

Die Zusammenfassungen sind teilweise stark veraltet (Vorlesungsinhalte aus vergangenen Semestern, alte Normen...) und sollten lediglich als Hilfestellung zum Verfassen eigener Zusammenfassungen dienen.

Grundlagen des Stahlbetonbaus 2

Formelsammlung

Jonathan C. Walter

16.08.2021

Kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit.

1 Vorgehen

1.1 Querkraftbemessung Balken

1. einwirkende Querkraft V_{Ed} berechnen und ggf. abmindern
 - 2. und 3. nicht nötig, wenn Bügelbewehrung vorhanden ist
2. Nachweis der Druckstrebe $V_{Rd,c} \geq V_{Ed(red)}$
3. Wenn NW der Druckstrebe nicht eingehalten, erforderliche Bewehrung berechnen a_{sw}
4. Max Druckstrebentragfähigkeit überprüfen $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$
5. Konstruktive Durchbildung
 - rechnerische Mindestbewehrung $a_{sw,min}$ berechnen
 - Konstruktive Mindestbewehrung mit $s_{l,max}$ und $s_{t,max}$ berechnen

1.2 Querkraftbemessung Platte

1. einwirkende Querkraft V_{Ed} berechnen und ggf. abmindern
2. Nachweis der Druckstrebe $V_{Rd,c} \geq V_{Ed(red)}$
3. Wenn NW der Druckstrebe nicht eingehalten, erforderliche Bewehrung berechnen a_{sw}
4. Max Druckstrebentragfähigkeit überprüfen $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$

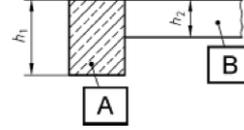
1.3 Bemessung der Anschlussbewehrung

1. Momentennullpunkte berechnen
2. Δx berechnen
3. relevante ΔM berechnen
4. ΔF_d berechnen
5. Berechnung der anzuschließenden Längsschubspannung ν_{Ed}
6. Überprüfung der Mindesttragfähigkeit $\nu_{Ed} \leq 0,4f_{ctd}$
7. Nachweis der aufnehmbaren Längsschubspannung $\nu_{Rd} \geq \nu_{Ed}$
8. Berechnung der maximalen Druckstrebentragfähigkeit $\nu_{Rdi,max} \geq \nu_{Edi}$
9. Berechnung der Anschlussbewehrung a_{sf}

2 Querkraftbemessung

- einwirkende Querkraft V_{Ed} ermitteln und ggf. abmindern zu $V_{Ed,red}$ bei direkter Lagerung

- Infolge Streckenlast: $V_{Ed,red} = V_{Ed} - q(a + d)$
- Infolge auflagnaher Einzellast ($a_v \leq 2d$): $V_{Ed,red} = V_{Ed} \cdot \frac{a_v}{2d}$
 - * a_v Abstand innerer Auflagerrand zur Einzellast
 - * Abmindern wenn: $h_1 - h_2 \gg h_2$



- Nachweis der Druckstrebe $V_{Rd,c}$ bzw. $V_{Rd,c,min} \geq V_{Ed,(red)}$ (Keine Querkraftbewehrung erforderlich)

$$- V_{Rd,c} [\text{MN}] = \left[C_{Rd,c} \cdot k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right])^{\frac{1}{3}} + 0,12 \cdot \sigma_{cd} \left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \right] \right] b_w [\text{m}] \cdot d [\text{m}] \geq V_{Rd,c,min}$$

$$* C_{Rd,c} = \frac{0,15}{\gamma_c} = 0,1 \text{ mit } \gamma_c = 1,5$$

$$* k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d [\text{mm}]}} \leq 2$$

$$* \rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,2; b_w: \text{ kleinste Querschnittsbreite in Zugzone}$$

$$* \sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

$$- V_{Rd,c,min} [\text{MN}] = \left[\nu_{min} + 0,12 \cdot \sigma_{cd} \left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \right] \right] \cdot b_w [\text{m}] \cdot d [\text{m}]$$

$$* \nu_{min} = \left[\frac{\kappa_1}{\gamma_c} \sqrt{k^3 \cdot f_{ck} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]} \right]$$

$$* \kappa_1 = \begin{cases} 0,0525; & d \leq 600 \text{ mm} \\ 0,0375; & d \geq 800 \text{ mm} \end{cases}$$

- Nachweis der Zugstrebe

$$- a_{sw} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right] = \frac{V_{Ed} [\text{MN}]}{z [\text{m}] \cdot f_{ywd} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]} \cdot \frac{1}{(\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \sin(\alpha)} \stackrel{\alpha=90^\circ}{=} \frac{V_{Ed} [\text{MN}]}{z [\text{m}] \cdot f_{ywd} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]} \tan(\theta)$$

$$a_{sw} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right] = a_{sw} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right] \cdot 10^{-4}$$

$$* z = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9d \\ d - 2c_{nom} \geq d - c_{nom} - 30 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$$- \text{Anzahl Stabe: } n \left[\frac{1}{\text{m}} \right] = \frac{a_{sw}}{2A_{\varnothing_{sw}}} \rightarrow \text{Stababstände: } s_l [\text{cm}] = \frac{100 \left[\frac{\text{cm}}{\text{m}} \right]}{n \left[\frac{1}{\text{m}} \right]}$$

- Rechnerische Mindestquerkraftbewehrung: $a_{sw,min} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right] = \rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha) = 0,16 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_w [\text{m}] \cdot \sin(\alpha)$

$$- V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \rightarrow \rho_w = \begin{cases} 0; & \frac{b}{h} \geq 5 \\ \rho_{w,min}; & \frac{b}{h} \leq 4 \end{cases}$$

$$- V_{Ed} > V_{Rd,c} \rightarrow \rho_w = \begin{cases} 0,6\rho_{w,min}; & \frac{b}{h} \geq 5 \\ \rho_{w,min}; & \frac{b}{h} \leq 4 \end{cases}$$

- Konstruktive Mindestbewehrung: $a_{s,min} = \frac{2A_{sw}}{s_{l,max}}$; $s_{l,max}$ mit $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}$ aus Tabelle (10.5 mb Tafeln)

- Maximale Druckstreben­tragfähigkeit

$$- \text{geneigte Bewehrung: } V_{Rd,max} [\text{MN}] = \alpha_{cw} \cdot b_w [\text{m}] \cdot z [\text{m}] \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \frac{\cot(\theta) + \cot(\alpha)}{1 + \cot^2(\theta)}$$

$$- \text{vertikale Bewehrung } (\alpha = 90^\circ): V_{Rd,max} [\text{MN}] = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w [\text{m}] \cdot z [\text{m}] \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = \alpha_{cw} \cdot b_w [\text{m}] \cdot z [\text{m}] \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \sin(2\theta) \frac{1}{2}$$

$$* \alpha_{cw} = 1$$

$$* \nu_1 = 0,75\nu_2$$

$$* \nu_2 = 1,1 - \frac{f_{ck} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]}{500} \leq 1$$

- Aufnehmbare Querkraft: $V_{Rd} = \frac{a_{s,vorh} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right] \cdot z [\text{m}] \cdot f_{yd}}{\tan(\theta)}$

3 Druckstrebenwinkel

	$\cot(\theta)$	θ
• reine Biegung	1,2	40
• Biegung und Druck	1,2	40
Biegung und Zug	1,0	45

$$\bullet 1 \leq \cot(\theta) \leq \frac{1,2+1,4 \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}}{1 - \frac{V_{Rd,cc}}{V_{Ed}}} \leq 3$$

$$\rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{1}{\cot(\theta)}\right)$$

$$- \sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{0,5 \Delta F_d}{b_{eff} \cdot h} \quad (\text{bei Zug} \rightarrow \sigma_{cd} \text{ negativ})$$

$$- V_{Rd,cc} = c \cdot 0,48 f_{ctk}^{\frac{1}{3}} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \left(1 - 1,2 \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \right) b_w [\text{m}] \cdot z [\text{m}] \quad \text{mit } c = 0,5$$

4 Schubfuge

$$\bullet \nu_{Rdi} \geq \nu_{Edi}$$

$$\bullet \text{Widerstand: } \nu_{Rdi} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] = c \cdot f_{ctd} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] + \mu \cdot \sigma_n \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] + \rho \cdot f_{yd} (1,2 \mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) \leq 0,5 \nu \cdot f_{cd} = \nu_{Rd,max}$$

– Für erforderliche Verbundbewehrung nach ρ umformen

– Oberflächenbeschaffenheit (unbehandelt=glatt)

	c	μ	ν
sehr glatt	0	0,5	0
glatt	0,2	0,6	0,2
rau	0,4	0,7	0,5
verzahnt	0,5	0,9	0,7

– σ_n : Spannung Auflast (infolge Eigenlast Ortbeton $\sigma_n = 25 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \cdot h_{Ortbeton}$)

– $\rho = \frac{A_s}{A_i}$; A_s : Fläche der kreuzenden Bewehrung; A_i : Fläche der Fuge; Überprüfen ob Bewehrung erforderlich ist $\rho = 0$

– α : Neigungswinkel der Bewehrung zu Horizontalen i.d.R. 90°

$$- f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \alpha_{ct} \frac{0,7 f_{ctm}}{\gamma_c} \quad \text{mit } \alpha_{ct} = 0,85; \gamma_c = 1,5$$

$$\bullet \text{Einwirkung: } \nu_{Edi} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] = \frac{\beta \cdot V_{Ed} [\text{MN}]}{z [\text{m}] b_i [\text{m}]}; b_i: \text{Breite der Fuge; } z \approx 0,9d; \beta \text{ i.d.R. } 1 \text{ (auf sicherer Seite)}$$

5 Anschlussbewehrung

• Bezugslänge Δx höchstens halber Abstand zwischen Momentennull- und hochpunkt ($\Delta x = \frac{l_0}{4}$)

$$\bullet \text{Berechnung des Moments an der Stelle } x: M(x) = V_A \cdot x - q_d \frac{x^2}{2}$$

$$\bullet \text{Berechnung der Querkraft an der Stelle } x: V_{Ed}(x) = V_A - q_d \frac{x}{2} \rightarrow \nu_{Ed} = \frac{V_{Ed}(x) [\text{MN}]}{z [\text{m}] h_f [\text{m}]} \frac{b_a}{b_{eff}}$$

$$\bullet \text{Schubkraft Druckgurt: } \Delta F_d [\text{kN}] = \frac{\Delta M_{Ed} [\text{kNm}]}{z [\text{m}]} \frac{A_{cf}}{A_{cc}} \approx \frac{\Delta M_{Ed}}{z} \frac{b_a}{b_{eff}} \text{ bzw.}$$

– V_A : Querkraft am Auflager

– $z \approx 0,9d$

– A_{cf} : Fläche eines Druckflansches

– A_{cc} : Gesamtfläche der Druckzone

– b_a : Breite eines Druckflansches

– b_{eff} Mitwirkende Plattenbreite: $b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w$

$$* b_{eff,i} = \min \begin{cases} 0, 2b_i + 0, 1l_0 \\ 0, 2l_0 \\ b_i \end{cases}$$

- Schubkraft Zuggurt: $\Delta F_d = \frac{\Delta M_{Ed}}{z} \frac{A_{sa}}{A_s}$
- Schubspannung mit Querkraft: $\nu_{Ed} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] = \frac{V_{Ed} \left[\frac{MN}{\text{m}} \right] \cdot A_{sa}}{z \left[\frac{m}{m} \right] \cdot h_f \left[\frac{m}{m} \right] \cdot A_s}$
 - $z \approx 0,9d$
 - A_{sa} : Fläche der in einem Flansch ausgelagerten Bewehrung
 - A_s : Gesamtfläche der Zugbewehrung
- Längsschubspannung am Anschluss einer Seite eines Gurtes an den Steg:
 $\nu_{Ed} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] = \frac{\Delta F_d \left[\frac{MN}{m} \right]}{h_f \left[\frac{m}{m} \right] \Delta x \left[\frac{m}{m} \right]} \leq 0,4 f_{ctd} \rightarrow$ keine Anschlussbewehrung nötig
- Druckstrebenragfähigkeit: $\nu_{Rd,max} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] = \frac{V_{Rd,max} \left[\frac{MN}{\text{m}^2} \right]}{h_f \left[\frac{m}{m} \right] \Delta x \left[\frac{m}{m} \right]} = \nu_1 f_{cd} \sin(\theta_f) \cos(\theta_f) \geq \nu_{Ed}$
- Berechnung der Anschlussbewehrung: $a_{sf} = \frac{A_{sf}}{s_f} = \frac{\nu_{Ed} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \cdot h_f}{f_{yd}} \tan(\theta_f)$
 - Oben und unten jeweils $\frac{1}{2} a_{sf}$
 - Gurt=Flansch
 - Druckgurt $\theta_f = 40^\circ \rightarrow \cot(\theta_f) = 1,2$
 - Zuggurt $\theta_f = 45^\circ \rightarrow \cot(\theta_f) = 1,0$
 - A_{sf} : Fläche eines Anschlussstabes
 - s_f : Abstand des Anschlussbewehrungsstabes im Gurt
 - θ_f : Druckstrebenwinkel im Gurt analog zur Querkraftbemessung
 - Δx Bezugslänge
 - h_f : Höhe des Gurtes (Flansch)
- Kombiniertes Nachweis $\frac{V_{Ed,Platte}}{V_{Rd,max,Platte}} + \frac{V_{Ed,Scheibe}}{V_{Rd,max,Scheibe}} \leq 1$
 - $V_{Rd,max,Platte} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\tan(\theta) + \cot(\theta)} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta)$
 - $V_{Rd,max,Scheibe} = \frac{\nu_1 \cdot h_f \cdot \Delta x \cdot f_{cd}}{\tan(\theta) + \cot(\theta)} = \nu_1 \cdot h_f \cdot \Delta x \cdot f_{cd} \cdot \sin(\theta_f) \cdot \cos(\theta_f)$

6 Versatzmaß

- Zugkraft der Längsbewehrung bei gleichzeitiger Wirkung von Querkraften:
 $F_{sd} = \frac{M_{Ed}}{z} + \Delta F_{sd} = \frac{M_{Ed}}{z} + \frac{V_{Ed}}{2} (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$
- Versatzmaß: $a_l = \frac{\Delta M_{Ed}}{V_{Ed}} = \frac{\Delta F_{sd} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{z}{2} (\cot(\theta) - \cot(\alpha)) \geq 0$
 - $\Delta F_{sd} = 0,5 V_{Ed} (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$
- Erforderliche Biegelängsbewehrung: $A_{s,erf} = \max \left\{ \begin{array}{l} A_{s,min} \\ \frac{1}{4} A_{s,Feld} \\ A_{s,v} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \text{Zwischenaufleger} \\ \text{Endaufleger} \end{array} \right\}$
 - $A_{s,v} = \frac{F_{Ed} \left[\frac{MN}{m} \right]}{f_{yd}} = \frac{1}{f_{yd}} \left(V_{Ed} \left[\frac{MN}{m} \right] \frac{a_l \left[\frac{m^2}{m} \right]}{z} + N_{Ed} \left[\frac{MN}{m} \right] \right) \geq \frac{1}{f_{yd}} \frac{V_{Ed}}{2}$
- Verankerungslänge $l_{b,d} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$ ($l_{bd} = 6\emptyset$ Verankerung Feldbewehrung am Endaufleger)
 - $l_{b,rqd} = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \frac{\emptyset_{sl}}{4} \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}}$
 - * $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$
 - $l_{b,min} = \max \begin{cases} 0, 3\alpha_1 \cdot \alpha_4 \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \frac{\emptyset_{sl}}{4} \\ 10\emptyset_{sl} \\ 10 \text{ cm} \end{cases}$ (bei direkter Lagerung: $6,7\emptyset_{sl}$)
 - * Stützbewehrung mit $(a_l + l_{b,min})$ ins Feld verankern

7 Platten

- Platte wenn: $\frac{b}{h} > 5$

- erforderliche untere Bewehrung $a_{s,erf} = \max \begin{cases} a_{s,min} \text{ (mit } M_{cr}) \\ \frac{1}{2} a_{s,Feld} \\ A_{sv} \text{ (Nur bei Endauflager)} \end{cases}$

$$- A_{s,v} = \frac{F_{Ed} [MN]}{f_{yd}} = \frac{1}{f_{yd}} \left(V_{Ed} [MN] \frac{a_t [m^2]}{z} + N_{Ed} [MN] \right) \geq \frac{1}{f_{yd}} \frac{V_{Ed}}{2}$$

- Konstruktive Durchbildung

- Querbewehrung $a_{sw} \geq 0,2 a_{sl}$

- Stababstände Hauptbewehrung $s_{max,slabs} = \begin{cases} 250 \text{ mm}; & h \geq 250 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm}; & h \leq 150 \text{ mm} \end{cases}$

- Stababstände Querbewehrung: $s_{max,slabs} \leq 250 \text{ mm}$

- Mindestdicke Platte $d_{min} = 7 \text{ cm}$

- Bewehrung in Auflagernähe

- * gelenkige Lagerung: min. $\frac{1}{2}$ der Feldbewehrung über Auflager führen und verankern

- * teilweise Einspannung: obere Stützbewehrung min 0,25 mal benachbarter Feldbewehrung; Stützbewehrung min über 0,2 fache Länge des Endlagers einlegen

- Randbewehrung an freien Rändern

- * Bewehrungsdurchmesser: $\begin{cases} h = 20 \text{ cm}; & d = 10 \text{ mm} \\ h = 40 \text{ cm}; & d = 12 \text{ mm} \\ h = 60 \text{ cm}; & d = 14 \text{ mm} \\ h = 80 \text{ cm}; & d = 16 \text{ mm} \end{cases}$



- Querkraftbewehrung Versatzmaß: $\begin{cases} a_l = d; & \cot(\theta) \leq 2,5 \\ a_l = \frac{z}{2} (\cot(\theta) - \cot(\alpha)) > d; & \cot(\theta) > 2,5 \end{cases}$

- Bei Vollplatte mit Q-Bewehrung $h_{min} = \begin{cases} 160 \text{ mm}; & \text{aufgebogene Bewehrung} \\ 200 \text{ mm}; & \text{Bügel} \end{cases}$