

Brand

Für Holz-Beton-Verbund-Konstruktionen im Brandfall liegen derzeit keine normativen Vorgaben hinsichtlich der Bemessung in dieser außergewöhnlichen Lastfallkombination vor.

Als ingenieurmäßiger Ansatz werden die Schnittkraftberechnung sowie die Nachweise der Komponenten (BSP, Beton und Verbindung) für eine HBV-Flachdeckenkonstruktion näherungsweise analog zu den Berechnungen bei „kalt“ durchgeführt. Es werden hierbei die Ansätze des „Zero-Strength Layers“ bei Holz sowie das Verfahren der „500°C-Isotherme“ bei Beton verfolgt.

Da der Brand im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes auftreten kann, werden die Grenzfälle, die Zeitpunkte $t=0$ und $t=\infty$, betrachtet.

außergewöhnliche Lastfallkombination im Brandfall

$$q_{d,fi} = \left(\sum \{g_{k,j}\} + \sum \{\psi_{2,i} \cdot q_{k,i}\} \right) \cdot b = \left(\left(3,00 + 2,00 \right) + 0,30 \cdot 2,50 \right) \cdot 1,00 = 5,75 \text{ kN/m}$$

Festigkeitskennwerte im Brandfall

Brettsperrholz (BSP)

Festigkeitskennwerte nach ÖNORM B 1995-1-2:2011 [1]

$$f_{clt,m,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{bmod,fi} \cdot \frac{f_{clt,m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{26,4}{1,00} = 30,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{clt,c,0,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{bmod,fi} \cdot \frac{f_{clt,c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{21,0}{1,00} = 24,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{clt,t,0,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{bmod,fi} \cdot \frac{f_{clt,t,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{14,5}{1,00} = 16,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{clt,v,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{bmod,fi} \cdot \frac{f_{clt,v,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{4,00}{1,00} = 4,60 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{clt,r,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{bmod,fi} \cdot \frac{f_{clt,r,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{1,10}{1,00} = 1,27 \text{ N/mm}^2$$

Beton

gemäß ÖNORM EN 1992-1-2:2019 [2]

$$f_{cd,fi} = \frac{f_{cd}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{35,0}{1,00} = 35,0 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung der effektiven Querschnittsabmessungen

Berechnung der Abbrandtiefe

Verwendeter Klebstoff: PU (nicht hochtemperaturbeständig) → Anwendung Treppenmodell (Abfallen von verkohlten Schichten an der Klebefuge, doppelte Abbrandrate bis zu einem Abbrand von 25 mm)

Abbrandrate: $\beta = 0,65 \text{ mm/min}$

1. Schicht ($h_1 = 40,0 \text{ mm}$)

$$t_{1,PU} = \frac{h_1}{\beta} = \frac{40,0}{0,65} = 61,5 \text{ min}$$

$$d_{char,1,PU} = h_1$$

2. Schicht ($h_2 = 30,0 \text{ mm}$)

$$t_{2,25\text{mm},PU} = \frac{25,0}{\beta} = \frac{25,0}{1,30} = 19,2 \text{ min}$$

$$t_{2,PU} = t_{2,25\text{mm},PU} + \frac{h_2 - 25,0}{\beta} = 19,2 + \underbrace{\frac{30,0 - 25,0}{0,65}}_{7,69} = 26,9 \text{ min}$$

3. Schicht ($h_3 = 40,0 \text{ mm}$)

$$t_{3,PU} = t - t_{1,PU} - t_{2,PU} = 90 - 61,5 - 26,9 = 1,60 \text{ min}$$

$$d_{char,3,PU} = t_{3,PU} \cdot \beta = 1,60 \cdot 1,30 = 2,08 \text{ mm}$$

Bemessungswert der Abbrandtiefe

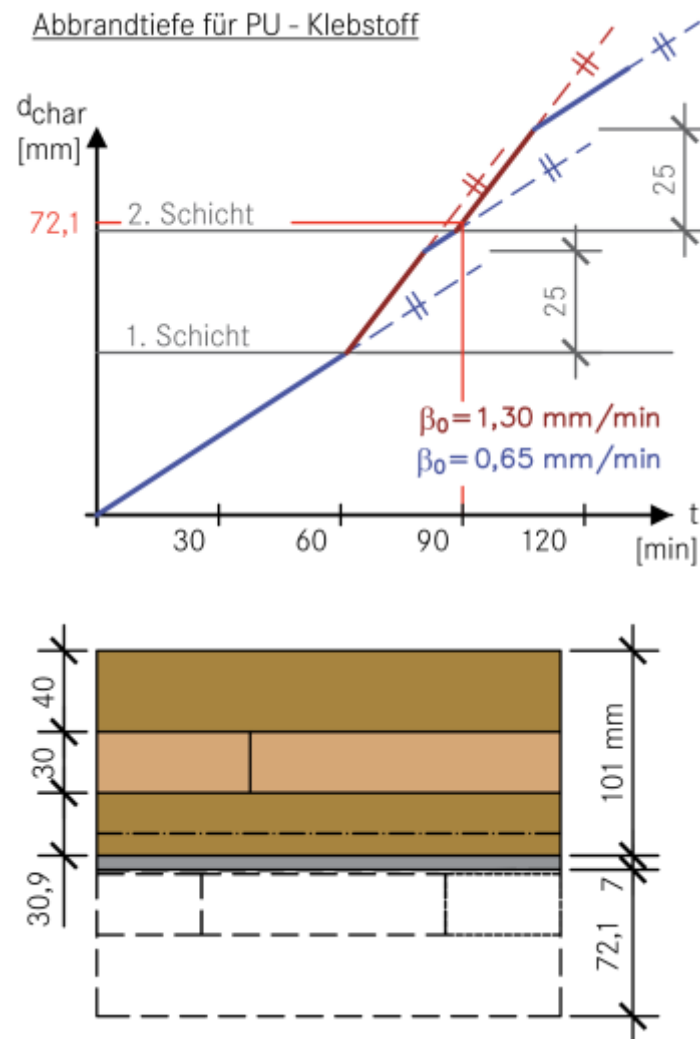
$$\sum \{d_{char,i,PU}\} = \{d_{char,1,PU}\} + \{d_{char,2,PU}\} + \{d_{char,3,PU}\} = 40,0 + 30,0 + 2,08 = 72,1 \text{ mm}$$

„zero-strength layer“

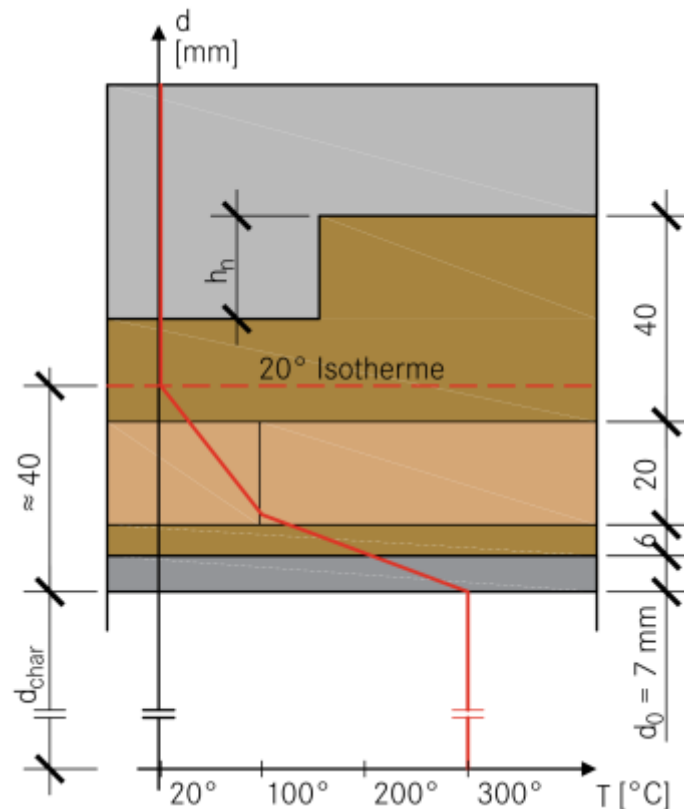
$$d_0 = 7,00 \text{ mm}$$

ideelle Abbrandtiefe

$$d_{ef,PU} = \sum \{d_{char,i,PU}\} + \{k_0\} \cdot \{d_0\} = 72,1 + 1,00 \cdot 7,00 = 79,1 \text{ mm}$$



Die Verfasser vertreten die Meinung, dass im Fall der außergewöhnlichen Einwirkung Brand mindestens zwei Lagen des Brettsperrholz-Querschnittes in Hauptrichtung verbleiben sollten, wobei die Dicke der Lage auf der brandbeanspruchten Seite mindestens 6 mm betragen soll, um ein Verbundverhalten der Flachdecken-Konstruktion sicherzustellen. Aus Schmid et al. [3] (Seite 61) kann entnommen werden, dass nach der Abbrandtiefe d_{char} plus 40 mm die 20°C-Isotherme des Holzes erreicht ist. Somit kann bei üblichen HBV-Flachdecken aus vollflächigen BSP angenommen werden, dass der Beton in seinen Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften und jene der Kerne nicht beeinflusst wird und mit den „kalten“ Eigenschaften gerechnet werden kann.



Darstellung des Temperaturverlaufs über die Höhe des HBV-Elements unter den oben genannten Randbedingungen → Kerne und Beton bleiben „kalt“

Berechnung der Querschnittswerte BSP

$$E_{\text{clt,d,fi}} = k_{\text{fi}} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot \frac{5/6 \cdot 12.000}{1,00} = 11.500 \text{ N/m}^2$$

Schwerpunkt (Berechnung von der Oberkante)

$$x_{s,fi} = \frac{\sum \{A_i \cdot x_i\}}{\sum \{A_i\}} = \frac{1.000 \cdot \left(40,0 \cdot 20,0 + 30,9 \cdot \left(40,0 + 30,0 + 0,5 \cdot 30,9 \right) \right)}{1.000 \cdot \left(40,0 + 30,9 \right)} = 48,5 \text{ mm}$$

$$\left(E \cdot A \right)_{\text{clt,d,fi}} = \sum \left\{ \left(E_{\text{clt,d,fi}} \cdot A_i \right) \right\} = 11.500 \cdot 1.000 \cdot \left(40,0 + 30,9 \right) = 8,15 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{clt,d,fi}} = E_{\text{clt,d,fi}} \cdot b \cdot \left[\frac{\sum \{h_i^3\}}{12} + \sum \{h_i \cdot (x_{s,fi} - x_i)^2\} \right] = 11.500 \cdot 1.000 \cdot \left[\frac{40,0^3 + 30,9^3}{12} + 40,0 \cdot (48,5 - 20,0)^2 + 30,9 \cdot (48,5 - 85,5)^2 \right] = 9,50 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2$$

Berechnung der Querschnittswerte Beton (Zustand I)

$$E_{\text{conc,d,fi}} = \frac{E_{\text{cm}}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{34.000}{1,00} = 34.000 \text{ N/m}^2$$

$$\left(E \cdot A \right)_{\text{conc,d,fi}} = E_{\text{conc,d,fi}} \cdot b \cdot h_{\text{conc}} = 34.000 \cdot$$

$$1.000 \cdot 80,0 = 2,72 \cdot 10^9 \text{ N}\$$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{conc,d,fire}} = E_{\text{conc,d,fi}} \cdot \{ b \cdot h_{\text{conc}}^3 \} \text{ over } \{ 12 \} = 34.000 \cdot \{ 1.000 \cdot \{ 80,0 \}^3 \} \text{ over } \{ 12 \} = 1,45 \cdot 10^{12} \text{ Nm}\{ m^2 \}$$

Kerve

$$\{ K_{\text{fi}} \} = \{ \eta_{\text{K,fi}} \} \cdot \{ K_{\text{ser}} \} = 1,0 \cdot 1.000 = 1.000 \text{ kN/mm/m}\$$$

$$\{ z_{\text{clt,fi}} \} = \{ x_{\text{s,fi}} \} - \{ \{ h_{\text{n}} \} \text{ over } 2 \} = 48,5 - \{ \{ 20,0 \} \text{ over } 2 \} = 38,5 \text{ mm}\$$$

$$\{ z_{\text{conc,fi}} \} = \{ \{ \left(\{ h_{\text{conc}} \} + \{ h_{\text{n}} \} \right) \text{ over } 2 \} = \{ \{ \left(\{ 80,0 + 20,0 \} \right) \text{ over } 2 \} = 50,0 \text{ mm}\$$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{fi}}^* = \{ \{ K_{\text{fi}} \} \text{ over } 3 \} \cdot \left(\{ z_{\text{conc,fi}} \}^3 + \{ z_{\text{clt,fi}} \}^3 \right) = \{ \{ 1.000 \cdot \{ 10 \}^3 \} \text{ over } 3 \} \cdot \left(\{ \{ 50,0 \}^3 + \{ \{ 38,5 \}^3 \} \right) = 6,07 \cdot 10^{10} \text{ Nm}\{ m^2 \}$$

Rissiteration zur Bestimmung der Steifigkeiten des Betons im gerissenen Zustand

Berechnung der Schnittkräfte mit Hilfe eines Stabwerksprogrammes mit den oben angeführten Querschnitts- und Kervensteifigkeiten und der außergewöhnlichen Einwirkungskombination $q_{\text{Ed,fi}} = 5,75 \text{ kN/m}$ zur Ermittlung der Risstiefe um somit die Umlagerung der Schnittkräfte vom Betonquerschnitt auf den Brettsper Holzquerschnitt zu berücksichtigen.

Tab. 1: aus den Iterationsschritten resultierende Dehn- und Biegesteifigkeiten sowie Biegesteifigkeit der Schubkonsole mit den zugehörigen Abmessungen

Iteration #	h_{conc} [mm]	$(E \cdot I)_{\text{conc,fi}}$ [Nmm ²]	$(E \cdot A)_{\text{conc,fi}}$ [N]	$z_{\text{conc,fi}}$ [mm]	$z_{\text{clt,fi}}$ [mm]	$z_{\text{conc,fi}} + z_{\text{clt,fi}}$ [mm]	$(E \cdot I)^*$ [Nmm ²]
0	80,0	1,45E+12	2,72E+09	50,0	38,5	88,5	6,07E+10
1	52,8	4,17E+11	1,80E+09	63,6		102	1,05E+11
2	42,9	2,24E+11	1,46E+09	68,6		107	1,27E+11
3	40,1	1,82E+11	1,36E+09	70,0		109	1,33E+11
4	39,3	1,72E+11	1,34E+09	70,3		109	1,35E+11
5	39,1	1,69E+11	1,33E+09	70,5		109	1,36E+11

Tab. 2: Schnittkräfte aus den Iterationsschritten mit der überdrückten Betonhöhe $h_{\text{conc,red}}$

Iteration #	Zustand Beton	$N_{\text{conc,fi}}$ [kN]	$M_{\text{conc,fi}}$ [kNm]	$N_{\text{clt,fi}}$ [kN]	$M_{\text{clt,fi}}$ [kNm]	Kerve 1 [kN]	Kerve 2 [kN]	Kerve 3 [kN]	$h_{\text{conc,red}}$ [mm]
0	ZI	-187	7,77	187	5,1	62,7	56,4	67,8	52,8
1	ZII	-199	2,79	199	6,4	66,3	57,3	74,9	42,9
2		-196	1,62	196	6,9	65,6	56,5	74,1	40,1
3		-193	1,34	193	7,0	64,6	55,9	72,9	39,3
4		-193	1,28	193	7,1	64,5	55,9	72,9	39,1
5		-193	1,26	193	7,07	64,4	55,8	72,8	39,1

Kontrolle Dekompression

Aus dem 5. Iterationsschritt ergibt sich eine reduzierte überdrückte Betonhöhe von $h_{\text{conc,red}} = 39,1 \text{ mm}$. Die Kontrolle der Dekompression wird über die Berechnung der Normalspannungen in der Faser $z_i = h_{\text{conc,red}} / 2 = 39,1 / 2 \text{ mm}$ geführt.

$$\sigma = \left[\frac{N_{\text{conc,fi}}}{\left(E \cdot A \right)_{\text{conc,fi}}} + \frac{M_{\text{conc,fi}}}{\left(E \cdot I \right)_{\text{conc,fi}}} \cdot z \right] \cdot E_{\text{conc,fi}} = \left[\frac{-193 \cdot 10^3}{1,33 \cdot 10^9} + \frac{1,26 \cdot 10^6}{1,69 \cdot 10^{11}} \cdot \left(\frac{39,1}{2} \right) \right] \cdot 34.000 = -4,93 + 4,96 \approx 0 \text{ N/mm}^2$$

Schnittkräfte und Spannungen

außergewöhnliche Einwirkungskombination mit $q_{\text{Ed,fi}} = 5,75 \text{ kN/m}$									
Faser	E	N_d	E·A	σ_N	M_d	E·I	z_i	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$
[mm]	[N/mm ²]	[kN]	[N]	[N/mm ²]	[kNm]	[Nmm ²]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	34.000	-193	1,33E+09	-4,93	1,26	1,690E+11	-19,6	-4,96	-9,89
39,1	34.000						19,6	4,96	0,0
80	11.500	193	8,15E+08	2,72	7,07	9,50E+11	-48,5	-4,15	-1,43
181	11.500						52,5	4,49	7,22

Schnittkräfte mit Querschnittswerten zum Zeitpunkt $t = \infty$

Ermittlung des Beiwertes zur Berücksichtigung des Systemkriechverhaltens

Koeffizient zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Verbundwirkungen auf die Kriechzahl des Betonquerschnitts aus (siehe TS, Absch. 7.1.2 [4])

$$\gamma_1 = \frac{\left(\left(E \cdot A \right)_{\text{clt,d,fi,t=0}} \cdot \left(E \cdot I \right)_{\text{conc,d,fi,t=0}} \right)}{\left(\left(E \cdot A \right)_{\text{clt,d,fi,t=0}} \cdot \left(E \cdot I \right)_{\text{conc,d,fi,t=0}} \right) + \left(\left(E \cdot A \right)_{\text{clt,d,fi,t=0}} \cdot \left(E \cdot I \right)_{\text{conc,d,fi,t=0}} \right) + \left(\left(E \cdot A \right)_{\text{clt,d,fi,t=0}} \cdot \left(E \cdot I \right)_{\text{conc,d,fi,t=0}} \right)} = 0,253$$

$$\psi_{\text{conc,fi}} = 2,0 - 0,5 \cdot \gamma_1^{1,9} = 2,0 - 0,5 \cdot 0,253^{1,9} = 1,96$$

Koeffizient zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Verbundwirkungen auf die Kriechzahl des Betonquerschnitts aus Tab. 7.1 ONR CEN/TS 19103:2022 [4]

mit $\phi = 2,50$ und $k_{\text{def}} = 0,60$

$$\psi_{\text{conc,fi}} = 2,0 - 0,5 \cdot \gamma_1^{1,9} = 2,0 - 0,5 \cdot 0,253^{1,9} = 1,96$$

Tab. 3: Steifigkeiten und Verschiebungsmodul zum Zeitpunkt $t = \infty$

	BSP	Beton	Kerve
t=0	$E_{\text{clt,d,fi}} = 11.500 \text{ N/mm}^2$	$E_{\text{conc,d,fi}} = 34.000 \text{ N/mm}^2$	$K_{\text{u,fi}} = K_{\text{ser,fi}} = 1.000 \text{ kN/mm/m}$

	BSP	Beton	Kerve
Beiwerte	$\psi_{\text{clt}} = 1,00$	$\psi_{\text{conc}} = 1,96$	$\psi_{\text{conn}} = 1,00$
Langzeit	$k_{\text{def}} = 0,60$	$\varphi_0 = 2,50$	$k_{\text{def}}' = 2 \cdot k_{\text{def}} = 2 \cdot 0,60 = 1,20$
$t = \infty$	$\frac{\{E_{\text{clt,d,fi,t} = \infty}\}}{\{1 + \{\psi_{\text{clt}}\} \cdot \{k_{\text{def}}\}\}} =$ $\frac{\{11.500\}}{\{\underbrace{1 + 1,00 \cdot 0,60}_{1,60}\}} =$ 7.188 N/m^2	$\frac{\{E_{\text{conc,d,fi,t} = \infty}\}}{\{1 + \{\psi_{\text{conc}}\} \cdot \{\varphi_0\}\}} =$ $\frac{\{34.000\}}{\{\underbrace{1 + 1,96 \cdot 2,50}_{5,90}\}} =$ 5.760 N/m^2	$\frac{\{K_{\text{u,fi,t} = \infty}\}}{\{1 + \{\psi_{\text{conn}}\} \cdot \{k_{\text{def}}'\}\}} =$ $\frac{\{1.000\}}{\{\underbrace{1 + 1,00 \cdot 1,20}_{2,20}\}} =$ 455 kN/mm/m

Ermittlung der Schnittkräfte mit den Querschnittswerten zum Zeitpunkt $t = \infty$

Querschnittswerte der Brettsperrholzplatte

$$\left(E \cdot A \right)_{\text{clt,d,fi,t} = \infty} = \sum \left(\{E_{\text{clt,d,fi,t} = \infty}\} \cdot \{A_i\} \right) = 7.188 \cdot 1.000 \cdot (40,0 + 30,9) = 5,10 \cdot 10^8 \text{ N}$$

Schwerpunkt (Berechnung von der Oberkante)

$$\{x_{\text{s,fi}}\} = \frac{\{\sum \{A_i\} \cdot \{x_i\}\}}{\{\sum \{A_i\}\}} = \frac{\{1.000 \cdot \left(40,0 \cdot 20,0 + 30,9 \cdot \left(40,0 + 30,0 + 0,5 \cdot 30,9 \right) \right)\}}{1.000 \cdot \left(40,0 + 30,9 \right)} = 48,5 \text{ mm}$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{clt,d,fi,t} = \infty} = \{E_{\text{clt,d,fi,t} = \infty}\} \cdot b \cdot \left[\frac{\sum \left(\frac{\{h_i\}^3}{12} \right)}{\right] + \sum \left(\{h_i\} \cdot \{e_i\}^2 \right) \right]$$

$$= 7.188 \cdot 1.000 \cdot \left[\frac{\{40,0\}^3 + \{30,9\}^3}{12} + 40,0 \cdot \left(\{48,5 - 20,0\} \right)^2 + 30,9 \cdot \left(\{48,5 - 85,5\} \right)^2 \right] = 5,94 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2$$

Berechnung der Querschnittswerte Beton

mit der gerissenen Höhe $h_{\text{conc,red,fi}} = 39,1 \text{ mm}$

$$\left(E \cdot A \right)_{\text{conc,d,fi,t} = \infty} = \{E_{\text{conc,d,fi,t} = \infty}\} \cdot b \cdot \{h_{\text{conc,red,fi}}\} = 5.760 \cdot 1.000 \cdot 39,1 = 2,25 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{conc,d,fi,t} = \infty} = \{E_{\text{conc,d,fi,t} = \infty}\} \cdot b \cdot \left[\frac{\{h_{\text{conc,red,fi}}\}^3}{12} \right] = 5.760 \cdot 1.000 \cdot \left[\frac{\{39,1\}^3}{12} \right] = 2,87 \cdot 10^{10} \text{ Nm}^2$$

ideelle Biegesteifigkeit de Schubkonsole

$$\left(E \cdot I \right)_{\text{d,fi,t} = \infty}^* = \frac{\{K_{\text{fi}}\}}{3} \cdot \left(\{z_{\text{conc,fi}}\}^3 + \{z_{\text{clt,fi}}\}^3 \right) \cdot b = \frac{\{455 \cdot \{10\}^3\}}{3} \cdot \left(\{70,5\}^3 + \{38,5\}^3 \right) \cdot 1,00 = 6,18 \cdot 10^{10} \text{ Nm}^2$$

$$\{z_{\text{conc,fi}}\} + \{z_{\text{clt,fi}}\} = 70,5 + 38,5 = 109 \text{ mm}$$

Ermittlung der Schnittkräfte für den quasi-ständig Lastanteil $q_{d,fi}=5,75$ kN/m zur Berechnung der kriechwirksamen Spannungen im ULS, $t = \infty$

Schnittkräfte berechnet mit Hilfe eines Stabwerksprogrammes

$$N_{clt,d} = -N_{conc,d} = 168 \text{ kN}$$

$$M_{conc,d} = 0,51 \text{ kNm}$$

$$M_{clt,d} = 10,5 \text{ kNm}$$

$$N_{Kerve1,d} = 56,1 \text{ kN}$$

$$N_{Kerve2,d} = 51,2 \text{ kN}$$

$$N_{Kerve3,d} = 60,7 \text{ kN}$$

Faser	E_i	N_d	$E \cdot A$	σ_N	M_d	$E \cdot I$	z_i	σ_M	$\sigma_N + \sigma_M$
[mm]	[N/mm ²]	[kN]	[N]	[N/mm ²]	[kNm]	[Nmm ²]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	5.760	-168	2,25E+08	-4,30	0,510	2,87E+10	-19,6	-2,00	-6,30
39,1	5.760						19,6	2,00	-2,04
80	7.188	168	5,10E+08	2,368	10,5	5,94E+11	-48,5	-6,16	-3,79
181	7.188						52,5	6,67	9,04

Ermittlung der Schnittkräfte und Spannungen infolge der unelastischen Verzerrungen des Betons (Schwinden) im ULS, $t = \infty$

Bemessungswert der effektiven Schwinddehnung

$$\epsilon_{ef,conc,d,fi}(t = \infty) = \gamma_{SH,fi} \cdot 0,9 \cdot \epsilon_{cs,t = \infty} = 1,00 \cdot 0,9 \cdot (-0,350) = -0,315\text{‰}$$

Schnittkräfte berechnet mit Hilfe eines Stabwerkprogrammes

$$N_{clt,d} = -N_{conc,d} = -12,6 \text{ kN}$$

$$M_{conc,d} = 0,06 \text{ kNm}$$

$$M_{clt,d} = 1,26 \text{ kNm}$$

$$N_{Kerve1,d} = -9,25 \text{ kN}$$

$$N_{Kerve2,d} = -2,59 \text{ kN}$$

$$N_{Kerve3,d} = -0,790 \text{ kN}$$

Faser	E _i	N _d	E·A	σ _N	M _d	E·I	z _i	σ _M	σ _N +σ _M
[mm]	[N/mm ²]	[kN]	[N]	[N/mm ²]	[kNm]	[Nmm ²]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	5.760	12,6	2,25E+08	0,323	0,060	2,87E+10	-19,6	-0,235	0,087
39,1	5.760						19,6	0,235	0,558
80	7.188	-12,6	5,10E+08	-0,178	1,26	5,94E+11	-48,5	-0,739	-0,917
181	7.188						52,5	0,800	0,623

Zusammenfassung der Spannungen und Kervenkräfte

Tab. 4: Zusammenfassung der Spannungen zu den Zeitpunkten t = 0 und t = ∞

Spg.	Faser	zum Zeitpunkt t = 0			Endwert der Spannungsverteilung gemäß TS/CEN 19103, Absch. 4.2 [4]						
		aus q _{d,fi}		Summe σ _N +σ _M	aus q _{d,fi}		aus ε _{ef,conc,d,t=∞}		Summe		Summe σ _N +σ _M
		σ _N	σ _M	::: σ _N	σ _M	σ _N	σ _M	σ _N	σ _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]	[N/mm ²]
σ _{conc,o,d}	0	-4,93	-4,96	-9,89	-4,30	-2,00	0,323	-0,235	-3,98	-2,24	-6,21
σ _{conc,u,d}	39,1		4,96	0,02		2,00		0,235		2,24	-1,74
σ _{clt,o,d}	80	2,72	-4,15	-1,43	2,37	-6,16	-0,178	-0,739	2,19	-6,90	-4,71
σ _{clt,u,d}	181		4,49	7,22		6,67		0,800		7,47	9,66

Tab. 5: Kräfte in den Kerven

Kerve	zum Zeitpunkt t = 0		Endwert der Kervenkräfte nach TS/CEN 19103, Absch. 4.2 [4]		
	aus q _{d,t=0}		aus q _{perm,d,t=∞}		Summe
	[kN]		[kN]		[kN]
N _{Kerve,1}	64,4		56,1		46,9
N _{Kerve,2}	55,8		51,2		48,6
N _{Kerve,3}	72,8		60,7		59,9

Nachweisführungen für den Brandfall

Nachweise Brettsperrholz

Normalspannungsnachweis

maßgebender Nachweis: Zeitpunkt t = ∞

$$\frac{\sigma_{clt,t=0,d,fi}}{f_{clt,t=0,d,fi}} + \frac{\sigma_{clt,m,d,fi}}{f_{clt,m,d,fi}} = \frac{2,19}{16,7} + \frac{7,47}{30,4} = 0,131 + 0,245 = 0,38 < 1$$

Nachweis Beton

Nachweis der Betondruckspannung in Feldmitte

maßgebender Nachweis: Zeitpunkt t = 0

$$\frac{\sigma_{conc,o,d,fi;t=0}}{f_{cd,fi}} = \frac{9,89}{35,0} = 0,28 < 1$$

0,28 \le 1\$\$\$

Nachweis Verbindung

Bemessungswert der Einwirkung

$$F_{v,Ed,fi} = \max \{ N_{Kerve3,d;t=0,fi} \} = 72,8 \text{ kN}$$

Nachweis der Kerne

Druckstrebenneigung

$$\min \theta = \max \left\{ \frac{\arctan \left(\frac{0,5 \cdot (h_{conc} + h_n)}{l_n + l_s} \right)}{\arctan \left(\frac{h_n}{l_n} \right)} \right\} \text{ bzw. } \max \left\{ \frac{\arctan \left(\frac{0,5 \cdot (80,0 + 20,0)}{200 + 250} \right)}{\arctan \left(\frac{20,0}{200} \right)} \right\} = 6,34^\circ \text{ bzw. } 5,71^\circ$$

$$\max \theta = 45^\circ$$

gemäß TS 19102:2021 Abschnitt 10.3.4.2 (4): Die Lage des Verbindungsmittels sollte mit dem Winkel θ abgestimmt sein

$$\theta = \arctan \left(\frac{0,5 \cdot (h_{conc} + h_n)}{x_{screw}} \right) = \arctan \left(\frac{0,5 \cdot (80,0 + 20,0)}{80,0} \right) = 10,1^\circ$$

gewählt: $\theta = 10,0^\circ$

Versagensmodi der Kerne

a) Schubversagen Beton

$$\nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35,0}{250} \right) = 0,516$$

$$f_{vcd,fi} = \frac{\nu \cdot f_{cd,fi}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{0,516 \cdot 35,0}{\cot(10,0) + \tan(10,0)} = 3,09 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{Rd;a,fi} = f_{vcd,fi} \cdot b_n \cdot l_n = 3,09 \cdot 1.000 \cdot 200 = 618.000 \text{ N} = 618 \text{ kN}$$

b) Druckversagen Beton

$$F_{Rd;b,fi} = f_{cd,fi} \cdot b_n \cdot h_n = 35,0 \cdot 1.000 \cdot 20,0 = 700.000 \text{ N} = 700 \text{ kN}$$

c) Schubversagen BSP

$$l_{v,a,calc} \leq 8 \cdot h_n = 8 \cdot 20,0 = \underline{160 \text{ mm}} < \min \{ l_{v,a} \} = 250 \text{ mm}$$

$$F_{Rd;c,fi} = k_{cr} \cdot f_{clt,v,d,fi} \cdot b_n \cdot l_{v,a,calc} = 1,00 \cdot 4,60 \cdot 1.000 \cdot 160 = 736.000; N = 736; kN$$

d) Druckversagen BSP

$$F_{Rd;d,fi} = f_{clt,c,0,d,fi} \cdot b_n \cdot h_n = 24,2 \cdot 1.000 \cdot 20,0 = 484.000; N = 484; kN$$

Zusammenfassung der Tragfähigkeiten für die jeweiligen Versagensmodi

$$F_{Rd,fi} = \min \left\{ \begin{matrix} F_{Rd;a,fi} \\ F_{Rd;b,fi} \\ F_{Rd;c,fi} \\ F_{Rd;d,fi} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 618; kN \\ 700; kN \\ 736; kN \\ 484; kN \end{matrix} \right\} = 484; kN$$

Nachweis der Tragfähigkeit der Kerne

$$\frac{F_{v,Ed,fi}}{F_{Rd,fi}} = \frac{72,8}{484} = 0,15 < 1$$

Nachweis Abhebesicherung

$$F_{t,Ed,fi} = \max \left\{ \begin{matrix} F_{v,Ed,fi} \cdot \tan \theta \\ 0,1 \cdot F_{v,Ed,fi} \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 72,8 \cdot \tan(10,0) \\ 12,8; kN \end{matrix} \right\} = 12,8; kN$$

Überprüfung der im Kaltzustand gewählten Anzahl von Tellerkopfschrauben für den Brandfall (3x Tellerkopfschraube Ø 8|160 mm, $l_g = l_{ef} = 100$ mm)

Die Schraube wurde in ihrer Länge so gewählt, dass diese im Brandfall nicht aus der Brettspertholzpatte herausragt.

$$f_{ax,k,fi} = k_{fi} \cdot 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 1,05 \cdot 0,52 \cdot 8,00^{-0,5} \cdot 100^{-0,1} \cdot 385^{0,8} = 14,3; N/mm^2$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} \right\} = \min \left\{ \frac{8,00}{8} \right\} = 1,00$$

$$F_{ax,d,fi} = \min \left\{ \begin{matrix} f_{ax,k,fi} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d \\ 1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \cdot k_{bmod,fi} \\ \gamma_{M,Verb,fi} \end{matrix} \right\} \cdot A_s \cdot 0,9 \cdot f_{u,k} \cdot \gamma_{M,fi} = \min \left\{ \begin{matrix} 14,3 \cdot 8,00 \cdot 100 \cdot 1,00 \\ 1,2 \cdot \cos^2 90,0 + \sin^2 90,0 \\ 1,00 \end{matrix} \right\} \cdot 0,9 \cdot 950 \cdot 1,00 = 11,4; kN$$

$$R_{ax,d,fi} = n \cdot F_{ax,d,fi} = 3 \cdot 11,4 = 34,2; kN$$

Nachweis

$$\frac{F_{t,Ed,fi}}{R_{ax,d,fi}} = \frac{12,8}{34,2} = 0,37 < 1$$

[1] ↑ ON B 1995-1-2 Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten - Teil 1-2:

Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall. Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Wien, September 2011. [PDF](#)

[2] ↑ ÖNORM EN 1992-1-2:2019, „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2019

[3] ↑ Schmid, J.; Klippel, M. & Frangi, A.: Brettsperrholz im Brandfall – Bauteilprüfung und Tragfähigkeitsberechnung, Tagungsband Karlsruher Tage 2016 – Holzbau, Forschung für die Praxis, 2016. [PDF](#)

[4] ↑, ↑, ↑, ↑ 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](#)

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

Permanent link:
https://bspwiki.at/doku.php?id=hbv:examples:clt_concrete_composite:fire&rev=1743580655

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

