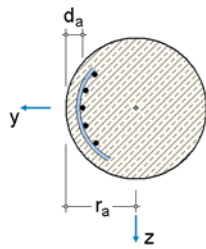


POS. 25: KREIS (STB.)

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

Einachsige Biegung mit/ohne Normalkraft (4H-BETON Version: 11/2007-41)



Kreis-Querschnitt

$r_a = 20.0 \text{ cm} \Rightarrow \varnothing_a = 40.0 \text{ cm}$

Randabstände der Längsbewehrung

$d_a = 5.5 \text{ cm}$

Material

C25/30

BSt 500 (A)

$\gamma_s = 1.15, \gamma_c = 1.50$

Expositionsklasse X0

Bewehrungsanordnung

außen umlaufende Bewehrung

Min./Max. Bewehrung

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

Grundbewehrung

$A_{s0a} = 0.00 \text{ cm}^2$

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

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	b_w cm	A_{s1} cm ²	A_{sa} cm ²	Bemerkung
1	---	-1500.0	126.00	-3.50	-2.82	0.77	1.45	0.85	0.60	33.2	37.8	----	24.82	

$\epsilon_{c2u} = -3.50\%$: 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 : statische Nutzhöhe, b_w : wirksame Querschnittsbreite
 b_w nach NABau (01/05): kleinste Querschnittsbreite senkrecht zum inneren Hebelarm z in Höhe der inneren Kräfte

⇒ Längsbewehrung: erf $A_{sa} = 24.8 \text{ cm}^2$

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 = Druckbewehrung

Bewehrungswinkel $\alpha = 90.0^\circ$, Druckstrebenwinkel $\theta_{gew} = 0^\circ$, Wirksamkeitsfaktor $\alpha_k = 0.90$

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

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	250.00	1.98	27.2	124.51	27.8	1.90	451.13	2	25.8	12.36	

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

Die Längsbewehrung stabförmiger Druckglieder mit $e_d/h < 0.30$ muss nach 9.5.3(6) durch Querbewehrung umschlossen werden!

⇒ Schubbewehrung: erf $a_{s,b\underline{u}} = 12.36 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

Rissbildung unter zentr. Zwang (selbst induz.) **Mindestbewehrung:**

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

Rissbreite $w_k = 0.25 \text{ mm}$

gew. Durchmesser $d_{sa} = 10 \text{ mm}$

Risschnittgrößen:

$N_r = -1700.00 \text{ kN}$ $M_r = 220.00 \text{ kNm}$

Anfangszustand: $A_{sa} = 24.82 \text{ cm}^2$

Beiwert - Spannungsverteilung $k_c = 1.00$

Beiwert - Eigenspannungen $k = 0.77$

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

Zugzone $A_{cta} = 6.3 \text{ dm}^2$

($A_{sta,min} = 8.9 \text{ cm}^2$)

Begrenzung der Rissbreite:

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

$\sigma_{sa} = 230.2 \text{ N/mm}^2$

($A_{sta,ste} = 24.8 \text{ cm}^2 \Rightarrow d_{sa} = 35.3 \text{ mm} > 10$)

Nachweis nicht erforderlich!

⇒ 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: $N_{s1} = -1200.00 \text{ kN}$ $M_{s1} = 86.00 \text{ kNm}$ $V_{s1} = 250.00 \text{ kN}$
 $N_{s2} = -1450.00 \text{ kN}$ $M_{s2} = 105.00 \text{ kNm}$ $V_{s2} = 145.00 \text{ kN}$
Bewehrung (Anfangszustand): $A_{sa} = 24.82 \text{ cm}^2$ $a_{s,büv} = 12.36 \text{ cm}^2/\text{m}$
Ermüdungsnachweis für Stahl: **Ermüdungsnachweis für Beton:**
Anfangszustand: $\sigma_{cd,min,equ} = 19.63 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta\sigma_{s0a,equ} = -126.13 - -158.90 = 32.77 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{cd,max,equ} = 23.36 \text{ N/mm}^2$
= Endzustand $U_{c1} = 1.73 > 1.00 \Rightarrow$ Nachweis nicht erfüllt !
Querkraftbewehrung: **Nachweis der Betondruckstrebe:**
 $\Delta\sigma_{sv,equ} = 203.15 - 110.10 = 93.04 \text{ N/mm}^2 = U_{s2v}$ $\sigma_{cdv,min,equ} = 5.18 \text{ N/mm}^2$
 $\Rightarrow \Delta a_{sbü,fat} = 35.00 \text{ cm}^2/\text{m}$ $\sigma_{cdv,max,equ} = 8.28 \text{ N/mm}^2$
 $U_{c1v} = 0.74 > 0.71 \Rightarrow$ Nachweis nicht erfüllt !

\Rightarrow einschl. Ermüdungsbewehrung: erf $A_{sa} = 24.8 \text{ cm}^2$
erf $a_{s,büv} = 47.37 \text{ cm}^2/\text{m}$
 \Rightarrow Ermüdungsnachweis für Beton nicht erfüllt !

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: $N_\sigma = -1500.00 \text{ kN}$, $M_\sigma = 126.00 \text{ kNm}$
Bewehrung (Anfangszustand): $A_{sa} = 24.82 \text{ cm}^2$
maximale Stahlzugspannungen **minimale Betondruckspannung**
Anfangszustand: $\sigma_{0sa} = 44.1 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{0c} = -26.5 \text{ N/mm}^2$
Endzustand: $\sigma_{sa} = 11.2 \text{ N/mm}^2 < 400.0 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_c = -14.8 \text{ N/mm}^2 > -15.0 \text{ N/mm}^2$
 $\Rightarrow \Delta A_{s\sigma a} = 170.8 \text{ cm}^2$

\Rightarrow einschl. Spannungsbewehrung: erf $A_{sa} = 195.6 \text{ cm}^2$ (max ρ_0 !)

Heißbemessung (Brandschutz) nach EC2, Teil 1-2 (10.06)

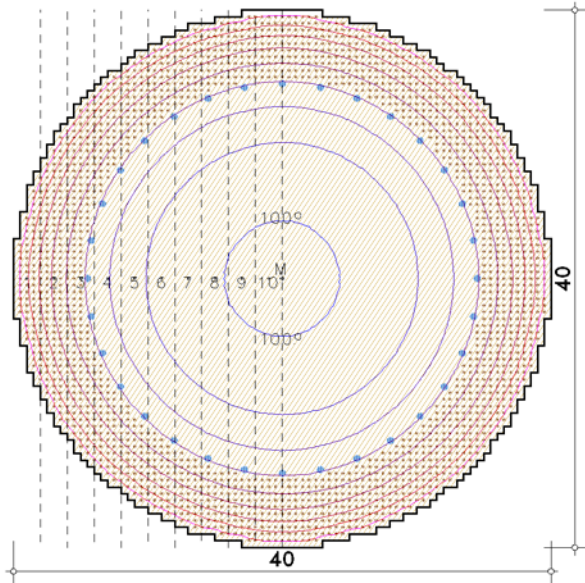
mod. Zonenmethode (10 Zonen)

Beflammung einer Stütze von allen Seiten, Branddauer 90 min
konvektiver Wärmeübergangskoeffizient $\alpha = 25.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, Emissionswert für die Betonoberfläche $\varepsilon = 0.70$
Normalbeton mit quarzhaltigen Zuschlägen, Feuchtegehalt 1.5%, obere Grenze der therm. Leitfähigkeit
wärmegewalzter Bewehrungsstahl, Rohdichte (Stahlbeton) $\rho_c = 2300 \text{ kg/m}^3$
Annahme für die Bemessung: Betontemperatur des kältesten Querschnittspunkts (Punkt M)
Annahme für die Bemessung: keine inneren Spannungen berücksichtigen
Annahme für die Bemessung: Spannungsdehnungslinienform nach EC 2 (Brandfall)

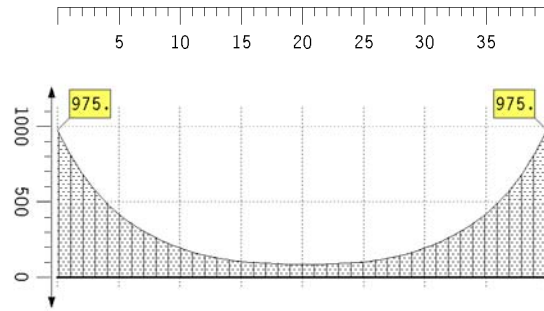
Näherungsverfahren für instationären Wärmetransport

Finite-Volumen-Methode mit expliziter Zeitintegration unter Berücksichtigung nichtlinearer Material- und Randbedingungen

Temperaturprofil (90 min, um 0° gedreht):
 $dx = 0.50 \text{ cm}$ $dy = 0.50 \text{ cm}$ (6561 Zellknoten), $\min dt = 0.055 \text{ min}$



Horizontalschnitt durch den Punkt M:



Temperatur
in °C
Max: 975.24°C
Min: 86.72°C

Temperaturen für 10 Zonen mit zugehörigen Reduktionskoeffizienten:

$\Theta_1 = 826.1^\circ\text{C}$, $k_{c1} = 0.132$ $\Theta_2 = 588.0^\circ\text{C}$, $k_{c2} = 0.468$ $\Theta_3 = 425.0^\circ\text{C}$, $k_{c3} = 0.712$
 $\Theta_4 = 311.2^\circ\text{C}$, $k_{c4} = 0.839$ $\Theta_5 = 229.3^\circ\text{C}$, $k_{c5} = 0.921$ $\Theta_6 = 169.8^\circ\text{C}$, $k_{c6} = 0.965$
 $\Theta_7 = 129.2^\circ\text{C}$, $k_{c7} = 0.985$ $\Theta_8 = 105.6^\circ\text{C}$, $k_{c8} = 0.997$ $\Theta_9 = 93.6^\circ\text{C}$, $k_{c9} = 1.000$
 $\Theta_{10} = 87.8^\circ\text{C}$, $k_{c10} = 1.000$

mittlerer Reduktionskoeffizient (zugeh. Temperatur): $k_{cm} = 0.802$ ($\Theta_{cm} = 348.1^\circ\text{C}$)

Temperatur im Punkt M mit zugehörigen Reduktionskoeffizienten: $\Theta_{cM} = 86.7^\circ\text{C}$, $k_{cM} = 1.000$

statisch unwirksame Betonrandzone: $a_z = 5.10 \text{ cm}$

Temperatur im Beton (Bemessung) mit zugehörigem Reduktionskoeffizienten: $\Theta_c = 86.7^\circ\text{C}$, $k_c = 1.000$

Temperaturen in der Bewehrung: $\Theta_{sa} = 395.5^\circ\text{C}$

zugehörige Reduktionskoeffizienten: $k_{sy,a} = 1.000$ $k_{sp,a} = 0.429$ $k_{Es,a} = 0.705$

Heißbemessung für $\gamma_c = \gamma_s = 1$ (Spannungsdehnungslinienparameter nach 3.2)

reduzierter Querschnittsradius: $r = 14.90 \text{ cm}$

Bemessungsgrößen: $N_{Ed,fi} = -1500.00 \text{ kN}$ $M_{yEd,fi} = 126.00 \text{ kNm}$

Materialdaten:

Beton $\Theta_c = 87^\circ\text{C}$: $f_{c,\Theta} = 25.0 \text{ N/mm}^2$ ($E_{c,\Theta} = 31475.8 \text{ N/mm}^2$)

$\epsilon_{c1,\Theta} = \epsilon_{cu1,\Theta} = -3.75\%$ $\epsilon_{cV,\Theta} = 0.00\%$

Stahl $\Theta_s = 395^\circ\text{C}$: $f_{sp,\Theta} = 214.3 \text{ N/mm}^2$ $f_{sy,\Theta} = 500.0 \text{ N/mm}^2$ $E_{s,\Theta} = 140906.1 \text{ N/mm}^2$

$\epsilon_{sp,\Theta} = 1.52\%$ $\epsilon_{sy,\Theta} = 20.00\%$ $\epsilon_{st,\Theta} = \epsilon_{su,\Theta} = 50.00\%$ $\epsilon_{sV,\Theta} = 0.00\%$

⇒ Brandbewehrung: erf $A_{sa} = 46.12 \text{ cm}^2$

Gesamtbewehrung: total $A_{sa} = 195.6 \text{ cm}^2$ (max ρ_0 !)

total $a_{s,büv} = 47.37 \text{ cm}^2/\text{m}$

Ermüdungsnachweis für Beton nicht erfüllt !

gewählt: Längs, außen: 8 $\emptyset 20 = 25.1 \text{ cm}^2 < 195.6 \text{ cm}^2$

Bügel, außen: $\emptyset 10 / 30 \text{ cm} = 5.24 \text{ cm}^2/\text{m} < 47.37 \text{ cm}^2/\text{m}$

Verankerungslängen außen ($A_{sb,erf} = 24.82 \text{ cm}^2$ $A_{s,vorh} = 25.13 \text{ cm}^2$):

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: $l_b = 80.7 \text{ cm}$, $l_{b,min} = 20.0 \text{ cm}$, $l_{b,net} = 55.8 \text{ cm}$

$l_{b,dir} = 37.2 \text{ cm}$, $l_{b,ind} = 55.8 \text{ cm}$, $l_{b,Zwi} = 12.0 \text{ cm}$

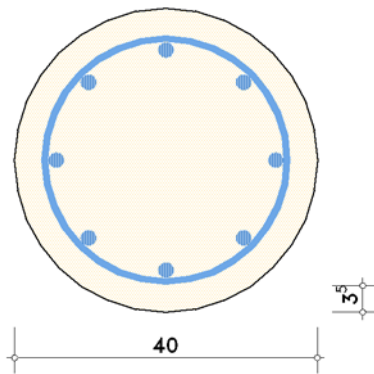
ohne: $l_b = 80.7 \text{ cm}$, $l_{b,min} = 24.2 \text{ cm}$, $l_{b,net} = 79.7 \text{ cm}$

$l_{b,dir} = 53.1 \text{ cm}$, $l_{b,ind} = 79.7 \text{ cm}$, $l_{b,Zwi} = 12.0 \text{ cm}$

Bewehrungsskizze:

Maßstab 1 : 10

cv = 3.5 cm



Querschnittsdaten

Bruttobetongfläche: $A_c = 12.6 \text{ dm}^2$, Flächenträgheitsmoment: $I_{cs} = 12.6 \text{ dm}^4$

Schwerpunktsabstand vom oberen Rand: $z_s = 20.0 \text{ cm}$

Gesamtfläche der Längsbewehrung: $\Sigma(\text{erf } A_s) = 195.6 \text{ cm}^2 \Rightarrow \rho_s = 15.56\% > 8.00\%$

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 $\sigma_c = f_{cd} (1 - (\epsilon_c / \epsilon_{c2})^n)$ 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

Symbolik: Positive Ergebnisgrößen, die mit -1.0 ausgewiesen werden, oder auch **** in den Tabellen weisen auf einen unzulässigen bzw. nicht ermittelbaren Zustand hin !