.00 | 39.17 | 33.8 | 128.88 | 30.2 | 66.14 | 2.63 | 10.97 | |

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: $(T_{Ed} / T_{Rdmax}) + (V_{yEd} / V_{yRdmax}) = 0.32 < 1.0$
 $(T_{Ed} / T_{Rdmax}) + (V_{zEd} / V_{zRdmax}) = 0.32 < 1.0 \Rightarrow$ Nachweis erfüllt !

\Rightarrow **Schubbewehrung:** erf $a_{s,büV} = 40.00 \text{ cm}^2/\text{m}$
 (incl. Grundbew.)
 Torsion: erf $a_{s,büT} = 2.63 \text{ cm}^2/\text{m}$ (1-schnittig)
 Σ (2-schnittig) erf $a_{s,bü} = 45.26 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Torsion: erf $A_{s,T} = 11.0 \text{ cm}^2$ (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: $N_r = 75.00 \text{ kN}$ $M_{yr} = 100.00 \text{ kNm}$ $M_{zr} = 165.00 \text{ kNm}$
 Bewehrung (Anfangszustand): $A_s = 20.00/25.00/15.00/30.00 \text{ cm}^2$

| 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 | 0.80 | 1.79 | 60.0 | 32.2 | 0.00 |
| 2 | 20 | 0.40 | 0.80 | 1.79 | 60.0 | 49.2 | 0.00 |
| 3 | 20 | 0.40 | 0.80 | 1.79 | 60.0 | 48.3 | 0.00 |
| 4 | 20 | 0.40 | 0.80 | 1.79 | 60.0 | 31.3 | 0.00 |

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_{sgr} : gewählter Stabdurchmesser, d_{sgr} : vorhandener Stabdurchmesser
 σ_s : Stahlzugspannung, ΔA_{sr} : Bewehrungserhöhung aus Last und Zwang

\Rightarrow keine zusätzliche Rissbewehrung !

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: $N_{s1} = 25.00 \text{ kN}$ $M_{ys1} = 55.00 \text{ kNm}$ $M_{zs1} = 135.00 \text{ kNm}$ $V_{ys1} = 100.00 \text{ kN}$ $V_{zs1} = 80.00 \text{ kN}$
 $N_{s2} = 35.00 \text{ kN}$ $M_{ys2} = 75.00 \text{ kNm}$ $M_{zs2} = 80.00 \text{ kNm}$ $V_{ys2} = 80.00 \text{ kN}$ $V_{zs2} = 125.00 \text{ kN}$

Bewehrung (Anfangszustand): $A_s = 20.00/25.00/15.00/30.00 \text{ cm}^2$ $a_{s,büV} = 40.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

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 | 25.81 | 14.54 | 11.27 | 11.27 | 0.00 |
| 2 | 31.96 | 29.10 | 2.86 | 2.86 | 0.00 |
| 3 | 43.16 | 13.70 | 29.46 | 29.46 | 0.00 |
| 4 | 28.59 | 7.55 | 21.04 | 21.04 | 0.00 |

Ermüdungsnachweis für Beton:

$\sigma_{cd,min,equ} = 3.19 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{cd,max,equ} = 7.07 \text{ N/mm}^2$
 $U_{c1} = 0.79 < 1.00 \Rightarrow$ Nachweis erfüllt !
Nachweis der Betondruckstrebe für maßgebendes $V_{s1,2}$:
 $\sigma_{cdv,min,equ} = 2.46 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{cdv,max,equ} = 3.08 \text{ N/mm}^2$
 $U_{c1v} = 0.30 < 0.61 \Rightarrow$ Nachweis erfüllt !

Querkraftbewehrung:

$\Delta \sigma_{sv,equ} = 111.03 - 88.82 = 22.21 \text{ N/mm}^2$
 $U_{s1vy} = 22.21 < U_{s2v} = 93.04$
 $\Delta \sigma_{sv,equz} = 29.05 - 18.59 = 10.46 \text{ N/mm}^2$
 $U_{s1vz} = 10.46 < U_{s2v} = 93.04$

\Rightarrow keine zusätzliche Ermüdungsbewehrung !

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: $N_\sigma = 0.00 \text{ kN}$ $M_{y\sigma} = 100.00 \text{ kNm}$ $M_{z\sigma} = 300.00 \text{ kNm}$

Bewehrung (Anfangszustand): $A_s = 20.00/25.00/15.00/30.00 \text{ cm}^2$

maximale Stahlzugspannungen

| Nr | σ_{0s} N/mm ² | σ_s N/mm ² | $\Delta A_{s\sigma}$ cm ² |
|----|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 21.0 | 19.5 | 1.13 |
| 2 | 54.0 | 51.5 | 1.33 |
| 3 | 95.9 | 91.6 | 0.96 |
| 4 | 62.9 | 59.5 | 1.54 |

minimale Betondruckspannung

Anfangszustand:

$\sigma_{0c} = -15.2 \text{ N/mm}^2$

Endzustand:

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

σ_{0s} : Anfangszustand, σ_s : Endzustand

$\Delta A_{s\sigma}$: Bewehrungserhöhung aus Stahl- und Betonnachweis

⇒ einschl. Spannungsbewehrung: erf $A_s = 21.1/26.3/16.0/31.5 \text{ cm}^2$

Gesamtbewehrung: total $A_s = 21.1/26.3/16.0/31.5 \text{ cm}^2$

total $a_{s,büV} = 40.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

total $a_{s,büT} = 2.63 \text{ cm}^2/\text{m}$, $A_{s,T} = 11.0 \text{ cm}^2$

Ausnutzungsgrad: $U = 0.56$

Zulagebewehrung: $\Delta A_s = 1.1/1.3/1.0/1.5 \text{ cm}^2$

gewählt:

| |
|--|
| Längs, E1: 1 Ø 25 = 4.9 cm ² < 21.1 cm ² |
| E2: 1 Ø 25 = 4.9 cm ² < 26.3 cm ² |
| E3: 1 Ø 25 = 4.9 cm ² < 16.0 cm ² |
| E4: 1 Ø 25 = 4.9 cm ² < 31.5 cm ² |
| Bügel, 2-schnittig: Ø 8 / 15 cm = 6.70 cm ² /m < 45.26 cm ² /m |

Querschnittsdaten

Bruttobetongfläche: $A_c = 37.9 \text{ dm}^2$ Flächenträgheitsmomente: $I_{cys} = 174.5 \text{ dm}^4$, $I_{czs} = 414.2 \text{ dm}^4$

Schwerpunktskoordinaten (von der Mitte des oberen Randes): $y_s = 0.0 \text{ cm}$, $z_s = 22.6 \text{ cm}$

Gesamtfläche der Längsbewehrung: $\Sigma(\text{erf } A_s) = 95.0 \text{ cm}^2 \Rightarrow \rho_s = 2.50\% < 8.00\%$

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 $\epsilon_c \geq \epsilon_{c2}$

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