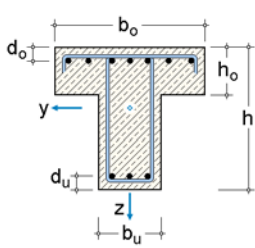


# POS. 19: PLATTENBALKEN (STB. 1-ACHS.)

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

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



### Plattenbalken-Querschnitt

$h = 75.0 \text{ cm}$ ,  $b_u = 25.0 \text{ cm}$   
 $h_o = 10.0 \text{ cm}$ ,  $b_o = 145.0 \text{ cm}$

**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

möglichst auf der Zugseite ( $\epsilon_{s1u} = 25.00\%$ )

### 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)

	$\gamma$	$N_{Ed}$ kN	$M_{Ed}$ kNm	$\epsilon_{c2u}$ ‰	$\epsilon_{s2u}$ ‰	$\epsilon_{s1u}$ ‰	$\epsilon_{c1u}$ ‰	$\xi$	$\zeta$	$d$ cm	$A_{s0}$ cm <sup>2</sup>	$A_{su}$ cm <sup>2</sup>	Bemerkung
1	---	-125.00	500.00	-2.29	-0.78	25.00	27.63	0.08	0.97	68.4	----	<b>15.61</b>	
			84.94	-0.72	0.71	25.00	27.48	----	----	----	----	2.51	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,  $d = h - d_1$ : statische Nutzhöhe

9) Mindestbewehrung nach 9.2.1.1

⇒ Längsbewehrung: erf  $A_{s0} = 0.0 \text{ cm}^2$  erf  $A_{su} = 15.6 \text{ cm}^2$

### Schubbemessung (EC 2, 6.2 + 6.3)

Mindestbewehrung nach 9.2.2(5), Materialgüte wie Biegebewehrung

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

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

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	$\rho_1$ %	$z$ cm	$V_{Rdct}$ kN	$\theta$ °	$\cot \theta$	$V_{Rdmax}$ kN	AB	$a_1$ cm	$a_{s,b\underline{u}v}$ cm <sup>2</sup> /m	Bemerkung
1	50.00	0.91	61.6	88.41	18.4	3.00	490.56	1	92.3	2.05	Mindestbewehrung

$\rho_1$ : Längsbewehrungsgrad bezogen auf die statische Höhe,  $z$ : maßgebender innerer Hebelarm

$V_{Rdct}$ : Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung,  $\theta$ : Druckstrebenwinkel,

$V_{Rdmax}$ : Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit,  $a_1$ : Versatzmaß

AB: Ausnutzungsbereich s. NA-DE

⇒ Schubbewehrung: erf  $a_{s,b\underline{u}} = 2.05 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

Rissbildung unter Biegezwang (selbst induziert)

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

Erstrissbildung:  $N_{cr} = 0.00 \text{ kN}$

Rissbreite  $w_k = 0.30 \text{ mm}$

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

Risschnittgrößen:

$N_r = 25.00 \text{ kN}$   $M_r = 275.00 \text{ kNm}$

Anfangszustand:  $A_{s0} = 0.00 \text{ cm}^2$   $A_{su} = 15.61 \text{ cm}^2$

### Mindestbewehrung:

Beiwert - Spannungsverteilung  $k_c = 0.55 / 0.26$

Beiwert - Eigenspannungen  $k = 0.80$

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

Zugzonen  $A_{c0} = 6.2 \text{ dm}^2$   $A_{c1} = 12.5 \text{ dm}^2$

( $A_{s0,min} = 1.6 \text{ cm}^2$   $A_{s1,min} = 6.6 \text{ cm}^2$ )

### Begrenzung der Rissbreite:

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

wirksame Plattenbreite  $b_{eff} = 36.4 \text{ cm}$

$\sigma_{s0} = 0.0 \text{ N/mm}^2$   $\sigma_{su} = 284.9 \text{ N/mm}^2$

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

$$A_{stu,ste} = 15.6 \text{ cm}^2 \text{ (} \Leftrightarrow d_{su} = 27.9 \text{ mm} > 20 \text{))}$$

**Zusatzbewehrung:**

$$\max A_{sto} = 1.6 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Delta A_{sto} = 1.6 \text{ cm}^2$$

$\Rightarrow$  **einschl. Rissbewehrung:** erf  $A_{so} = 1.6 \text{ cm}^2$  erf  $A_{su} = 15.6 \text{ cm}^2$

**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:  $N_{s1} = 0.00 \text{ kN}$   $M_{s1} = 500.00 \text{ kNm}$   $V_{s1} = 50.00 \text{ kN}$

$N_{s2} = 10.00 \text{ kN}$   $M_{s2} = 355.00 \text{ kNm}$   $V_{s2} = 45.00 \text{ kN}$

Bewehrung (Anfangszustand):  $A_{so} = 1.56 \text{ cm}^2$   $A_{su} = 15.61 \text{ cm}^2$   $a_{s,büv} = 2.05 \text{ cm}^2/\text{m}$

**Ermüdungsnachweis für Stahl:**

Anfangszustand:

$\Delta\sigma_{s0o,equ} = -31.15 - -45.08 = 13.93 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{s0u,equ} = 490.71 - 350.17 = 140.54 \text{ N/mm}^2$

= Endzustand

**Querkraftbewehrung:**

$\Delta\sigma_{sv,equ} = 228.53 - 205.68 = 22.85 \text{ N/mm}^2$

$U_{s1v} = 22.85 < U_{s2v} = 93.04$

**Ermüdungsnachweis für Beton:**

$\sigma_{cd,min,equ} = 7.90 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{cd,max,equ} = 10.97 \text{ N/mm}^2$

$U_{c1} = 0.96 < 1.00 \Rightarrow$  Nachweis erfüllt !

**Nachweis der Betondruckstrebe:**

$\sigma_{cdv,min,equ} = 0.97 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{cdv,max,equ} = 1.08 \text{ N/mm}^2$

$U_{c1v} = 0.10 < 0.54 \Rightarrow$  Nachweis erfüllt !

$\Rightarrow$  **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:  $N_\sigma = 0.00 \text{ kN}$ ,  $M_\sigma = 500.00 \text{ kNm}$

Bewehrung (Anfangszustand):  $A_{so} = 1.56 \text{ cm}^2$   $A_{su} = 15.61 \text{ cm}^2$

**maximale Stahlzugspannungen**

Anfangszustand:

$\sigma_{s0o} = -45.1 \text{ N/mm}^2$   $\sigma_{s0u} = 490.7 \text{ N/mm}^2$

Endzustand:

$\sigma_{so} = -43.6 \text{ N/mm}^2 < 400.0 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{su} = 399.0 \text{ N/mm}^2 < 400.0 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow \Delta A_{s\sigma u} = 3.7 \text{ cm}^2$

**minimale Betondruckspannung**

Anfangszustand:

$\sigma_{0c} = -11.0 \text{ N/mm}^2$

Endzustand:

$\sigma_c = -10.1 \text{ N/mm}^2 > -15.0 \text{ N/mm}^2$

$\Rightarrow$  **einschl. Spannungsbewehrung:** erf  $A_{so} = 1.6 \text{ cm}^2$  erf  $A_{su} = 19.3 \text{ cm}^2$

**Gesamtbewehrung:** total  $A_{so} = 1.6 \text{ cm}^2$   $A_{su} = 19.3 \text{ cm}^2$

total  $a_{s,büv} = 2.05 \text{ cm}^2/\text{m}$

**Ausnutzungsgrad:**  $U = 0.82$

**gewählt:** Längs, oben:  $2 \text{ } \varnothing 10 = 1.6 \text{ cm}^2 \geq 1.6 \text{ cm}^2$   
 unten:  $4 \text{ } \varnothing 20 + 2 \text{ } \varnothing 20 = 18.8 \text{ cm}^2 < 19.3 \text{ cm}^2$   
 Bügel, 2-schnittig:  $\varnothing 8 / 30 \text{ cm} = 3.35 \text{ cm}^2/\text{m} > 2.05 \text{ cm}^2/\text{m}$

**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,  $l_{b,Zwi}$ : Zwischenaufleger

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

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

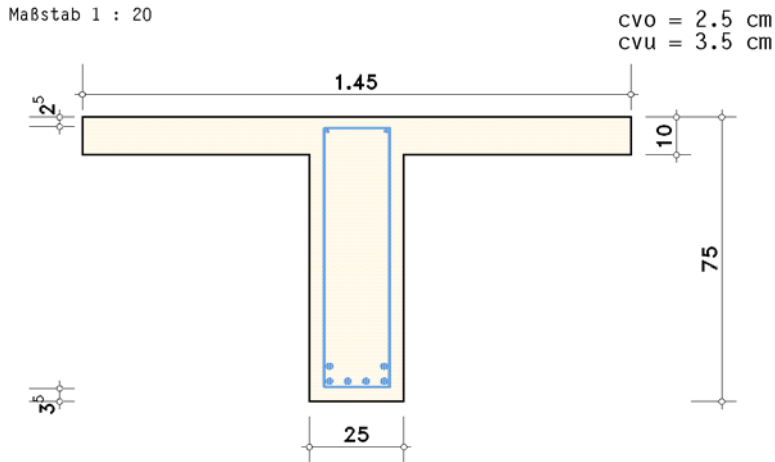
ohne:  $l_b = 57.7 \text{ cm}$ ,  $l_{b,min} = 17.3 \text{ cm}$ ,  $l_{b,net} = 17.3 \text{ cm}$

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

**Verankerungslängen unten ( $A_{sb,erf} = 15.61 \text{ cm}^2$   $A_{s,vorh} = 18.85 \text{ cm}^2$ ):**

$l_b$ : 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,  $l_{b,Zwi}$ : Zwischenaufleger  
 mit Winkelhaken:  $l_b = 80.7 \text{ cm}$ ,  $l_{b,min} = 20.0 \text{ cm}$ ,  $l_{b,net} = 46.8 \text{ cm}$   
 $l_{b,dir} = 31.2 \text{ cm}$ ,  $l_{b,ind} = 46.8 \text{ cm}$ ,  $l_{b,Zwi} = 12.0 \text{ cm}$   
 ohne:  $l_b = 80.7 \text{ cm}$ ,  $l_{b,min} = 24.2 \text{ cm}$ ,  $l_{b,net} = 66.9 \text{ cm}$   
 $l_{b,dir} = 44.6 \text{ cm}$ ,  $l_{b,ind} = 66.9 \text{ cm}$ ,  $l_{b,Zwi} = 12.0 \text{ cm}$

**Bewehrungsskizze:**



**Querschnittsdaten**

Bruttobetongfläche:  $A_c = 30.8 \text{ dm}^2$ , Flächenträgheitsmoment:  $I_{cs} = 166.2 \text{ dm}^4$   
 Widerstandsmoment:  $W_{cs} = 33.1 \text{ dm}^3$ , Schwerpunktsabstand vom oberen Rand:  $z_s = 24.8 \text{ cm}$   
 Gesamtfläche der Längsbewehrung:  $\Sigma(\text{erf } A_s) = 20.9 \text{ cm}^2 \Rightarrow \rho_s = 0.68\% < 8.00\%$

**Materialdaten für die Bemessung**

Beton	$f_{ck}$	$\alpha$	$\epsilon_{c2}$	$\epsilon_{c2u}$	$n_c$	$E_{cm}$	$f_{ctm}$
	MN/m <sup>2</sup>	-	‰	‰	-	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
C25/30	25.0	0.850	-2.00	-3.50	2.00	31475.8	2.565

Bewehrung	$f_{yk}$	$f_{tk}$	$\epsilon_{su}$	$E_s$
	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	‰	MN/m <sup>2</sup>
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  $\epsilon_{c2}$ , Bruchdehnung  $\epsilon_{c2u}$   
 Betonspannungen  $\sigma_c = f_{cd} (1 - (\epsilon_c / \epsilon_{c2})^n)$  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  $\epsilon_{su}$ , Elastizitätsmodul  $E_s$