

# BALKEN MIT DRUCKBEWEHRUNG

## 1 BEMESSUNG DER HAUPTBIEGEBEWehrUNG

**GEG:** Überzuglänge  $l=8,50\text{m}$  ; Breite  $b=30\text{cm}$  ; Maximale Höhe  $h=35\text{cm}$   
C 25/30 ; BSt550 ;  $c_{\min}=3\text{cm}$   
Nutzlast  $p=12\text{kN/m}$

**GES:** Hauptbiegebewehrung

### 1.1 VORBEMESSUNG

Für die Festlegung des Eigengewichts wird eine Trägerhöhe von 50cm angenommen.

Eigengewicht:	$g_d = b \cdot h \cdot \gamma \cdot v =$	$0,30 \cdot 0,35 \cdot 25 \cdot 1,35 =$	$3,54\text{kN/m}$
Nutzlast:	$p_d = p \cdot v =$	$12,00 \cdot 1,50 =$	$18,00\text{kN/m}$
			<hr/>
			$q_d = 21,54\text{kN/m}$

Bemessungsmoment  $M_{Ed}$

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{21,54 \cdot 8,50^2}{8} = 194,53 \text{ kNm}$$

Mindestwert der statischen Höhe  $d_{\min}$ :

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{\mu_{\text{grenz}} \cdot b \cdot f_{cd}}} =$$
$$d_{\min} = \sqrt{\frac{19453}{0,362 \cdot 30 \cdot 1,67}} = 32,70 \text{ cm}$$

$$d = d_{\min} + 10\% =$$

$$d = 32,70 + 3,27 = 35,97\text{cm} \approx 36\text{cm}$$

Querschnittshöhe  $h=d+d_1 = 35+6=41\text{cm}$

Da nur maximal 35cm möglich sind, wird ein gedrückter Querschnitt mit Druckbewehrung ausgeführt

Querschnittswahl 30/35cm ( $d=h-d_1 = 35-6=29\text{cm}$  ;  $d_1=d_2=6\text{cm}$ )

## 1.2 KORREKTUR DES EIGENGEWICHTS FÜR DEN GEWÄHLTEN QUERSCHNITT 30/40cm

Nicht notwendig, da der Querschnitt der Vorbemessung ausgeführt wird.

## 1.3 ÜBERPRÜFUNG DER BETONDRUCKZONE

$$\mu_d = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} =$$

$$\mu_d = \frac{19453}{30 \cdot 29^2 \cdot 1,67} = 0,461 \geq \mu_{d, \text{grenz}} = 0,362 \rightarrow$$

Betondruckzone nicht ausreichend – Druckbewehrung notwendig!

## 1.4 AUFNEHMBARES MOMENT DER BETONDRUCKZONE

$$M_{c, \text{max}} = \mu_{d, \text{max}} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} =$$

$$M_{c, \text{max}} = 0,362 \cdot 30 \cdot 29^2 \cdot 1,67 = 15253 \text{ kNm}$$

$$M_{c, \text{max}} = 15253 \text{ kNm}$$

## 1.5 MOMENTENDIFFERENZ

$$\Delta M = M_{E,d} - M_{c, \text{max}} =$$

$$\Delta M = M_{E,d} - M_{c, \text{max}} =$$

$$\Delta M = 19453 - 15253 = 4200 \text{ kNm}$$

## 1.6 HEBELSARM DER INNEREN KRÄFTE FÜR $A_{S1}$

$$z = d \cdot \zeta \rightarrow \text{aus Tabelle}$$

$$z = d \cdot \zeta \rightarrow \zeta_{\mu_d, \text{grenz}=0,362} = 0,753$$

$$z = 29 \cdot 0,753 = 21,8 \text{ cm}$$

## 1.7 ERFORDERLICHE HAUPTZUGBEWEHRUNG $A_{s1}$

$$A_{s1,erf} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} \cdot \frac{\Delta M}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} \cdot \frac{\Delta M}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} =$$

$$A_{s1,erf} = \frac{15253}{21,8 \cdot 47,8} \cdot \frac{4200}{(29 - 6) \cdot 47,8} = 18,43 \text{ cm}^2$$

Gewählt 4 Ø 26 ( $A_{s1,vor} = 21,24 \text{ cm}^2$ )

Notwendige Trägerbreite  $b_{min}$  für 4 Ø 26

$b_{min} = \text{Betondeckung} + \text{Eisen} + \text{Zwischenräume zw. Eisen} + \text{Bügel}$

$$b_{min} = 2 \cdot 30 + 4 \cdot 26 + 3 \cdot 36 + 2 \cdot 10 = 292 \text{ mm} \leq b_{vor} = 300 \text{ mm}$$

## 1.8 MINDESTBEWEHRUNG

$$A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot 30 \cdot 29 = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} \geq 1,13 \text{ cm}^2 < A_{s,vor} = 21,24 \text{ cm}^2$$

## 1.9 KONTROLLE DES BEWEHRUNGSSCHWERPUNKTES

$d_1$  wurde zu Beginn mit 6cm angenommen – daraus folgt, dass  $d > 29 \text{ cm}$  sein muss.

$d_1 = \text{Betondeckung} + \text{Bügeldurchmesser} + \text{halber Bewehrungsdurchmesser}$

$$d_1 = 3 + 1 + \frac{2,6}{2} = 5,3 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$$

$$d = h + d_1 = 35 - 5,3 = 29,7 > 29 \text{ cm}$$

## 1.10 ERFORDERLICHE DRUCKBEWEHRUNG $A_{s2}$

$$\text{für } \frac{d_2}{d} \leq 0,188$$

$$A_{s2,erf} = \frac{\Delta M}{(d-d_2) \cdot f_{yd}} =$$

$$\text{für } \frac{d_2}{d} > 0,188$$

$$A_{s2,erf} = \frac{\Delta M}{(d-d_2) \cdot \sigma_{s2}} =$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} \cdot \frac{\xi_{0,max} - \frac{d_2}{d}}{1 - \xi_{0,max}} =$$

$$\xi_{0,max}=0,594 \text{ für BSt550}$$

$$\frac{d_2}{d} = \frac{6}{29} = 0,206 > 0,188$$

$$\sigma_{s2} = 47,8 \cdot \frac{0,594 - \frac{6}{29}}{1 - 0,594} = 45,58 \text{ kN / cm}^2$$

$$\xi_{0,max}=0,594 \text{ für BSt550}$$

$$A_{s2,erf} = \frac{4200}{(29-6) \cdot 45,58} = 4,00 \text{ cm}^2$$

Gewählt 3 Ø 14 ( $A_{s2,vor} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

Notwendige Trägerbreite  $b_{min}$  für 3 Ø 14

$b_{min} = \text{Betondeckung} + \text{Eisen} + \text{Zwischenräume zw. Eisen} + \text{Bügel}$

$$b_{min} = 2 \cdot 30 + 3 \cdot 14 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 10 = 162 \text{ mm} \leq b_{vor} = 300 \text{ mm}$$

## 1.11 MAXIMALBEWEHRUNG

$$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot b \cdot h$$

$$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot 30 \cdot 35 = 42,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} \leq 42,00 \text{ cm}^2 > A_{s,vor} = A_{s1} + A_{s2} = 21,24 + 4,62 = 25,86 \text{ cm}^2$$

## 1.12 KONTROLLE DES BEWEHRUNGSSCHWERPUNKTES

$d_2$  wurde zu Beginn mit 6cm angenommen - daraus folgt, dass  $d-d_2 > 23\text{cm}$  sein muss.

$d_2 = \text{Betondeckung} + \text{Bügeldurchmesser} + \text{halber Bewehrungsdurchmesser}$

$$d_2 = 3 + 1 + \frac{1,4}{2} = 4,7\text{cm} < 6\text{cm}$$

$$d - d_2 = 29 - 4,7 = 24,3 > 23\text{cm}$$

## 2 BEMESSUNG DER BÜGELBEWEHRUNG (QUERKRAFTBEMESSUNG)

### 2.1 Bemessungsquerkraft - Lagerkraft

$$V_{Ed,Lager} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{21,54 \cdot 8,50}{2} = 91,55 \text{ kN}$$

Reduzierte Bemessungsquerkraft

$$V_{Ed,red} = V_{Ed,Lager} - \left(\frac{a_L}{2} + d\right) \cdot q =$$

$$V_{Ed,red} = 91,55 - \left(\frac{0,30}{2} + 0,29\right) \cdot 21,54 = 82,07 \text{ kN}$$

### 2.2 WAHL DER BÜGELNEIGUNG UND DER BETONDRUCKSTREBENNEIGUNG

$\alpha=90^\circ$ ... Neigungswinkel der Bügel

$\beta=45^\circ$ ... Neigungswinkel der Betondruckstreben

### 2.3 BEMESSUNGSWERT DER BETONDRUCKSTREBENFESTIGKEIT $V_{Rd}$

$v$ ... Abminderungsfaktor der Betondruckfestigkeit

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot 0,50 =$$

$$V_{Rd,max} = 30 \cdot 21,84 \cdot 0,54 \cdot 1,67 \cdot 0,50 = 295,43 \text{ kN}$$

Zulässiger einrechenbarer Wert von  $V_{Rdc}$

$$zul V_{Rd \max} = b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sin(\alpha)} =$$

$$zul V_{Rd \max} = 30 \cdot 21,84 \cdot 0,54 \cdot 1,67 \cdot \frac{1}{2 \cdot \sin(90^\circ)} = 295,43 \text{ kN} = V_{Rd \max} = 295,43 \text{ kN}$$

## 2.4 NACHWEIS DER BETONDRUCKSTREBE

$$V_{Ed} \leq V_{Rd \max}$$

$$V_{Ed} = 82,07 \text{ kN} \leq V_{Rd \max} = 295,43 \text{ kN} \rightarrow$$

Betondruckstrebenfestigkeit ausreichend!

## 2.5 MINDESTVERBÜGELUNG

$$a_{sw, \min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha) \cdot 100 =$$

$$a_{sw, \min} = 0,15 \cdot \frac{0,26}{47,8} \cdot 30 \cdot \sin(90^\circ) \cdot 100 = 2,45 \text{ cm}^2 / m$$

oder über den Mindestbewehrungsgrad der Querkraftbewehrung

$$\rho_{w, \min} = 15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \text{ in } \%$$

$$\rho_{w, \min} = 15 \cdot \frac{2,6}{478} = 0,082 \%$$

$$a_{sw, \min} = \rho_{w, \min} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)$$

$$a_{sw, \min} = 0,082 \cdot 30 \cdot \sin(90) = 2,45 \text{ cm}^2 / m$$

## 2.6 VERBÜGELUNG

$$a_{sw} = \frac{V_{sd,red}}{z \cdot f_{yd}} \cdot \tan(\beta) =$$

$$a_{sw} = \frac{82,07}{0,2184 \cdot 47,8} \cdot \tan(45^\circ) = 7,86 \text{ cm}^2 / m$$

gewählt  $\emptyset 10/15$  ( $a_{sw,vor} = 10,48 \text{ cm}^2/m$ )

$$V_{Rds} = a_{sw} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \frac{1}{\tan(\beta)} =$$

$$V_{Rds} = 10,48 \cdot 0,2184 \cdot 47,8 \cdot \frac{1}{\tan(45^\circ)} = 109,41 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rds}$$

$$V_{Ed} = 82,07 \text{ kN} \leq V_{Rds} = 109,41 \text{ kN}$$

## 2.7 MAXIMALER BÜGELABSTAND

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot \left(1 + \frac{1}{\tan(\alpha)}\right) \leq 25 \text{ cm}$$

für  $\alpha = 90^\circ$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \leq 25 \text{ cm}$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot 29 = 22 \text{ cm}$$

$$s_{l,max} = 22 \text{ cm} > s_{l,vor} = 15 \text{ cm}$$