

Beispiel Dippelbaum-Beton-Verbund

Angabe

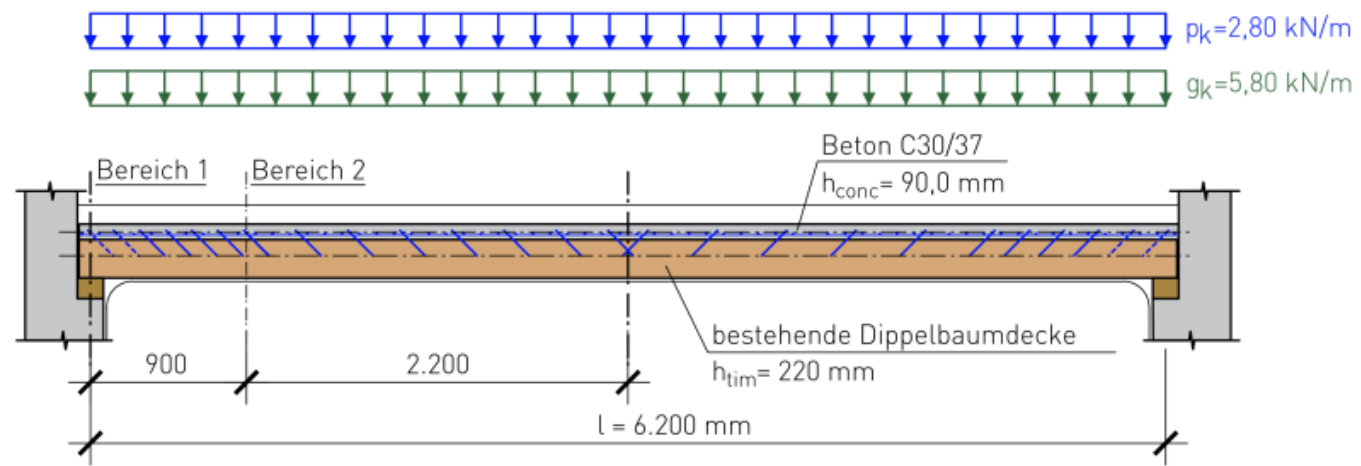


Abb. 1: Systemskizze

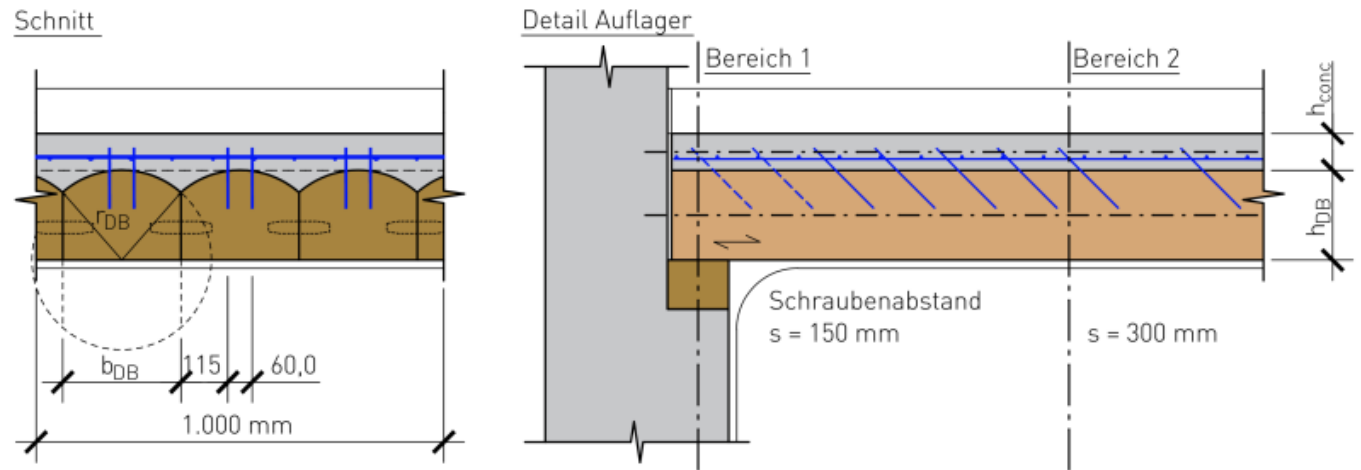


Abb. 2: Schnitt und Detail Auflager

Einwirkungen	charakt. Wert der ständigen Einwirkung	Eigengewicht	$g_{1,k} = 3,80\text{ kN/m}^2$ (lt. Berechnung)
		Fußbodenaufbau	$g_{2,k} = 2,00\text{ kN/m}^2$
	charakt. Wert der veränderl. Einwirkung	Nutzlast (inkl. Trennwandzuschlag)	$p_k = 2,80\text{ kN/m}^2$
Abmessungen und Aufbau	Spannweite	$l = 6,20\text{ m}$	
	Aufbau	Dippelbaumdecke, $b_{\text{DB}} / h_{\text{DB}} / r_{\text{DB}} = 290 / 220 / 220\text{ mm}$	
		Beton $h_{\text{conc}} = 90,0\text{ mm}$	
		Bewehrung BST 550 AQ 50 (wird in der Berechnung der wirksamen Steifigkeiten vernachlässigt)	
		HBV-Schraube: 8x205 mm, Einschraubwinkel $\alpha = 45^\circ$, Anordnung nach Skizze	

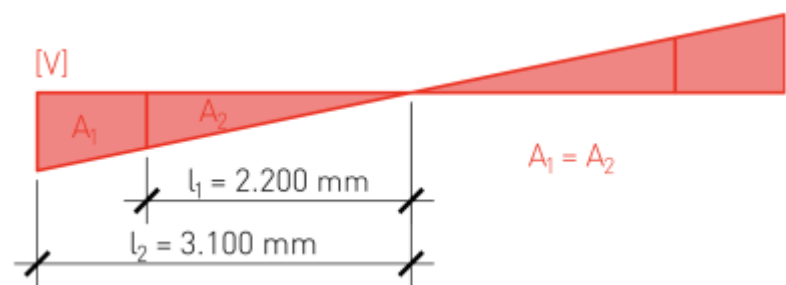
Material	Doppelbaum	Bestandholz nach ÖNORM B 4008-1 C24 nach ÖNORM EN 338	$f_{tim,m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$ $f_{tim,t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$ $f_{tim,v,k} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $E_{tim,0,mean} = 11.000 \text{ N/mm}^2$
	Beton	C30/37	$f_{ck} = 30,0 \text{ N/mm}^2$ $E_{cm} = 33.000 \text{ N/mm}^2$ Grundzahl des Kriechens (Endkriechzahl): $\varphi_0 = 2,50$ Endschwindmaß: $\epsilon_{cs,t=\infty} = -0,476\text{‰}$ (siehe Berechnung)
	Verbindungsmittelsteifigkeit	$K_{ser} = 90 \cdot I_{ef} = 90 \cdot 100 = 9.000 \text{ N/mm}$	
Nutzungsklasse	NKL 1		
KLED	"mittel"	$k_{mod} = 0,80$ $k_{def} = 0,60$	
Begrenzung der Durchbiegung	Anfangsdurchbiegung	$w_{inst,grenz} = l/300$	
	Enddurchbiegung	$w_{net,fin,grenz} = l/250$	
	Überhöhung	$w_c = 0 \text{ mm}$	

Überprüfung Randbedingungen

Aufteilung der Verbindungsmittel erfolgt entsprechend dem Querkraftverlauf in zwei Bereiche ($n = 2$)

$$\{l_1\} = \{l \over 2\} \cdot \sqrt{\{i \over n\}} = \{ \{6,20\} \over 2\} \cdot \sqrt{\{1 \over 2\}} = 2,19\text{m} \approx 2,20\text{m}$$

$$\{l_2\} = \{l \over 2\} \cdot \sqrt{\{i \over n\}} = \{ \{6,20\} \over 2\} \cdot \sqrt{\{2 \over 2\}} = 3,10\text{m}$$



Überprüfung der max. Verbindungsmittelabstände für das γ -Verfahren nach [ONR CEN/TS 19103:2022 \[1\]](#) & [ÖNORM B 1995-1-1:2019 - Anhang B \[2\]](#)

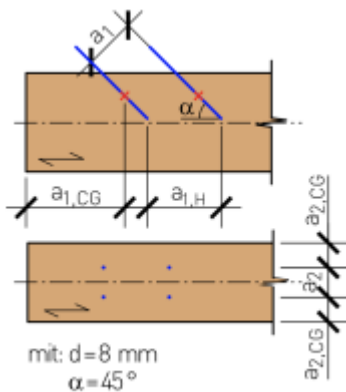
$$\{s_{\max, req}\} = 0,05 \cdot l = 0,05 \cdot 6.200 = 310\text{mm}$$

$$s_{\max, \text{prov}} \leq s_{\max, \text{req}} \leq 300 \text{ mm} \leq 310 \text{ mm}; \checkmark$$

$$s_{\max, \text{prov}} \leq 4 \cdot s_{\min, \text{prov}} \leq 300 \text{ mm} \leq 4 \cdot 150 = 600 \text{ mm}; \checkmark$$

Überprüfung Randabstände Schraube nach ÖNORM B 1995-1-1:2019 [2]

	Randabstände	Randabstände vorhanden	
$a_{1,H}$	$7d / \sin(\alpha) = 79,1 \text{ mm}$	150 mm	✓
a_2	$5 d = 40 \text{ mm}$	60,0 mm	✓
$a_{1,CG}$	$10 d = 80 \text{ mm}$	150 (450 [1]) mm	✓
$a_{2,CG}$	$4 d = 32 \text{ mm}$	115 mm	✓



Festigkeitskennwerte

Vollholz

Festigkeitskennwerte C24 lt. gemäß ÖNORM EN 338:2016 [3]

$$f_{m,d} = k_{\text{bmod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{24,0}{1,30} = 14,8 \text{ N/m}^2$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{bmod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{14,5}{1,30} = 8,92 \text{ N/m}^2$$

$$f_{\text{v},d} = k_{\text{bmod}} \cdot \frac{f_{\text{v},k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,30}{1,30} = 1,42 \text{ N/m}^2$$

Beton

Druckfestigkeit C30/37 gemäß ÖNORM EN 1992-1-1:2015 [4]

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,00 \cdot \frac{30,0}{1,50} = 20,0 \text{ kN/m}^2$$

Einwirkungskombinationen

Einwirkungskombinationen für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Berechnung Eigengewicht

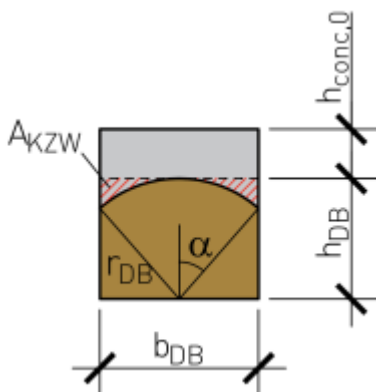
Fläche Kreiszwinkel A_{KZW}

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{290}{2 \cdot 220} \right) = 41,2^\circ$$

$$A_{KZW} = \{b_{DB}\} \cdot \{h_{DB}\} \cdot \left(1 - \cos \left(\alpha \right) \right) - \{h_{DB}\}^2 \cdot \left(\frac{\alpha - \sin \left(2\alpha \right)}{2} \right)$$

$$= 290 \cdot 220 \cdot \left(1 - \cos \left(41,2 \right) \right) - \{220^2\} \cdot \left(\frac{41,2 \cdot \pi}{180} - \frac{\sin \left(2 \cdot 41,2 \right)}{2} \right) = 4,98 \cdot 10^3 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tim/m}} = \{A_{\text{tim}}\} / b = 5,85 \cdot 10^4 \cdot \frac{1000}{290} = 2,02 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{m}$$



Berechnung Eigengewicht für 1 m Streifen

$$g_{k,1} = \{\gamma_{\text{conc}}\} \cdot \{h_{\text{conc}}\} \cdot b + \{\gamma_{\text{tim}}\} \cdot \{h_{DB}\} \cdot b + \{A_{KZW,1,\text{m}}\} \cdot \left(\{\gamma_{\text{conc}}\} - \{\gamma_{\text{tim}}\} \right)$$

$$= \left[25,0 \cdot 90,0 \cdot 1.000 + 5,50 \cdot 220 \cdot 1.000 + 1,72 \cdot \{10^4\} \cdot \left(25,0 - 5,50 \right) \right] \cdot 10^{-6} = 3,80 \text{ kN/m}$$

Grundkombination ($t = 0$) gemäß ÖNORM EN 1990:2013 [5]

$$q_{d,t=0} = \left(\sum \{\gamma_{G,j}\} \cdot \{g_{k,j}\} + \{\gamma_{Q,1}\} \cdot \{q_{k,1}\} + \sum \{\gamma_{Q,i}\} \cdot \{q_{k,i}\} \right) \cdot b = \left(1,35 \cdot \left(3,80 + 2,00 \right) + 1,50 \cdot 2,8 \right) \cdot 1,00 = 12,0 \text{ kN/m}$$

Grundkombination ($t = \infty$) gemäß ONR CEN/TS 19103:2022 [1]

Aufgrund des unterschiedlichen Kriechverhaltens des Betons, des Holzes und der Verbundmittel

werden die Einwirkungen (Lasten) im Grenzzustand der Tragfähigkeit zum Zeitpunkt $t = \infty$ in „kriechwirksame“ und „nicht kriechwirksame“ unterschieden. Die resultierenden Spannungen in der Holz-Beton-Verbundkonstruktion ergeben sich gemäß der Technischen Spezifikation [1] durch Überlagerung der Schnittgrößen aus dem quasi-ständigen Lastanteil ($q_{\text{perm,d}}$) und den Spannungen aus Schwinden, berechnet mit den Querschnittswerten zum Zeitpunkt $t = \infty$ sowie der Spannungen aus dem kurzzeitig wirkenden Lastanteil (nicht kriechwirksam, $q_{\text{short,d}}$) berechnet mit den Querschnittswerten zum Zeitpunkt $t = 0$.

$$q_{d,t=\infty} = \left[\sum \left(\gamma_{G,j} \cdot g_{k,j} \right) + \gamma_{Q,i} \cdot q_{k,i} \right] \cdot b = q_{\text{perm,d}} + q_{\text{short,d}} = \left[\sum \left(\gamma_{G,j} \cdot g_{k,j} \right) + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot q_{k,i} \right] \cdot b + \left[\gamma_{Q,i} \cdot \left(1 - \psi_{2,i} \right) \cdot q_{k,i} \right] \cdot b$$

quasi-ständiger Lastanteil

$$q_{\text{perm,d}} = \left[\sum \left(\gamma_{G,j} \cdot g_{k,j} \right) + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot q_{k,i} \right] \cdot b = \left[1,35 \cdot \left(3,80 + 2,00 \right) \right] + 1,50 \cdot 0,30 \cdot 2,80 \cdot 1,00 = 9,09 \text{ kN/m}$$

kurzzeitig wirkender Lastanteil

$$q_{\text{short,d}} = \left[\gamma_{Q,i} \cdot \left(1 - \psi_{2,i} \right) \cdot q_{k,i} \right] \cdot b = \left[1,50 \cdot \left(1 - 0,30 \right) \cdot 2,80 \right] \cdot 1,00 = 2,94 \text{ kN/m}$$

Einwirkungskombinationen für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

charakteristische Lastkombination

$$q_{\text{Ed,rare}} = \left(\sum \{ g_{k,j} \} + \sum \{ q_{k,i} \} \right) \cdot b = \left(\left(3,80 + 2,00 \right) + 2,80 \right) \cdot 1,00 = 8,60 \text{ kN/m}$$

quasi-ständige Lastkombination

$$q_{\text{Ed,perm}} = \left(\sum \{ g_{k,j} \} + \sum \left(\psi_{2,i} \cdot q_{k,i} \right) \right) \cdot b = \left(3,80 + 2,00 + 0,3 \cdot 2,80 \right) \cdot 1,00 = 6,64 \text{ kN/m}$$

kurzzeitig wirkender Lastanteil

$$q_{\text{Ed,short}} = \left(1 - \psi_{2,i} \right) \cdot q_{k,i} \cdot b = \left(1 - 0,30 \right) \cdot 2,80 \cdot 1,00 = 1,96 \text{ kN/m}$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Zeitpunkt $t = 0$

Berechnung mit den Querschnittswerte zum Zeitpunkt $t = 0$

Bemessungswerte der Elastizitätsmoduli/ Verschiebungsmodul

Elastizitätsmodul Beton

$$E_{\text{conc},d,t=0} = \frac{E_{\text{cm}}}{\gamma_c} = \frac{33.000}{1,50} = 22.000 \text{ N/mm}^2$$

Elastizitätsmodul Holz

$$E_{\text{tim},0,\text{mean},d,t=0} = \frac{E_{\text{tim},0,\text{mean}}}{\gamma_M} = \frac{11.000}{1,30} = 8.460 \text{ N/mm}^2$$

Verschiebungsmodul pro Verbindungsmittel

Holz-Beton-Verbundschraube 8x205 mm, $l_{\text{ef}} = 100 \text{ mm}$, $K_{\text{ser}} = 90 \text{ N/mm}^2$ (nach Herstellerangabe)

$$K_{u,t=0} = \frac{2}{3} \cdot K_{\text{ser},t=0} = \frac{2}{3} \cdot 90 \cdot l_{\text{ef}} = \frac{2}{3} \cdot 90 \cdot 100 = 6.000 \text{ N/mm}$$

$$K_{u,d,t=0} = \frac{K_{u,t=0}}{\gamma_{M,\text{Verb}}} = \frac{6.000}{1,25} = 4.800 \text{ N/mm}$$

effektiver Verbindungsmittelabstand

$$s_{\text{ef}} = 0,75 \cdot s_{\text{min}} \cdot \frac{K_{\text{ref}}}{K_{\text{max}}} + 0,25 \cdot s_{\text{max}} \cdot \frac{K_{\text{ref}}}{K_{\text{min}}} = 0,75 \cdot 150 \cdot \frac{4.800}{4.800} + 0,25 \cdot 300 \cdot \frac{4.800}{4.800} = 188 \text{ mm}$$

Querschnittswerte der Dippelbaumdecke (Querschnitt 2)

Fläche für 1 m -Streifen

$$A_{\text{DB},1\text{m}} = b \cdot h_{\text{DB}} - A_{\text{KZW},1\text{m}} = 1.000 \cdot 220 - 1,72 \cdot 10^4 = 2,03 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

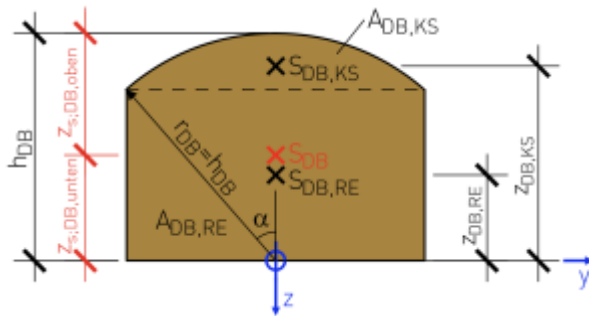
Berechnung Schwerpunkt Dippelbaum

$$A_{\text{DB},\text{KS}} = h_{\text{DB}}^2 \cdot \left(\frac{\alpha - \sin(\alpha)}{2} \right) \cdot \frac{b}{b_{\text{DB}}} = 220^2 \cdot \left(\frac{41,2 \cdot \frac{\pi}{180} - \sin(41,2)}{2} \right) = 1,08 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$z_{s;\text{DB},\text{KS}} = \frac{b_{\text{DB}}^3}{12 \cdot A_{\text{DB},\text{KS}}} = - \frac{290^3}{12 \cdot 1,08 \cdot 10^4} = - 188 \text{ mm}$$

$$A_{\text{DB},\text{RE}} = b_{\text{DB}} \cdot h_{\text{DB}} \cdot \cos(\alpha) = 290 \cdot 220 \cdot \cos(41,2) = 4,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$z_{s;\text{DB},\text{RE}} = \frac{h_{\text{DB}}}{2} \cdot \cos(\alpha) = - \frac{220}{2} \cdot \cos(41,2) = - 82,8 \text{ mm}$$



$$z_{s,DB,unten} = \frac{\sum \{A_i \cdot z_{s,i}\}}{\sum \{A_i\}} = \frac{\{A_{DB,KS} \cdot z_{s,DB,KS}\} + \{A_{DB,RE} \cdot z_{s,DB,RE}\}}{\{A_{DB,KS} + A_{DB,RE}\}} = \frac{\{1,08 \cdot 10^4 \cdot 188 + 4,80 \cdot 10^4 \cdot 82,8\}}{\{1,08 \cdot 10^4 + 4,80 \cdot 10^4\}} = 102 \text{ mm}$$

$$z_{s,DB,oben} = \{h_{DB}\} - \{z_{s,DB,unten}\} = 220 - 102 = 118 \text{ mm}$$

Bei üblichen Dippelbaumgeometrien kann das Eigenträgheitsmoment des Kreissegmentes vernachlässigt werden. Somit kann das Flächenträgheitsmoment eines Dippelbaumes vereinfacht wie folgt berechnet werden:

$$I_{DB} = \sum \{I_i\} + \sum \{A_i \cdot e_i^2\} = \{I_{DB,RE}\} + \{A_{DB,RE} \cdot \left(\{z_{s,DB,unten}\} - \{z_{s,DB,RE}\}\right)^2\} + \underbrace{\{I_{DB,KS}\}}_{< 0} + \{A_{DB,KS} \cdot \left(\{z_{s,DB,unten}\} - \{z_{s,DB,KS}\}\right)^2\}$$

$$= \left\{ \frac{290 \cdot \left(220 \cdot \cos(41,2)\right)^3}{12} + 4,80 \cdot 10^4 \cdot (102 - 82,8)^2 + 0 + 1,08 \cdot 10^4 \cdot (102 - 188)^2 \right\}$$

$$= 1,10 \cdot 10^8 + 1,77 \cdot 10^7 + 0 + 7,99 \cdot 10^7 = 2,08 \cdot 10^8$$

1 m Streifen

$$I_{DB,1;m} = I_{DB} \cdot \frac{b}{b_{DB}} = 2,08 \cdot 10^8 \cdot \frac{1.000}{290} = 7,17 \cdot 10^8 \text{ m}^4$$

Berechnung der Dehn- und Biegesteifigkeit der Dippelbaumdecke

$$\left(E \cdot A \right)_{tim,d,t=0} = \{E_{m,0,mean,d,t=0}\} \cdot \{A_{DB,1;m}\} = 8.460 \cdot 2,03 \cdot 10^5 = \left(\underline{1,72 \cdot 10^9 \text{ N}} \right)$$

$$\left(E \cdot I \right)_{tim,d,t=0} = \{E_{m,0,mean,d,t=0}\} \cdot \{I_{DB,1;m}\} = 8.460 \cdot 7,17 \cdot 10^8 = \left(\underline{6,07 \cdot 10^{12} \text{ Nm}^2} \right)$$

Querschnittswerte des Betonquerschnitts Zustand II (Querschnitt 1)

Berechnung der gerissenen Betonhöhe h_{cr}

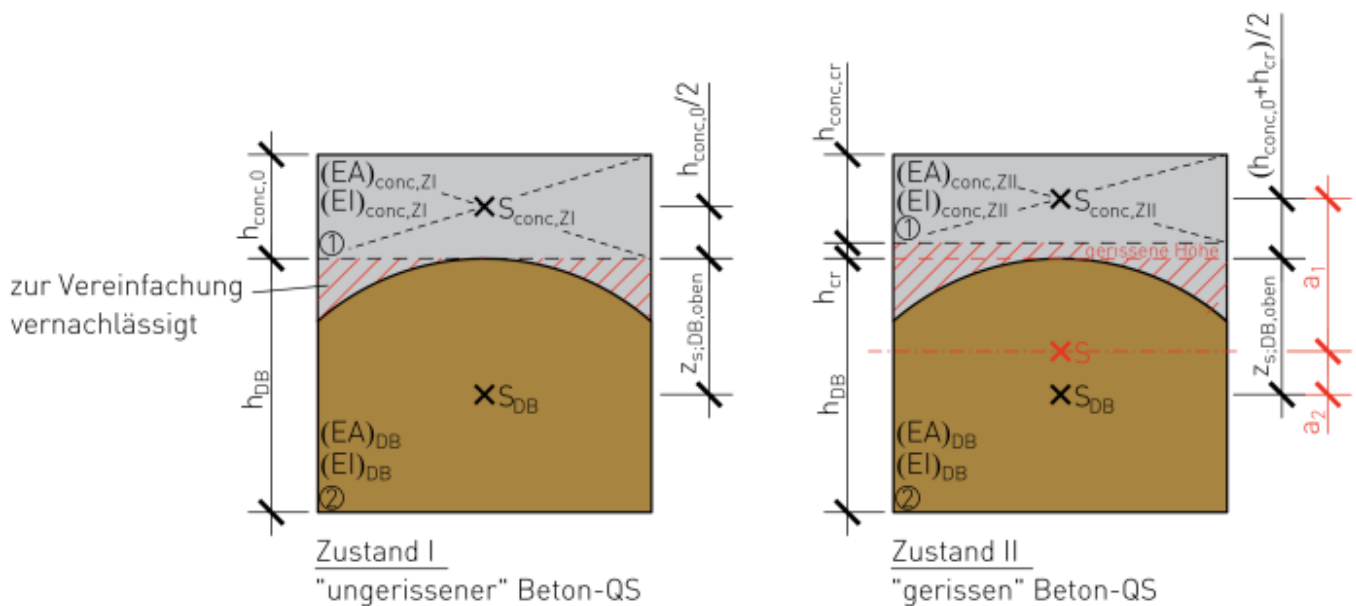
mit dem Hilfwert γ_{cr} :

für $1.000/290 = 3,45$ Verbindungsmittelreihen pro Meter, je 2 Schraubenreihen.

$$\gamma_{cr} = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot s_{ef}}{l^2 \cdot K_i} \right) \cdot E_{tim} \cdot b_{conc} \cdot E_{conc} = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot 188}{6.200^2 \cdot 3,45 \cdot 2 \cdot 4.800} \right) \cdot 1,72 \cdot 10^9 \cdot 1.000 \cdot 22.000 = 7,71 \cdot 10^7 \text{ N/mm}$$

$$h_{cr} = h_{conc,0} - \frac{\sqrt{EA_{tim}^2 + 2 \cdot \gamma_{cr} \cdot E_{tim}} \cdot \left(h_{conc,0} + z_{s,DB,oben} \right) - E_{tim}}{\gamma_{cr}}$$

$$= 90,0 - \frac{\sqrt{\left(1,72 \cdot 10^9 \right)^2 + 2 \cdot 7,71 \cdot 10^7 \cdot 1,72 \cdot 10^9} \cdot \left(90,0 + 118 \right) - 1,72 \cdot 10^9}{7,71 \cdot 10^7} = 13,4 \text{ mm}$$



$$h_{conc,cr} = h_{conc,0} - h_{cr} = 90,0 - 13,4 = 76,6 \text{ mm}$$

Berechnung der Dehn- und Biegesteifigkeit des Betonquerschnitts

unter Vernachlässigung von:

- der Bewehrung in der Steifigkeitsberechnung
- dem Beton-„Zwickel“ zwischen den Dippelbäumen

$$\left(E \cdot A \right)_{conc,d,t=0} = E_{conc,d,t=0} \cdot b \cdot h_{conc,cr} = 22.000 \cdot 1.000 \cdot 76,6 = \underline{1,69 \cdot 10^9 \text{ N}}$$

$$\left(E \cdot I \right)_{conc,d,t=0} = E_{conc,d,t=0} \cdot b \cdot \frac{h_{conc,cr}^3}{12} = 22.000 \cdot 1.000 \cdot \frac{76,6^3}{12} = \underline{8,24 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2}$$

Schnittkraft- & Spannungsberechnung (zum Zeitpunkt $t = 0$)

Verbundfaktoren (mit $1.000/290 = 3,45$ Verbindungsmittelreihen pro Meter, je 2 Schraubenreihen)

$$\frac{\gamma_1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{E_{A_{\text{conc},d,t=0}} \cdot s_{\text{ef}}}{K_{u,d,t=0} \cdot I^2}} = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{1,69 \cdot 10^9 \cdot 188}{3,45 \cdot 2 \cdot 4.800 \cdot (6.200)^2}} = 0,289$$

$$\gamma_2 = 1,00$$

Schwerpunktsabstände

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_{A_{\text{conc},d,t=0}} \cdot \left(\frac{z_{s;DB,\text{oben}}}{2} + \frac{h_{\text{conc},0} + h_{\text{cr}}}{2} \right)}{\gamma_1 \cdot E_{A_{\text{conc},d,t=0}} + E_{A_{\text{tim},d,t=0}}} = \frac{0,289 \cdot 1,69 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{118 + \frac{90,0 + 13,4}{2}}{2} \right)}{0,289 \cdot 1,69 \cdot 10^9 + 1,72 \cdot 10^9} = 37,5 \text{ mm}$$

$$a_1 = z_{s;DB,\text{oben}} + \frac{\left(\frac{h_{\text{conc},0} + h_{\text{cr}}}{2} \right)}{2} - a_2 = 118 + \frac{\left(\frac{90,0 + 13,4}{2} \right)}{2} - 37,5 = 132 \text{ mm}$$

Ermittlung der effektiven Biegesteifigkeit

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,t=0} = \sum \left(E I_i + \gamma_i \cdot E_{A_i} \cdot a_i^2 \right) = E_{I_{\text{conc}}} + \gamma_1 \cdot E_{A_{\text{conc}}} \cdot a_1^2 + E_{I_{\text{tim}}} + \gamma_2 \cdot E_{A_{\text{tim}}} \cdot a_2^2$$

$$= 8,24 \cdot 10^{11} + 0,289 \cdot 1,69 \cdot 10^9 \cdot 132^2 + 6,07 \cdot 10^{12} + 1,00 \cdot 1,72 \cdot 10^9 \cdot 37,5^2 = 1,78 \cdot 10^{13} \text{ Nm}^2$$

Berechnung der Spannungen für die Grundkombination $q_{d,t=0}$

Moment

$$M_{d,t=0} = \frac{q_{d,t=0} \cdot l^2}{8} = \frac{12,0 \cdot 6,20^2}{8} = 57,7 \text{ kNm}$$

Spannungen Beton (Querschnitt 1)

$$\sigma_{N,\text{conc};t=0} = - \frac{M_{d,t=0}}{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,t=0}} \cdot \gamma_1 \cdot E_{A_{\text{conc},d,t=0}} \cdot a_1 = - \frac{57,7 \cdot 10^6}{1,78 \cdot 10^{13}} \cdot 0,289 \cdot 22.000 \cdot 132 = - 2,72 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{M,\text{conc},t=0} = \pm \frac{M_{d,t=0}}{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,t=0}} \cdot E_{A_{\text{conc},d,t=0}} \cdot \frac{h_{\text{conc},\text{cr}}}{2} = \pm \frac{57,7 \cdot 10^6}{1,78 \cdot 10^{13}} \cdot 22.000 \cdot \frac{76,6}{2} = \pm 2,73 \text{ N/mm}^2$$

Spannungen Holz (Querschnitt 2)

$$\sigma_{N,\text{tim};t=0} = \frac{M_{d,t=0}}{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,t=0}} \cdot \gamma_2 \cdot E_{A_{\text{tim},d,t=0}} \cdot a_2 = - \frac{57,7 \cdot 10^6}{1,78 \cdot 10^{13}} \cdot 1,00 \cdot 8.460 \cdot 37,5 = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{M,\text{tim},\text{oben};t=0} = \frac{M_{d,t=0}}{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,t=0}} \cdot E_{A_{\text{tim},d,t=0}} \cdot z_{s;DB,\text{oben}} = \frac{57,7 \cdot 10^6}{1,78 \cdot 10^{13}} \cdot 8.460 \cdot \left(- 118 \right) = - 3,24 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{M,\text{tim},\text{unten};t=0} = \frac{M_{d,t=0}}{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,t=0}}$$

$$0\}}\}} \cdot \{E_{\text{tim},d;t=0}\} \cdot \{z_{\text{s};DB,\text{unten}}\} = \{57,7 \cdot \{10\}^6\} \cdot \{1,78 \cdot \{10\}^{13}\} \cdot 8.460 \cdot 102 = 2,80\text{N/m}\{m^2\}$$

Übersicht der Spannungen für die Grundkombination, dem quasi-ständigen und den kurzzeitig wirkenden Lastanteil

	Grundkombination $q_{d,t=0} = 12,0 \text{ kN/m}$			quasi-ständige Kombination $q_{\text{perm},d} = 9,09 \text{ kN/m}$			kurzzeitig wirkender Lastanteil $q_{\text{short},d} = 2,94 \text{ kN/m}$		
Faser	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$
[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	-2,72	-2,73	-5,45	-2,06	-2,07	-4,13	-0,666	-0,669	-1,34
76,6		2,73	0,01		2,07	0,01		0,669	0,003
90	1,03	-3,24	-2,21	0,780	-2,45	-1,67	0,252	-0,794	-0,542
310		2,80	3,83		2,12	2,90		0,686	0,938

Zeitpunkt $t = \infty$

Ermittlung des Beiwertes zur Berücksichtigung des Systemkriechverhaltens

(siehe ONR CEN/TS 19103:2022[1])

Koeffizient zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Verbundwirkungen auf die Kriechzahl des Betonquerschnitts aus Tab. 7.1 ONR CEN/TS 19103:2022 [1]

für $\varphi_0 = 2,50$ und $k_{\text{def}} = 0,60$

$$\psi_{\text{conc}} = 2,0 - 0,5 \cdot \{\gamma_1\}^{1,9} = 2,0 - 0,5 \cdot \{0,289\}^{1,9} = 1,95$$

Tab. 1: Steifigkeiten und Verschiebungsmodul zum Zeitpunkt $t = \infty$

	Holz	Beton	Verbindung
$t=0$	$E_{\text{tim},0,\text{mean},d,t=0} = 8.460 \text{ N/mm}^2$	$E_{\text{conc},d,t=0} = 22.000 \text{ N/mm}^2$	$K_{u,d,t=0} = 4.800 \text{ N/mm}$
Beiwerte	$\psi_{\text{tim}} = 1,00$	$\psi_{\text{conc}} = 1,95$	$\psi_{\text{conn}} = 1,00$
Langzeit	$k_{\text{def}} = 0,60$	$\varphi_0 = 2,50$	$k_{\text{def}}' = 2 \cdot k_{\text{def}} = 2 \cdot 0,60 = 1,20$
$t = \infty$	$\{E_{\text{tim},0,\text{mean},d,t=\infty}\} = \{ \{ \{ E_{\text{tim},0,\text{mean},d,t=0} \} \} \cdot \{1 + \{\psi_{\text{tim}}\} \cdot \{k_{\text{def}}\} \} \} \}$ $= \{ \{ 8.460 \} \cdot \{1 + 1,00 \cdot 0,60\} \} = 5.290 \text{ N/mm}^2$	$\{E_{\text{conc},d,t=\infty}\} = \{ \{ \{ E_{\text{conc},d,t=0} \} \} \cdot \{1 + \{\psi_{\text{conc}}\} \cdot \{\varphi_0\} \} \}$ $= \{ \{ 22.000 \} \cdot \{1 + 1,95 \cdot 2,50\} \} = 3.740 \text{ N/mm}^2$	$\{K_{u,d,t=\infty}\} = \{ \{ \{ K_{u,d,t=0} \} \} \cdot \{1 + \{\psi_{\text{conn}}\} \cdot \{k_{\text{def}}'\} \} \}$ $= \{ \{ 4.800 \} \cdot \{1 + 1,00 \cdot 1,20\} \} = 2.180 \text{ N/mm}$

Berechnung mit den Querschnittswerte zum Zeitpunkt $t = \infty$

Querschnittswerte des Betonquerschnitts Zustand II (Querschnitt 1)

mit der Risshöhe des Zeitpunktes $t = 0$: $h_{cr} = 13,4 \text{ mm}$ | $h_{conc,cr} = 76,6 \text{ mm}$

$$\left(E \cdot A \right)_{conc,d,t = \infty} = E_{conc,d,t = \infty} \cdot b \cdot h_{conc,cr} = 3.740 \cdot 1.000 \cdot 76,6 = 2,86 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$\left(E \cdot I \right)_{conc,d,t = \infty} = E_{conc,d,t = \infty} \cdot b \cdot \frac{h_{conc,cr}^3}{12} = 3.740 \cdot 1.000 \cdot \frac{76,6^3}{12} = 1,40 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2$$

Querschnittswerte der Dippelbaumdecke (Querschnitt 2)

$$\left(E \cdot A \right)_{tim,d,t = \infty} = E_{m,0,mean,d,t = \infty} \cdot A_{DB,1;m} = 5.290 \cdot 2,03 \cdot 10^5 = 1,07 \cdot 10^9 \text{ N}$$

$$\left(E \cdot I \right)_{tim,d,t = \infty} = E_{m,0,mean,d,t = \infty} \cdot I_{DB,1;m} = 5.290 \cdot 7,17 \cdot 10^8 = 3,79 \cdot 10^{12} \text{ Nm}^2$$

Schnittkraft- & Spannungsberechnung (zum Zeitpunkt $t = \infty$)

Verbundfaktoren

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{E \cdot A_{conc,d,t = \infty} \cdot s_{ef}}{K_{u,d,t = \infty} \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{2,86 \cdot 10^8 \cdot 188}{3,45 \cdot 2 \cdot 2.180 \cdot 6.200^2}} = 0,521$$

$$\gamma_2 = 1,00$$

Schwerpunktsabstände

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E \cdot A_{conc,d,t = \infty} \cdot \left(\frac{z_{s,DB,oben}}{2} + \frac{h_{conc} + h_{cr}}{2} \right) + \left(\frac{h_{conc}}{2} + \frac{h_{cr}}{2} \right) \cdot E \cdot A_{tim,d,t = \infty}}{\gamma_1 \cdot E \cdot A_{conc,d,t = \infty} + E \cdot A_{tim,d,t = \infty}} = \frac{0,521 \cdot 2,86 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{118}{2} + \frac{\left(\frac{90,0 + 13,4}{2} \right)}{2} \right) + \left(\frac{90,0 + 13,4}{2} \right) \cdot 1,07 \cdot 10^9}{0,521 \cdot 2,86 \cdot 10^8 + 1,07 \cdot 10^9} = 20,7 \text{ mm}$$

$$a_1 = z_{s,DB,oben} + \left(\frac{h_{conc,0} + h_{cr}}{2} \right) - a_2 = 118 + \left(\frac{90,0 + 13,4}{2} \right) - 20,7 = 149 \text{ mm}$$

effektive Biegesteifigkeit

$$\left(E \cdot I \right)_{TCC,d,t = \infty} = \sum \left(E \cdot I_i + \gamma_i \cdot E \cdot A_i \cdot a_i^2 \right) = E \cdot I_{conc} + \gamma_1 \cdot E \cdot A_{conc} \cdot a_1^2 + E \cdot I_{tim} + \gamma_2 \cdot E \cdot A_{tim} \cdot a_2^2$$

$$= 1,40 \cdot 10^{11} + 0,521 \cdot 2,86 \cdot 10^8 \cdot 149^2 + 3,79 \cdot 10^{12} + 1,00 \cdot 1,07 \cdot 10^9 \cdot 20,7^2 = 7,70 \cdot 10^{12} \text{ Nm}^2$$

Berücksichtigung der spannungslosen Dehnungen

resultierende relative Schwinddehnung

mit $\varepsilon_{s, \text{tim}, \text{ef} > 7} = 0 \text{ ‰} \mid \varepsilon_{cs} = 0,476 \text{ ‰}$ (Berechnung)

$$\Delta \{\varepsilon_{\text{ef}; t = \infty}\} = \{\varepsilon_{s, \text{tim}, \text{ef}; t = \infty}\} - \{\varepsilon_{s, \text{conc}, \text{ef}; t = \infty}\} = \{\varepsilon_{s, \text{tim}, \text{ef}}\} - 0,9 \cdot \{\varepsilon_{cs}\} = 0 - 0,9 \cdot 0,476 \text{ ‰} = 0,428 \text{ ‰}$$

$$z = \{a_1\} + \{a_2\} = 149 + 20,7 = 170 \text{ mm}$$

Vorfaktor

$$C_{\{p, \text{sls}\}} = \{\pi^2\} \cdot \{E\{A_{\text{conc}, d; t = \infty}\} \cdot E\{A_{\text{tim}, d; t = \infty}\} \cdot z \cdot \gamma_1\} \cdot \over{\left(\{E\{A_{\text{conc}, d; t = \infty}\} + E\{A_{\text{tim}, d; t = \infty}\} \right) \cdot \{I^2\}} = \{\pi^2\} \cdot \{2,86 \cdot \{10\}^8 \cdot 1,07 \cdot \{10\}^9 \cdot 170 \cdot 0,521\} \cdot \over{\left(\{2,86 \cdot \{10\}^8 + 1,07 \cdot \{10\}^9 \right) \cdot \{6.200\}^2\}} = 5.130 \text{ N/mm}$$

fiktive vertikale (charakteristische) Ersatzlast

$$p_{\{\Delta \{\varepsilon_{\text{ef}; t = \infty}\}\}} = \{C_{\{p, \text{sls}\}}\} \cdot \Delta \{\varepsilon_{\text{ef}; t = \infty}\} = 5.130 \cdot 0,428 \cdot \{10^{-3}\} = 2,20 \text{ N/mm} = 2,20 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der Ersatzlast

$$p_{\{\Delta \{\varepsilon_{\text{ef}; d; t = \infty}\}\}} = \{\gamma_{SH}\} \cdot p_{\{\Delta \{\varepsilon_{\text{ef}; t = \infty}\}\}} = 1,35 \cdot 2,20 = 2,97 \text{ kN/m}$$

Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit unter Berücksichtigung der spannungslosen Dehnungen

Hinweis intern: Formel (B.8) nach TS unklar. $C_{\{p, \text{sls}\}}$ sollte zwischen 0,9 & 1,1 liegen sonst andere Gleichung? Gleichung in TS unklar.

$$C_{\{j, \text{sls}\}} = \{ \{p_{\text{perm}}\}_d + \{p_{\{\Delta \{\varepsilon_{\text{ef}; d; t = \infty}\}\}}\} \cdot \over{\{ \{p_{\text{perm}}\}_d + \{E\{A_{\text{conc}, d; t = \infty}\} + E\{A_{\text{tim}, d; t = \infty}\} \} \cdot \gamma_1 \cdot E\{A_{\text{conc}, d; t = \infty}\} + E\{A_{\text{tim}, d; t = \infty}\} \} \cdot \{p_{\{\Delta \{\varepsilon_{\text{ef}; d; t = \infty}\}\}}\}} = \{9,09 + 2,97\} \cdot \over{\{9,09 + \{2,86 \cdot \{10\}^8 + 1,07 \cdot \{10\}^9\} \cdot 0,521 \cdot 2,86 \cdot \{10\}^8 + 1,07 \cdot \{10\}^9\} \cdot 2,97\}} = 0,973$$

$$\left(E \cdot I \right)_{TCC, d, \text{ef}; t = \infty} = \{C_{\{j, \text{sls}\}}\} \cdot \left(E \cdot I \right)_{TCC, d, t = \infty} = 0,973 \cdot 7,70 \cdot \{10^{12}\} = \left(7,49 \cdot \{10^{12}\} \right) \text{ Nm}^2$$

Berechnung der ständigen (kriechwirksamen) Spannungen

Faktor 0,8 zur Umrechnung von parabelförmigen Moment auf konstantes.

$$M_{\text{perm}, d; t = 0} = \{ \{q_{\text{perm}, d}\} \cdot \{I^2\} \cdot \over{8} \} = \{9,09 \cdot \{6,20\}^2\} \cdot \over{8} = 43,7 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{perm},d;t=\infty} &= \left\{ \left(q_{\text{perm},d} + 0,8 \cdot p_{\Delta \epsilon_{ef,d;t=\infty}} \right) \cdot l^2 \over 8 \right\} = \left\{ \left(9,09 + 0,8 \cdot 2,97 \right) \cdot \right. \\ &\left. \left\{ 6,20 \right\}^2 \over 8 \right\} = 55,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berechnung der Schnittgrößen der einzelnen Teilquerschnitte nach ONR CEN/TS 19103:2022 [1] - Anhang B

Für die Nachweise im ULS zum Zeitpunkt $t = \infty$ werden die Spannungen in den Teilquerschnitten durch Überlagerung der Spannungen aus dem quasi-ständigen Lastanteil (unter Verwendung der Querschnittswerte bei $t = \infty$) und des kurzzeitigen Lastanteils (unter Verwendung der Querschnittswerte bei $t = 0$) bestimmt.

Im Folgenden werden die Spannungen aus dem quasi-ständigen Lastanteil berechnet:

Biegemoment im Bauteil i infolge äußerer Lasten und einem Teil (80 %) der fiktiven Last als Äquivalent zu den unelastischen Dehnungen

$$\begin{aligned} M_{\text{conc,perm},d;t=\infty} &= \left\{ \left(E \cdot I \right)_{\text{conc},d;t=\infty} \over \left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,ef;t=\infty} \right\} \cdot M_{\text{perm},d;t=\infty} = \left\{ 1,40 \cdot \right. \\ &\left. \left\{ 10 \right\}^{11} \over \left\{ 7,49 \cdot \left\{ 10 \right\}^{12} \right\} \right\} \cdot 55,1 = 1,03 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{tim,perm},d;t=\infty} &= \left\{ \left(E \cdot I \right)_{\text{tim},d;t=\infty} \over \left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,ef;t=\infty} \right\} \cdot M_{\text{perm},d;t=\infty} = \left\{ 3,79 \cdot \right. \\ &\left. \left\{ 10 \right\}^{12} \over \left\{ 7,49 \cdot \left\{ 10 \right\}^{12} \right\} \right\} \cdot 55,1 = 27,9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Normalkraft in den Bauteilen infolge äußerer Lasten

$$z = a_1 + a_2 = 149 + 20,7 = 170 \text{ mm} = 0,170 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{tim,perm},d;t=\infty} &= - \left\{ N_{\text{conc,perm},d;t=\infty} \right\} = \left\{ M_{\text{perm},d;t=0} - \right. \\ &\left. M_{\text{conc,perm},d;t=\infty} - M_{\text{tim,perm},d;t=\infty} \right\} \over z = \left\{ 43,7 - 1,03 - 27,9 \right\} \over \\ &\left\{ 0,170 \right\} = 86,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Spannungen Beton (Querschnitt 1)

$$\begin{aligned} \sigma_{N,\text{conc,perm},t=\infty} &= \left\{ N_{\text{conc,perm},d;t=\infty} \right\} \over \left\{ b \cdot \right. \\ &\left. h_{\text{conc,cr}} \right\} = \left\{ - 86,9 \cdot \left\{ 10 \right\}^3 \right\} \over \left\{ 1.000 \cdot 76,6 \right\} = - 1,13 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{M,\text{conc,perm},t=\infty} &= \mp \left\{ 6 \cdot M_{\text{conc,perm},d;t=\infty} \right\} \over \left\{ b \cdot \right. \\ &\left. h_{\text{conc,cr}}^2 \right\} = \mp \left\{ 6 \cdot 1,03 \cdot \left\{ 10 \right\}^6 \right\} \over \left\{ 1.000 \cdot \left\{ 76,6 \right\}^2 \right\} = \\ &\mp 1,05 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Spannungen Holz (Querschnitt 2)

$$\begin{aligned} \sigma_{N,\text{tim,perm},t=\infty} &= \left\{ N_{\text{tim,perm},d;t=\infty} \right\} \over \left\{ A_{DB,1;m} \right\} = \\ &\left\{ 86,9 \cdot \left\{ 10 \right\}^3 \right\} \over \left\{ 2,03 \cdot \left\{ 10 \right\}^5 \right\} = 0,428 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{M,\text{tim,perm},\text{oben},t=\infty} &= \left\{ M_{\text{tim,perm},d;t=\infty} \right\} \over \\ &\left\{ I_{DB,1;m} \right\} \cdot z_{s,DB,\text{oben}} = \left\{ 27,9 \cdot \left\{ 10 \right\}^6 \right\} \over \left\{ 7,17 \cdot \right. \\ &\left. \left\{ 10 \right\}^8 \right\} \cdot \left(- 118 \right) = - 4,59 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{M,\text{tim,perm},\text{unten},t=\infty} = \left\{ M_{\text{tim,perm},d;t=\infty} \right\} \over$$

$$\{ \{ I_{DB,1;m} \} \} \cdot \{ z_{s,DB,unten} \} = \{ \{ 27,9 \cdot \{ 10 \}^6 \} \over \{ 7,17 \cdot \{ 10 \}^8 \} \} \cdot 102 = 3,97 \text{ N/m}^2$$

Überlagerung der Spannungen für die Nachweise im ULS - $t = \infty$

	kurzzeitigen Lastanteil $q_{short,d}$ = 2,94 kN/m			quasi-ständige Kombination $q_{perm,d} = 9,09 \text{ kN/m}$			Summe aus $q_{short,d} + q_{perm,d}$		
Faser	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$
[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	-0,666	-0,669	-1,34	-1,13	-1,05	-2,18	-1,80	-1,72	-3,52
76,6		0,669	0,003		1,05	-0,08		1,72	-0,08
90	0,252	-0,794	-0,542	0,428	-4,59	-4,16	0,680	-5,38	-4,70
310		0,686	0,938		3,97	4,40		4,66	5,34

Zeitpunkt $t = 3 - 7$ Jahre

Kontrolle Kräfte und Spannungen nach 3 bis 7 Jahren

Überprüfung, ob die Kräfte und Spannungen nach 3 bis 7 Jahren nachzuweisen sind:

zum Zeitpunkt $t = 0$

- für die quasi-ständige Einwirkungskombination

$$\eta_{tim,perm,d,t=0} = \left\{ \frac{\sigma_{tim,t,d,t=0}}{f_{tim,t,0,d}} \right\} + \left\{ \frac{\sigma_{tim,m,d,t=0}}{f_{tim,m,d}} \right\} = \left\{ \frac{0,780}{8,92} \right\} + \left\{ \frac{-2,45}{14,8} \right\} = 0,0874 + 0,166 = 0,253$$

- für den kurzzeitig wirkenden Anteil der Einwirkungskombination

$$\eta_{tim,short,d,t=0} = \left\{ \frac{\sigma_{tim,t,d,t=0}}{f_{tim,t,0,d}} \right\} + \left\{ \frac{\sigma_{tim,m,d,t=0}}{f_{tim,m,d}} \right\} = \left\{ \frac{0,252}{8,92} \right\} + \left\{ \frac{-0,794}{14,8} \right\} = 0,0283 + 0,0536 = 0,0819$$

zum Zeitpunkt $t = \infty$

- für die quasi-ständige Einwirkungskombination

$$\eta_{tim,perm,d,t=\infty} = \left\{ \frac{\sigma_{tim,t,d,t=\infty}}{f_{tim,t,0,d}} \right\} + \left\{ \frac{\sigma_{tim,m,d,t=\infty}}{f_{tim,m,d}} \right\} = \left\{ \frac{0,428}{8,92} \right\} + \left\{ \frac{-4,59}{14,8} \right\} = 0,0480 + 0,310 = 0,358$$

→ ist der Spannungsnachweis für das BSP bei Erhöhung der Spannungen für die quasi-ständige Einwirkungskombination um 25% weiterhin erfüllt, erübrigt sich der Nachweis zum Zeitpunkt $t = 3$ und 7 Jahre

$t = 0$

$$1,25 \cdot \eta_{tim,perm,d,t=0} + \eta_{tim,short,d,t=0} = 1,25 \cdot 0,253 + 0,0819 =$$

$$0,40 < 1$$

$$t = \infty$$

$$1,25 \cdot \{\eta_{\text{tim,perm,d};t=\infty}\} + \{\eta_{\text{tim,short,d};t=0}\} = 1,25 \cdot 0,358 + 0,0819 = 0,53 < 1$$

→ d. h. es sind keine zusätzlichen Zeitpunkte zu betrachten.

Zusammenfassung der Spannungen

Zusammenfassung der Spannungen zu den Zeitpunkten $t = 0$ und $t = \infty$

	Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$ aus $q_{d,t=0}$			Spannungen zum Zeitpunkt $t = \infty$ aus $q_{\text{short,d},t=0} + q_{\text{perm,d},t=\infty}$		
Faser	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$	σ_N	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$
[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	-2,72	-2,73	-5,45	-1,80	-1,72	-3,52
76,6		2,73	0,01		1,72	-0,08
90	1,03	-3,24	-2,21	0,680	-5,38	-4,70
310		2,80	3,83		4,66	5,34

Nachweisführungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Nachweise Vollholz / Dippelbaum

Normalspannungsnachweis

maßgebender Nachweis: Zeitpunkt $t = \infty$

Nachweis oben:

$$\frac{\sigma_{\text{tim,t,d}}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{\text{tim,m,oben,d}}}{f_{m,d}} = \frac{0,680}{8,92} + \frac{|\{-5,38\}|}{14,8} = 0,0762 + 0,363 = 0,44 < 1$$

Nachweis unten:

$$\frac{\sigma_{\text{tim,t,d}}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{\text{tim,m,unten,d}}}{f_{m,d}} = \frac{0,680}{8,92} + \frac{4,66}{14,8} = 0,0762 + 0,315 = 0,39 < 1$$

Schubspannungsnachweis

Auf der konservativen Seite liegend wird die Querkrafttragfähigkeit der Holz-Beton-Verbund Deckenkonstruktion so nachgewiesen, dass die gesamte Querkraft am Auflager vom Holz-Querschnitt abgetragen wird.

Bemessungswert der Einwirkung

$$V_d = q_d \cdot l \cdot \frac{1}{2} = 12,0 \cdot \frac{6,20}{2} = 37,2 \text{ kN}$$

Nachweisführung

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{y,\max,1;m}}{I_{DB,1;m} \cdot b}$$

$$S_{y,\max,1;m} = z \cdot A = \frac{102}{2} \cdot \left(\frac{102 \cdot 1000}{10^6} \right) = 5,20 \text{ m}^3$$

Schubspannung

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{y,\max,1;m}}{I_{DB,1;m} \cdot b} = \frac{37,2 \cdot 5,20 \cdot 10^3}{7,17 \cdot 10^8 \cdot 1.000} = 0,270 \text{ kN/m}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,270}{1,41} = 0,19 < 1$$

Nachweis Beton

Nachweis der Betondruckspannung in Feldmitte

maßgebender Nachweis: Zeitpunkt $t = 0$

$$\frac{\sigma_{\text{conc,oben,d,t=0}}}{f_{cd}} = \frac{|-5,45|}{20,0} = 0,27 < 1$$

Die nachfolgenden Nachweise sind für HBV-Tramdecken bzw. für HBV-Dippelbaumdecken, die nicht mit jedem Dippelbaum verbunden sind, zu führen. Im vorliegenden Beispiel sind sie somit nicht zu führen, wurden jedoch vollständigshalber aufgeführt.

Nachweis des Betons auf Längsschub (einschließlich Membraneinwirkungen)

$$N_{\text{conc}} = - \frac{M_{d;t=0}}{\left(E \cdot I \right)_{TCC,d;t=0}} \cdot \gamma_1 \cdot a_1 \cdot \left(E \cdot A \right)_{\text{conc,d,t=0}}$$

bzw.

$$N_{\text{conc;t=0}} = \sigma_{\text{conc,N,d,t=0}} \cdot A_{\text{conc}}$$

Berechnung "Schubfestigkeit" des Betons mit gewählten Druckstrebenwinkel $\theta = 30^\circ$

Grenzen Druckstrebenwinkel (nach 6.2.4 (4))

$$26,5^\circ < \theta_f = 30,0^\circ \leq 45,0^\circ$$

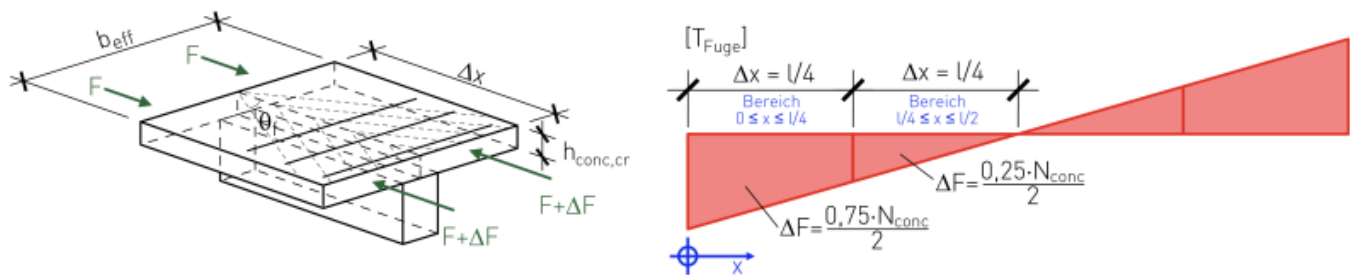
$$\nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

$$f_{vcd} = \frac{\nu \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)}$$

Bezugslänge für den Längsschub nach EN 1992-1-1:2015 [4] Abschnitt 6.2.4 (3) bzw. ONR CEN/TS 19103:2022 [1]:

„Der Maximalwert, der für x angenommen werden darf, ist der halbe Abstand zwischen Momentennullpunkt und Momentenmaximum. Wirken Einzellasten, hat in der Regel die Länge x den Abstand zwischen den Einzellasten nicht zu überschreiten.“

$$\Delta x = \frac{l}{4}$$



Bemessungswert des Längsschubs für den Bereich von $0 \leq x < l/4$

$$\Delta F_d = 0,75 \cdot \frac{N_{conc;t=0}}{2}$$

Nachweis der Schubweiterleitung in der Betonplatte

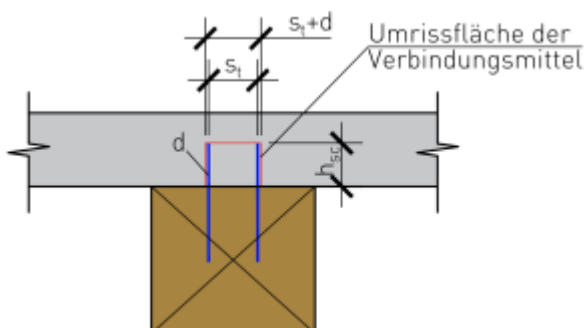
$$\tau_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_{conc,red} \cdot \Delta x}$$

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_{vcd}} < 1$$

Nachweis der Umrissfläche des Verbindungsmittels

$$l_{shear} = 2 \cdot h_{sc} + s_t \cdot (n - 1) + d$$

$$\tau_{Ed} = \frac{2 \cdot \Delta F_d}{l_{shear} \cdot \Delta x}$$



Anschlussbewehrung (Spaltzugbewehrung)

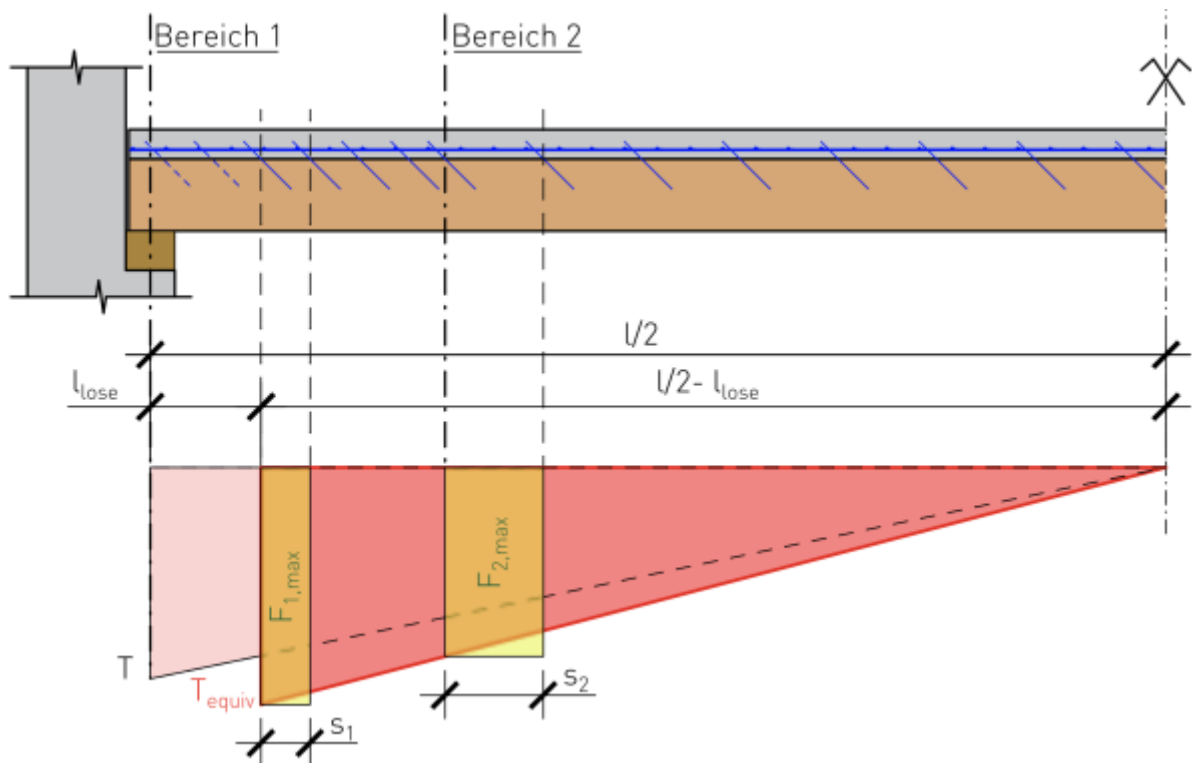
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$a_s = \frac{\Delta F_d}{\Delta x \cdot \frac{f_{yd}}{\tan(\theta)}}$$

Nachweis Verbindung

maßgebender Nachweis: Zeitpunkt $t = 0$

Nachfolgend wird ein ingenieurmäßiges Berechnungsmodell vorgestellt, mit dem ein „loser“ Bereich auflagernah berücksichtigt werden kann. Es wird dabei angenommen, dass die Beton-Normalkraft N_{conc} über den verbundenen Bereich abgetragen werden muss. Folglich ergibt sich ein äquivalenter Schubfluss T_{equiv} der mit dem Einwirkungsbereich des Verbindungsmittels multipliziert wird, sodass die Verbindungsbeanspruchung berechnet werden kann.



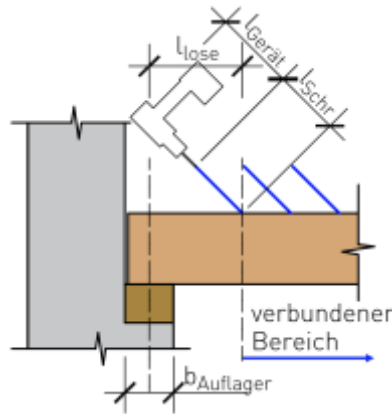
Berechnung der Beanspruchung der Verbindungsmittel

$$N_{\text{conc}} = - \frac{M_{d;t=0}}{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d;t=0}} \cdot \gamma_1 \cdot a_1 \cdot \left(E \cdot A \right)_{\text{conc},d;t=0} = - \frac{57,7 \cdot 10^6}{1,78 \cdot 10^{13}} \cdot 0,289 \cdot 132 \cdot 1,69 \cdot 10^9 = 209.000 \text{ N} = 209 \text{ kN}$$

$$l_{\text{lose}} = \left(l_{\text{Schraube}} + l_{\text{Gerät}} \right) \cdot \cos \left(\alpha \right) - \frac{b_{\text{Auflager}}}{2} = \left(205 + 340 \right) \cdot \cos \left(45 \right) - \frac{130}{2} = 320 \text{ mm}$$

Dabei berechnet sich der äquivalente Schubfluss in der Fuge wie folgt:

$$T_{\text{equiv}} = \frac{8}{l - 2 \cdot l_{\text{lose}}} \cdot N_{\text{conc}} = \frac{1}{l - 2 \cdot l_{\text{lose}}} \cdot q \cdot l^2 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 \cdot \left(E \cdot A \right)_{\text{conc},d;t=0} \cdot \frac{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC},d;t=0}}$$



Beanspruchung des maßgebenden Verbindungsmittels

Vergleichsrechnungen mit dem Berechnungsmodell nach Rautenstrauch [6] haben gezeigt, dass die Verbindungsmittelkräfte bei Verwendung der jeweiligen Verbindungsmittelabstände in den Bereichen am Auflager (hier: Bereich 1) unterschätzt und am Beginn von Bereich 2 überschätzt werden. Besser übereinstimmende Verbindungsmittelkräfte im Vergleich zum Modell nach Rautenstrauch treten bei Verwendung des effektiven Verbindungsmittelabstands s_{ef} auf.

$$F_1 = T_{equiv} \cdot s_{ef} = 150 \cdot 0,188 = 28,2 \text{ kN}$$

Ermittlung der Tragfähigkeit einer Schraube in Fugenrichtung

$F_{ax,Rk} = 22,0 \text{ kN}$ lt. Herstellerangabe

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{k_{bmod}}{\gamma_M} \cdot F_{ax,Rk} \cdot \cos(\alpha) = \frac{0,80}{1,30} \cdot 22,0 \cdot \cos(45) = 9,57 \text{ kN}$$

effektive Verbindungsmittelanzahl (3,45 Dippelbäume pro Meter, 2 Schrauben pro Dippelbaum)

$$n_{ef} = n = 3,45 \cdot 2 = 6,90 \text{ Stk}$$

Nachweis

$$\frac{F_1}{F_{ax,\alpha,Rd} \cdot n_{ef}} = \frac{28,2}{9,57 \cdot 6,90} = 0,43 < 1$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Nachweis der Begrenzung der Anfangsdurchbiegung

Querschnittswerte - SLS zum Zeitpunkt $t = 0$

Querschnittswerte des Betonquerschnitts Zustand II (Querschnitt 1)

mit Risshöhe aus $t = 0$: $h_{cr} = 13,4 \text{ mm}$ | $h_{conc,cr} = 76,6 \text{ mm}$

$$\left(E \cdot A \right)_{\text{conc}} = E_{\text{cm}} \cdot b \cdot h_{\text{conc,cr}} = 33.000 \cdot 1.000 \cdot 76,6 = 2,53 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{conc}} = E_{\text{cm}} \cdot b \cdot \frac{h_{\text{conc,cr}}^3}{12} = 33.000 \cdot 1.000 \cdot \frac{76,6^3}{12} = 1,24 \cdot 10^{12} \text{ Nm}^2$$

Querschnittswerte der Dippelbaumdecke (Querschnitt 2)

$$\left(E \cdot A \right)_{\text{tim}} = E_{\text{m,0,mean}} \cdot A_{\text{DB,1;m}} = 11.000 \cdot 2,03 \cdot 10^5 = 2,23 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{tim}} = E_{\text{m,0,mean}} \cdot I_{\text{DB,1;m}} = 11.000 \cdot 7,17 \cdot 10^8 = 7,89 \cdot 10^{12} \text{ Nm}^2$$

Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit

$$K_{\text{ser,inst}} = 90 \cdot I_{\text{ef}} = 90 \cdot 100 = 9.000 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{E A_{\text{conc,inst}} \cdot s_{\text{ef}}}{K_{\text{ser,inst}} \cdot I^2}} = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{2,53 \cdot 10^9 \cdot 188}{3,45 \cdot 2 \cdot 9.000 \cdot \{6.200\}^2}} = 0,337$$

$$\gamma_2 = 1,00$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E A_{\text{conc}} \cdot \left(\frac{z_{\text{s,oben}} + \frac{h_{\text{conc,0}} + h_{\text{cr}}}{2} \right)}{E A_{\text{conc}} + E A_{\text{tim}}} = \frac{0,337 \cdot 2,53 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{118 + \frac{90,0 + 13,4}{2}}{0,337 \cdot 2,53 \cdot 10^9 + 2,23 \cdot 10^9} \right)}{0,337 \cdot 2,53 \cdot 10^9 + 2,23 \cdot 10^9} = 46,9 \text{ mm}$$

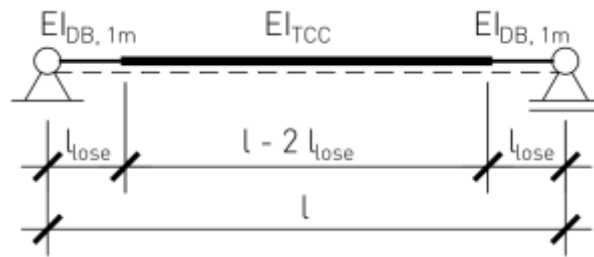
$$a_1 = z_{\text{s,oben}} + \frac{h_{\text{conc,0}} + h_{\text{cr}}}{2} - a_2 = 118 + \frac{90,0 + 13,4}{2} - 46,9 = 123 \text{ mm}$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC,inst}} = \sum \left(E I_i + \gamma_i \cdot E A_i \cdot a_i^2 \right) = 1,24 \cdot 10^{12} + 0,337 \cdot 2,53 \cdot 10^9 \cdot 123^2 + 7,89 \cdot 10^{12} + 1,00 \cdot 2,23 \cdot 10^9 \cdot 46,9^2 = 2,69 \cdot 10^{13} \text{ Nm}^2$$

Berechnung der Anfangsdurchbiegung für die seltene (charakteristische) Einwirkungskombination

Variante A: Berücksichtigung des „losen“ Bereiches am Auflager

statisches System:



Anfangsdurchbiegung

$$w_{inst} = \frac{q}{384} \cdot \left[\frac{16 \cdot l_{lose}^3 \cdot \left(l - 3 l_{lose} \right)}{E I_{TCC}} + \frac{5 \cdot l^4 - 64 \cdot l \cdot l_{lose}^3 + 48 \cdot l_{lose}^4}{E I_{TCC}} \right]$$

$$= \frac{8,60}{384} \cdot \left[\frac{16 \cdot \{320\}^3 \cdot \left(4 \cdot 6.200 - 3 \cdot 320 \right)}{7,89 \cdot \{10\}^{12}} + \frac{5 \cdot \{6.200\}^4 - 64 \cdot 6.200 \cdot \{320\}^3 + 48 \cdot \{320\}^4}{2,69 \cdot \{10\}^{13}} \right] = \underbrace{0,0355}_{< 1\%} + \underbrace{6,14}_{99\%} = 6,18 \text{ mm}$$

Variante B: Vernachlässigung des „losen“ Bereiches am Auflager

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed,rare} \cdot l^4}{E I_{TCC}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8,60 \cdot \{6.200\}^4}{2,69 \cdot \{10\}^{13}} = 6,15 \text{ mm}$$

→ Fazit:

Der Vergleich der vertikalen Durchbiegungen gemäß Variante A und B zeigt, dass die zusätzliche Durchbiegung aufgrund des losen Bereiches am Auflager vernachlässigt werden kann. Für die nachfolgenden Nachweise wird daher Variante B herangezogen.

Nachweis der vertikalen Anfangsdurchbiegung

Grenzwert der Anfangsdurchbiegung

$$w_{inst,grenz} = \frac{l}{300} = \frac{6.200}{300} = 20,7 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{inst}}{w_{inst,grenz}} = \frac{6,15}{20,7} = 0,30 < 1$$

Nachweis der Begrenzung der Enddurchbiegung

Ermittlung des Beiwertes zur Berücksichtigung des Systemkriechbeiwertes

Koeffizient zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Verbundwirkungen auf die Kriechzahl des Betonquerschnitts aus (siehe ONR CEN/TS 19103:2022, Abschn. 7.1.2 [1])

für $\varphi_0 = 2,50$ und $k_{def} = 0,60$

$$\psi_{conc} = 2,0 - 0,5 \cdot \gamma_1^{1,9} = 2,0 - 0,5 \cdot \{0,337\}^{1,9} = 1,94$$

Tab. 2: Steifigkeiten und Verschiebungsmodul zum Zeitpunkt $t = \infty$

	Holz	Beton	Verbindung
t=0	$E_{tim,0,mean} = 11.000 \text{ N/mm}^2$	$E_{conc} = 33.000 \text{ N/mm}^2$	$K_{ser,inst} = 9.000 \text{ N/mm}$
Beiwerte	$\psi_{tim} = 1,00$	$\psi_{conc} = 1,94$	$\psi_{conn} = 1,00$
Langzeit	$k_{def} = 0,60$	$\phi_0 = 2,50$	$k_{def}' = 2 \cdot k_{def} = 2 \cdot 0,60 = 1,20$
t=∞	$\begin{aligned} &\{E_{tim,0,mean,fin}\} = \frac{\{E_{tim,0,mean}\}}{\{1 + \{\psi_{tim}\} \cdot \{k_{def}\}\}} \\ &= \frac{\{11.000\}}{\{1 + 1,00 \cdot 0,60\}} = 6.880 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$	$\begin{aligned} &\{E_{conc,fin}\} = \frac{\{E_{conc}\}}{\{1 + \{\psi_{conc}\} \cdot \{\phi_0\}\}} \\ &= \frac{\{33.000\}}{\{1 + 1,94 \cdot 2,50\}} = 5.640 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$	$\begin{aligned} &\{K_{ser,fin}\} = \frac{\{K_{ser,inst}\}}{\{1 + \{\psi_{conn}\} \cdot \{k_{def}'\}\}} \\ &= \frac{\{9.000\}}{\{1 + 1,00 \cdot 1,20\}} = 4.090 \text{ N/mm} \end{aligned}$

Querschnittswerte - SLS zum Zeitpunkt t = ∞

Querschnittswerte des Betonquerschnitts Zustand II (Querschnitt 1) mit Risshöhe aus t = 0: $h_{cr} = 13,4 \text{ mm}$ | $h_{conc,cr} = 76,6 \text{ mm}$

$$\left(E \cdot A \right)_{conc,fin} = \{E_{conc,fin}\} \cdot b \cdot \{h_{conc,cr}\} = 5.640 \cdot 1.000 \cdot 76,6 = 4,32 \cdot 10^8 \text{ Nmm}^2$$

$$\left(E \cdot I \right)_{conc,fin} = \{E_{conc,fin}\} \cdot b \cdot \frac{\{h_{conc,cr}\}^3}{12} = 5.640 \cdot 1.000 \cdot \frac{\{76,6\}^3}{12} = 2,11 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2$$

Querschnittswerte der Dippelbaumdecke (Querschnitt 2)

$$\left(E \cdot A \right)_{tim,fin} = \{E_{m,0,mean,fin}\} \cdot \{A_{DB,1;m}\} = 6.880 \cdot 2,03 \cdot 10^5 = 1,40 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2$$

$$\left(E \cdot I \right)_{tim,fin} = \{E_{m,0,mean,fin}\} \cdot \{I_{DB,1;m}\} = 6.880 \cdot 7,17 \cdot 10^8 = 4,93 \cdot 10^{12} \text{ Nm}^2$$

Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{\{E_{A_{conc,fin}}\} \cdot \{s_{ef}\}}{\{K_{ser,fin}\} \cdot \{l^2\}}} = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{\{4,32 \cdot 10^8\} \cdot 188}{\{3,45 \cdot 2 \cdot 4.090\} \cdot \{6.200\}^2}} = 0,575$$

$$\gamma_2 = 1,00$$

$$a_2 = \frac{\{\gamma_1 \cdot \{E_{A_{conc,fin}}\} \cdot \left(\{z_{s,oben}\} + \frac{\{h_{conc,0}\} + \{h_{cr}\}}{2} \right)}{\{\gamma_1 \cdot \{E_{A_{conc,fin}}\} + \{E_{A_{tim,fin}}\}\}} = \frac{\{0,575 \cdot 4,32 \cdot 10^8\} \cdot \left(\{118 + \frac{\{90,0 + 13,4\}}{2}\} \right)}{\{0,575 \cdot 4,32 \cdot 10^8 + 1,40 \cdot 10^9\}} = 25,6 \text{ mm}$$

$$a_1 = \{z_{s,oben}\} + \frac{\left(\{h_{conc,0}\} + \{h_{cr}\} \right)}{2} - a_2 = 118 + \frac{\{90,0 + 13,4\}}{2} - 25,6 = 144 \text{ mm}$$

Effektive Biegesteifigkeit unter Berücksichtigung der Schwindverformung

$$C_{p,sls} = \frac{\pi^2 \cdot \{E\{A_{conc,fin}\} \cdot E\{A_{tim,fin}\} \cdot z \cdot \gamma_1\}}{\left(\{E\{A_{conc,fin}\} + E\{A_{tim,fin}\}\} \cdot I^2 \right)} = \frac{\pi^2 \cdot \{4,32 \cdot \{10\}^8 \cdot 1,40 \cdot \{10\}^9 \cdot 170 \cdot 0,575\}}{\left(\{4,32 \cdot \{10\}^8 + 1,40 \cdot \{10\}^9\} \cdot \{6.200\}^2 \right)} = 8.290 \text{ N/mm}^2$$

resultierende relative Schwinddehnung

$$\Delta \epsilon_{ef;t=\infty} = \epsilon_{s,tim,ef;t=\infty} - \epsilon_{s,conc,ef;t=\infty} = \epsilon_{s,tim,ef} - 0,9 \cdot \epsilon_{cs} = 0 - 0,9 \cdot 0,476\text{‰} = 0,428\text{‰}$$

Berechnung der Ersatzlast

$$p_{\Delta \epsilon_{ef;t=\infty}} = C_{p,sls} \cdot \Delta \epsilon_{ef;t=\infty} = 8.290 \cdot 0,428 \cdot 10^{-3} = 3,55 \text{ N/mm} = 3,55 \text{ kN/m}$$

$$p_{\Delta \epsilon_{ef,fin}} = \gamma_{SH} \cdot p_{\Delta \epsilon_{ef;t=\infty}} = 1,00 \cdot 3,55 = 3,55 \text{ kN/m}$$

Modifikationsfaktor der Biegesteifigkeit

$$C_{j,sls} = \frac{\{p_{\Delta \epsilon_{ef,fin}}\} + \{p_{Ed,perm}\}}{\{E\{A_{conc,fin}\} + E\{A_{tim,fin}\}\} \cdot \gamma_1 \cdot E\{A_{conc,fin}\} + E\{A_{tim,fin}\}} \cdot \{p_{\Delta \epsilon_{ef,fin}}\} + \{p_{Ed,perm}\}} = \frac{\{3,55 + 6,64\}}{\{4,32 \cdot \{10\}^8 + 1,40 \cdot \{10\}^9\} \cdot 0,575 \cdot 4,32 \cdot \{10\}^8 + 1,40 \cdot \{10\}^9\} \cdot 3,55 + 6,64} = 0,963$$

effektive Biegesteifigkeit

$$\left(E \cdot I \right)_{TCC,fin,ef} = C_{j,sls} \cdot \left(E \cdot I \right)_{TCC,fin} = 0,963 \cdot 1,12 \cdot 10^{13} = 1,08 \cdot 10^{13} \text{ Nm}^2$$

Berechnung und Nachweis der Enddurchbiegung

Enddurchbiegung

$$w_{fin} = \frac{5}{384} \cdot \left(\{q_{Ed,perm}\} + \{p_{\Delta \epsilon_{ef,fin}}\} \right) \cdot I^4 \cdot \frac{1}{E\{I_{TCC,fin,ef}\}} = \frac{5}{384} \cdot \left(\{6,64 + 3,55\} \right) \cdot \{6.200\}^4 \cdot \frac{1}{1,08 \cdot \{10\}^{13}} = 18,2 \text{ mm}$$

Grenzwert der Enddurchbiegung

$$w_{fin,grenz} = \frac{I}{300} = \frac{6.200}{250} = 24,0 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{fin}}{w_{fin,grenz}} = \frac{18,2}{24,0} = 0,76 < 1$$

Gesamte Endverformung

Durchbiegungsanteil infolge kurzzeitiger Belastung

$$\begin{aligned} w_{\text{inst,short}} &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{Ed,short}} \cdot l^4}{E \cdot I_{\text{TCC,inst}}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,96 \cdot \{6.200\}^4}{2,69 \cdot \{10\}^{\{13\}}} = 1,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maximalwert der Endverformung

$$w_{\text{fin,tot}} = w_{\text{fin}} + w_{\text{inst,short}} = 18,2 + 1,40 = 19,6 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{\text{fin,tot}}}{w_{\text{fin,grenz}}} = \frac{19,6}{24,0} = 0,82 < 1$$

Schwingungsnachweis

Summe der Steifigkeiten in Längsrichtung

unter Berücksichtigung des Estrichs: $h_{\text{screed}} = 60,0 \text{ mm} \mid E_{\text{screed}} = 25.000 \text{ N/mm}^2$

$$\begin{aligned} \left(E \cdot I \right)_{\text{TCC,inst,x,ef}} &= \left(E \cdot I \right)_{\text{TCC,inst}} + \left(E \cdot I \right)_{\text{screed}} = 2,69 \cdot 10^{\{13\}} + 25.000 \cdot 1.000 \cdot \frac{\{60,0\}^3}{12} \\ &= 2,69 \cdot 10^{\{13\}} + 4,50 \cdot 10^{\{11\}} = 2,74 \cdot 10^{\{13\}} \text{ Nm}^2 \end{aligned}$$

Summe der Steifigkeiten in Querrichtung

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC,inst,y,ef}} = \left(E \cdot I \right)_{\text{conc,y,inst}} + \left(E \cdot I \right)_{\text{screed}}$$

$$\begin{aligned} &= 33.000 \cdot 1.000 \cdot \frac{\{90,0\}^3}{12} + 25.000 \cdot 1.000 \cdot \frac{\{60,0\}^3}{12} = 2,00 \cdot 10^{\{12\}} + 4,50 \cdot 10^{\{11\}} = 2,45 \cdot 10^{\{12\}} \text{ Nm}^2 \end{aligned}$$

Berechnung der 1. Eigenfrequenz

unter Vernachlässigung der Querverteilung

$$\begin{aligned} f_{\{1\}} &= \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC,inst,x,ef}}}{m}} = \frac{\pi}{2 \cdot \{6,20\}^2} \cdot \sqrt{\frac{2,74 \cdot 10^{\{13\}} \cdot \{10\}^{\{-6\}}}{380 + 200}} = 8,88 \text{ Hz} > \left\{ \begin{matrix} f_{\{1,\min\}} \\ = 4,50 \text{ Hz} \end{matrix} \right. \\ f_{\text{gr}} &= 8,00 \text{ Hz} \end{aligned}$$

unter Berücksichtigung der Querverteilung

mit Deckenfeldbreite $b = 5,00 \text{ m} \mid$ Annahme: Beton in Querrichtung ungerissen

$$f_{\{1\}} = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{\left(E \cdot I \right)_{\text{TCC,inst,x,ef}}}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b} \right)^4}$$

$$\frac{\left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,y,ef} \right\}}{\left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,x,ef} \right\}}} \cdot \frac{\left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,y,ef} \right\}}{\left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,x,ef} \right\}}}$$

$$= \frac{\pi}{2 \cdot \{6,20\}^2} \cdot \sqrt{\{2,74 \cdot \{10\}^{13}\} \cdot \{10\}^{-6}} \cdot \frac{\{380 + 200\}}{\{380 + 200\}} \cdot \sqrt{1 + \left\{ \left(\frac{\{6,200\}}{\{5,000\}} \right)^4 \right\} \cdot \{2,45 \cdot \{10\}^{12}\}} \cdot \frac{\{2,74 \cdot \{10\}^{13}\}}{\{2,74 \cdot \{10\}^{13}\}} = 8,88 \cdot 1,10 = 9,77 \text{ Hz} > \left\{ \begin{matrix} f_{1,min} = 4,50 \text{ Hz} \\ f_{gr} = 8,00 \text{ Hz} \end{matrix} \right. \text{ right.}$$

→ es ist das „Steifigkeitskriterium“ nachzuweisen

Nachweis des Steifigkeitskriteriums

unter Vernachlässigung der mitwirkenden Breite b_f

$$w_{1kN} = \frac{\{F \cdot \{l^3\}\}}{48 \cdot \left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,ef} \right\}} = \frac{\{1,00 \cdot \{6,20\}^3\}}{48 \cdot 274 \cdot \{10\}^{13}} \cdot \{10\}^{12} = 0,181 \text{ mm} < 0,25 \text{ mm}$$

unter Berücksichtigung der mitwirkenden Breite b_f

$$b_f = \min \left\{ \frac{\{l\}}{\{1,1\}} \cdot \sqrt{\left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,y,ef} \right\} \cdot \left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,x,ef} \right\}} \right\} \text{ right.} = \min \left\{ \frac{\{6,20\}}{\{1,1\}} \cdot \sqrt{\{2,45 \cdot \{10\}^{12}\} \cdot \{2,74 \cdot \{10\}^{13}\}} \right\} = 1,69 \text{ m} \text{ right.} = 1,69 \text{ m}$$

$$w_{1kN} = \frac{\{F \cdot \{l^3\}\}}{48 \cdot \left\{ \left(E \cdot I \right)_{TCC,inst,ef} \right\} \cdot \{b_f\}} = \frac{\{1,00 \cdot \{6,20\}^3\}}{48 \cdot 2,74 \cdot \{10\}^{13} \cdot 1,69} \cdot \{10\}^{12} = 0,107 \text{ mm} < 0,25 \text{ mm}$$

→ das Steifigkeitskriterium ist erfüllt

Zusammenfassung

Die HBV-Decke erfüllt hinsichtlich des Schwingungsverhaltens die Anforderungen an die Deckenklasse I gemäß ÖNORM B 1995-1-1:2019 [2].

Rissbreitenbegrenzung

Bei Flachdeckenkonstruktionen ist ein Nachweis zur Begrenzung der Rissbreite nicht erforderlich. Bei HBV-Rippen-Konstruktionen hingegen ist der Rissbreitennachweis gemäß ONR CEN/TS 19103:2022 [1] bzw. ÖNORM EN 1992-1-1:2015 [4], Tabelle 7.1N, zu führen. Die Grenzwerte können entweder durch Einhaltung der Regeln nach ÖNORM EN 1992-1-1:2015 [FIME], Abschnitt 7.3.3, oder durch direkte Berechnung der Rissbreite w_k gemäß EN 1992-1-1:2004, Abschnitt 7.3.4 eingehalten werden.

Alternativ zur Berechnung kann die Rissbreite auch durch den Einbau einer Mindestbewehrung gemäß ONR CEN/TS 19103:2022, Abschnitt 9.4.2 [1] in Verbindung mit Tabelle 9.1 begrenzt werden.

[1] ↑ erhöhter Randabstand $a_{1,CG}$, im Falle, dass das Eindrehen der Schrauben am Auflager durch das Kniestockmauerwerk verhindert wird

- [1] ↑, ↑, ↑, ↑, ↑, ↑, ↑, ↑, ↑, ↑, ↑ ONR CEN/TS 19103: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten — Berechnung von Holz-Beton-Verbundbauteilen — Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Wien, 2022. [PDF](#)
- [2] ↑, ↑, ↑ ON B 1995-1-1:2019: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995-1-1. Juni 2019. [PDF](#)
- [3] ↑ ÖNORM EN 338:2016-06-01: Bauholz für tragende Zwecke — Festigkeitsklassen. Österreichisches Normungsinstitut Wien, 2016. [PDF](#)
- [4] ↑, ↑, ↑ ÖNORM EN 1992-1-1:2015, „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2015
- [5] ↑ ÖNORM EN 1990:2013, „Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2013.
- [6] ↑ K. Rautenstrauch, et al., „Baupraktische Dimensionierung von Holz-Beton-Verbunddecken“, 6. Informationstag des IKI, Bauhaus-Universität Weimar, 2003.

From:

<https://bspwiki.at/> - **bspwiki.at**

Permanent link:

https://bspwiki.at/doku.php?id=hbv:examples:doweltree_concrete_composite&rev=1749124121

Last update: **2026/08/24 15:11**

