

Beispiel Dippelbaum-Beton-Verbund

Angabe

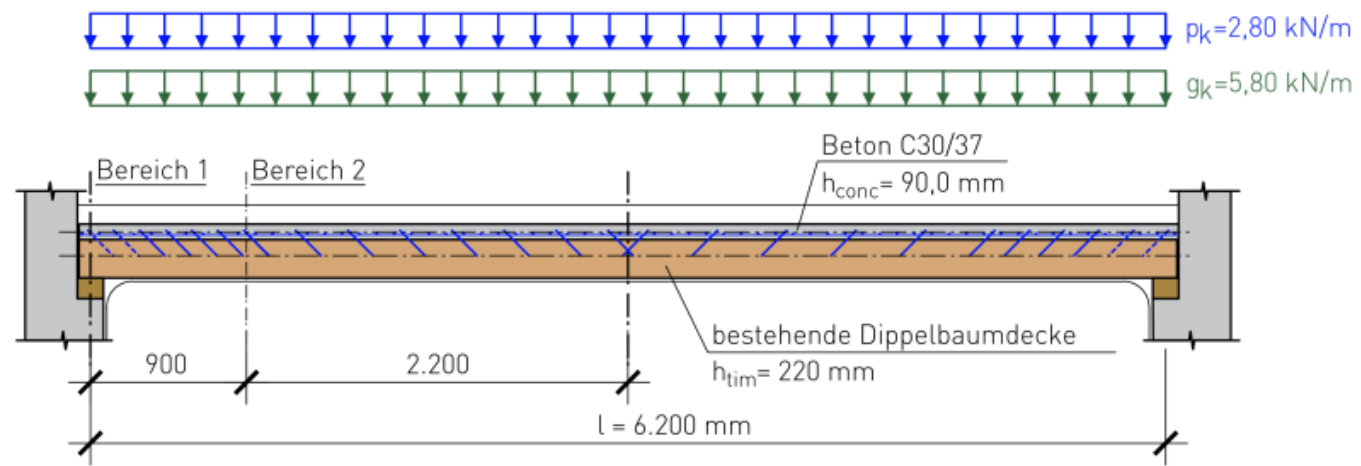


Abb. 1: Systemskizze

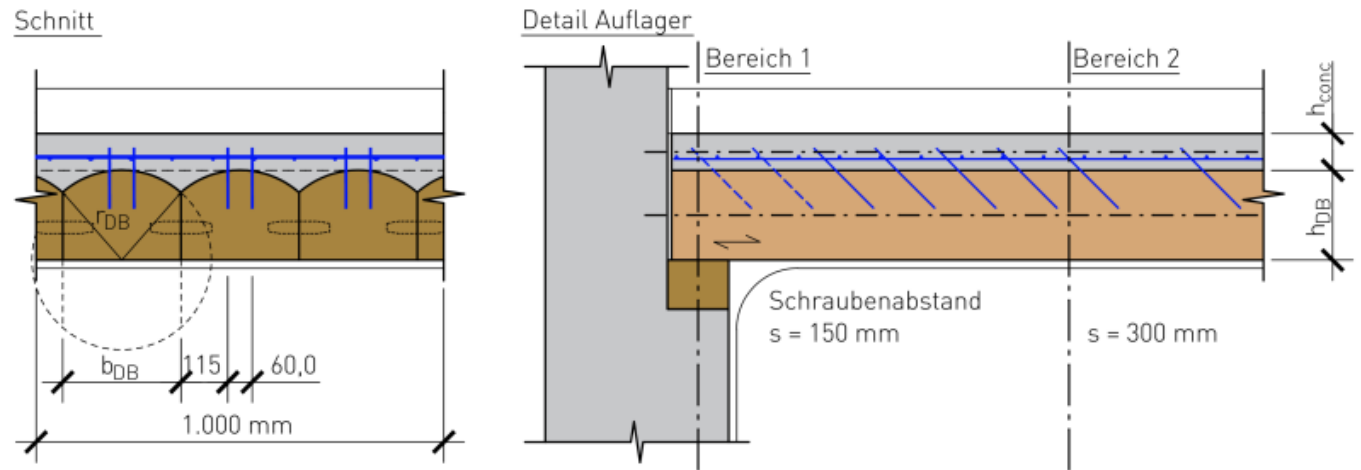


Abb. 2: Schnitt und Detail Auflager

|                        |                                         |                                                                                              |                                                 |
|------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 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         |                                                 |

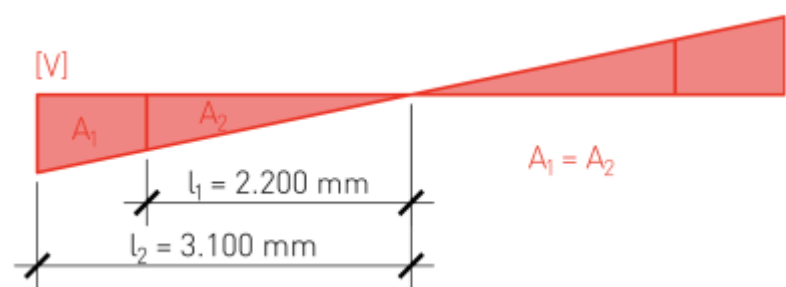
|                             |                              |                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material                    | Doppelbaum                   | Bestandholz nach<br>ÖNORM B 4008-1<br>C24 nach ÖNORM EN 338     | $f_{tim,m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$<br>$f_{tim,t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$<br>$f_{tim,v,k} = 2,3 \text{ N/mm}^2$<br>$E_{tim,0,mean} = 11.000 \text{ N/mm}^2$                                                                                |
|                             | Beton                        | C30/37                                                          | $f_{ck} = 30,0 \text{ N/mm}^2$<br>$E_{cm} = 33.000 \text{ N/mm}^2$<br>Grundzahl des<br>Kriechens<br>(Endkriechzahl): $\varphi_0 = 2,50$<br>Endschwindmaß:<br>$\epsilon_{cs,t=\infty} = -0,476\text{‰}$<br>(siehe <a href="#">Berechnung</a> ) |
|                             | Verbindungsmittelsteifigkeit | $K_{ser} = 90 \cdot I_{ef} = 90 \cdot 100 = 9.000 \text{ N/mm}$ |                                                                                                                                                                                                                                               |
| Nutzungsklasse              | NKL 1                        |                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                               |
| KLED                        | "mittel"                     | $k_{mod} = 0,80$<br>$k_{def} = 0,60$                            |                                                                                                                                                                                                                                               |
| 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  $\gamma$ -Verfahren nach [ONR CEN/TS 19103:2022 \[1\]](#) & [ÖNORM B 1995-1-1:2019 - Anhang B \[2\]](#)

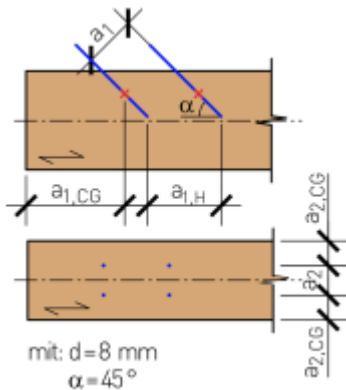
$$\{s_{\max, req}\} = 0,05 \cdot l = 0,05 \cdot 6.200 = 310\text{mm}$$

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

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

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

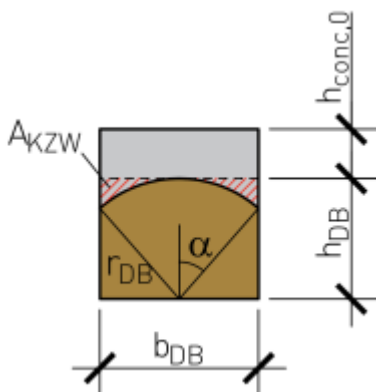
Fläche Kreiszwinkel  $A_{KZW}$

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

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

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

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



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

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

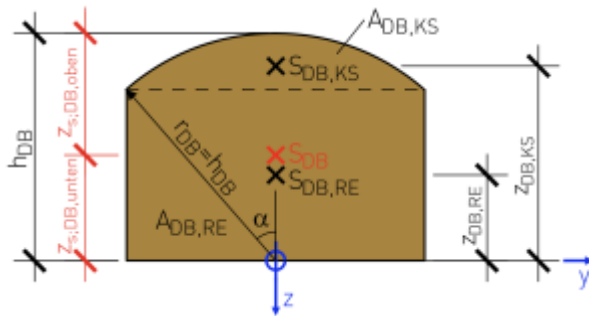
Berechnung Schwerpunkt Dippelbaum

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

1 m Streifen

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

### 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 $h_{cr}$

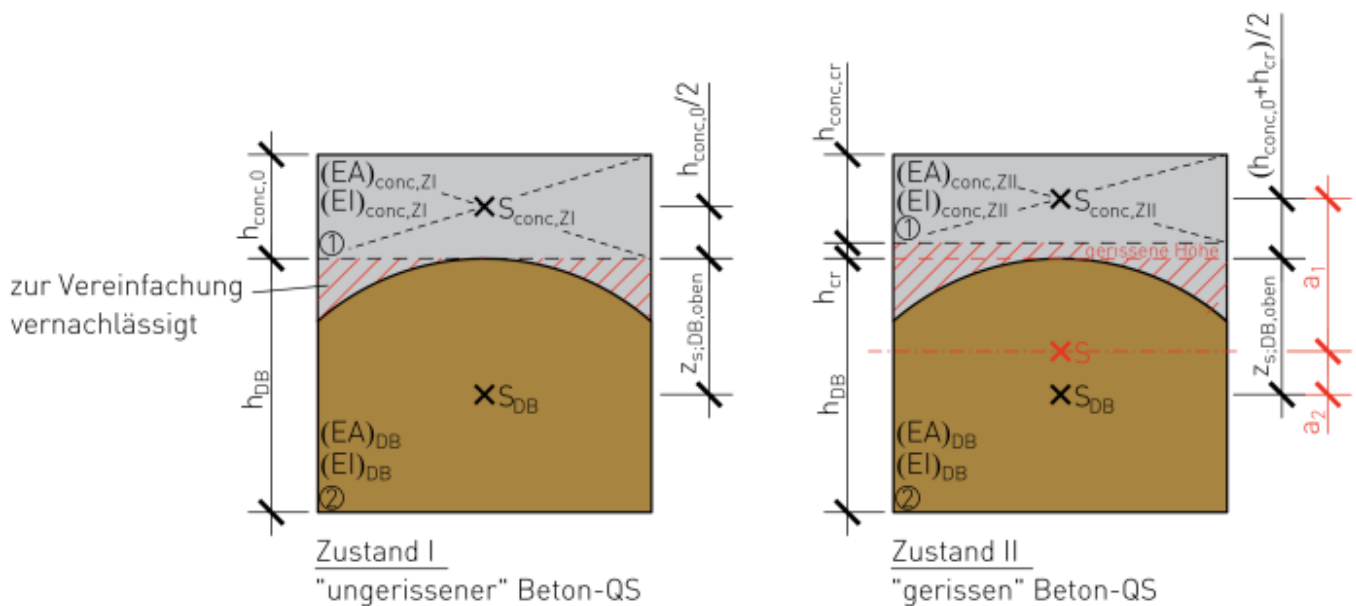
mit dem Hilfwert  $\gamma_{cr}$ :

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

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

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

### Ermittlung der effektiven Biegesteifigkeit

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

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

### 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)

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

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

Spannungen Holz (Querschnitt 2)

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

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

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

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

## 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 | $\sigma_N$                                       | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ | $\sigma_N$                                                         | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ | $\sigma_N$                                                               | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ |
| [mm]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                             | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                                               | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                                                     | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  |
| 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

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

$$\gamma_2 = 1,00$$

Schwerpunktabstände

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

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

effektive Biegesteifigkeit

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

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

### Berücksichtigung der spannungslosen Dehnungen

resultierende relative Schwinddehnung

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

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

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

Vorfaktor

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

fiktive vertikale (charakteristische) Ersatzlast

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

Bemessungswert der Ersatzlast

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

Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit unter Berücksichtigung der spannungslosen Dehnungen

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

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

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

Berechnung der ständigen (kriechwirksamen) Spannungen

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

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

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

### 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

$$M_{\text{conc,perm},d;t=\infty} = \left\{ \left( E \cdot I \right)_{\text{conc},d;t=\infty} \over \left( E \cdot I \right)_{\text{TCC},d,ef;t=\infty} \right\} \cdot M_{\text{perm},d;t=\infty} = \left\{ 1,40 \cdot \{10\}^{11} \over 7,49 \cdot \{10\}^{12} \right\} \cdot 55,1 = 1,03 \text{ kN/m}$$

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

Normalkraft in den Bauteilen infolge äußerer Lasten

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

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

Spannungen Beton (Querschnitt 1)

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

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

Spannungen Holz (Querschnitt 2)

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

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

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

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

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

|       | kurzzeitigen Lastanteil $q_{short,d}$<br>= 2,94 kN/m |                      |                       | quasi-ständige Kombination<br>$q_{perm,d} = 9,09 \text{ kN/m}$ |                      |                       | Summe aus $q_{short,d} + q_{perm,d}$ |                      |                       |
|-------|------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Faser | $\sigma_N$                                           | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ | $\sigma_N$                                                     | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ | $\sigma_N$                           | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ |
| [mm]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                                 | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                                           | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                 | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  |
| 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

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

- für den kurzzeitig wirkenden Anteil der Einwirkungskombination

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

zum Zeitpunkt  $t = \infty$

- für die quasi-ständige Einwirkungskombination

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

→ 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 $t = 0$<br>aus $q_{d,t=0}$ |                      |                       | Spannungen zum Zeitpunkt $t = \infty$<br>aus $q_{\text{short,d},t=0} + q_{\text{perm,d},t=\infty}$ |                      |                       |
|-------|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Faser | $\sigma_N$                                          | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ | $\sigma_N$                                                                                         | $\sigma_M$           | $\sigma_N + \sigma_M$ |
| [mm]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                                | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  | [N/mm <sup>2</sup> ]                                                                               | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ]  |
| 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

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

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

Schubspannung

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{y,\max,1;m}}{I_{DB,1;m} \cdot b} = \frac{37,2 \cdot 5,20 \cdot 10^6}{7,17 \cdot 10^8 \cdot 1.000} = 0,270 \text{ kN/m}^2$$

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))

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

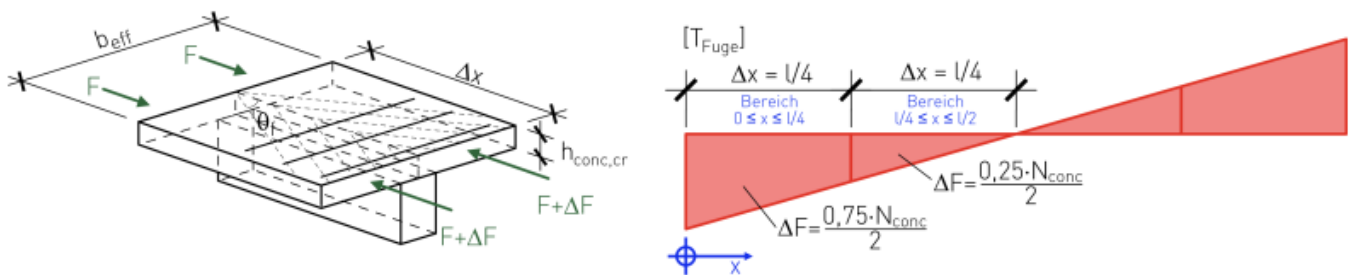
$$\nu = 0,6 \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

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

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

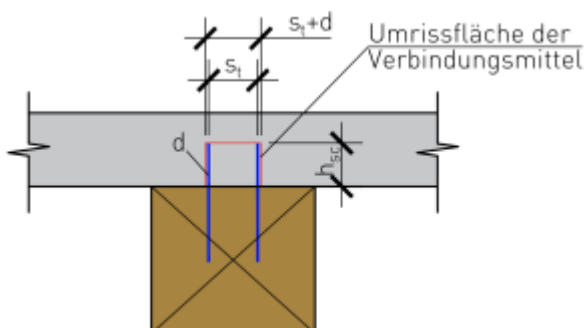
$$\tau_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_{conc,red} \cdot \Delta x}$$

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

### 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)

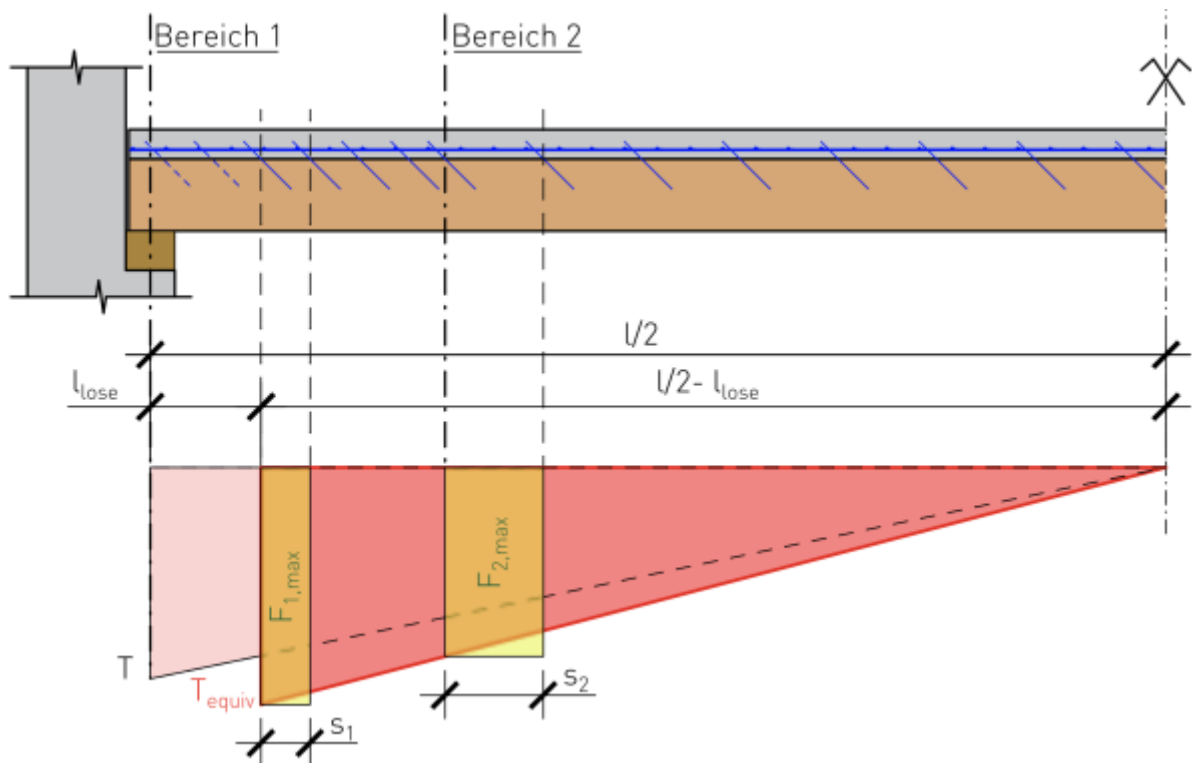
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

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

## 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  $N_{\text{conc}}$  über den verbundenen Bereich abgetragen werden muss. Folglich ergibt sich ein äquivalenter Schubfluss  $T_{\text{equiv}}$  der mit dem Einwirkungsbereich des Verbindungsmittels multipliziert wird, sodass die Verbindungsbeanspruchung berechnet werden kann.



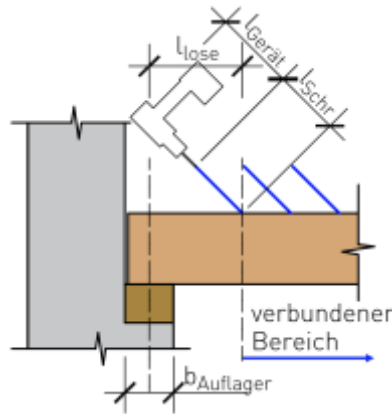
### Berechnung der Beanspruchung der Verbindungsmittel

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

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

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

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



## 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

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

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

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

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

### Querschnittswerte der Dippelbaumdecke (Querschnitt 2)

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

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

### Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit

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

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

$$\gamma_2 = 1,00$$

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

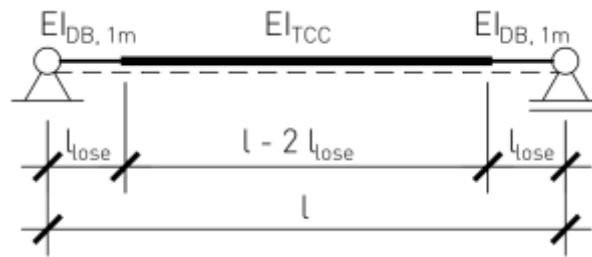
$$a_1 = z_{\text{s,oben}} + \frac{h_{\text{conc,0}} + h_{\text{cr}}}{2} - a_2 = 118 + \frac{90,0 + 13,4}{2} - 46,9 = 123 \text{ mm}$$

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

### 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

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

$$\gamma_2 = 1,00$$

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

$$\begin{aligned} a_1 &= \{z_{s,oben}\} + \frac{\{h_{conc,0}\} + \{h_{cr}\}}{2} - a_2 = 118 + \frac{\{90,0 + 13,4\}}{2} - 25,6 = 144 \text{ mm} \end{aligned}$$

## Effektive Biegesteifigkeit unter Berücksichtigung der Schwindverformung

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

## 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

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

## 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

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

unter Berücksichtigung der Querverteilung

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

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

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

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

→ 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  $b_f$

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

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

→ 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=1749123777](https://bspwiki.at/doku.php?id=hbv:examples:doweltree_concrete_composite&rev=1749123777)

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

