

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

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

Festigkeitskennwerte im Brandfall

Brettsperrholz (BSP)

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

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

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

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

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

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

Beton

gemäß ÖNORM EN 1992-1-2:2019 [2]

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

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

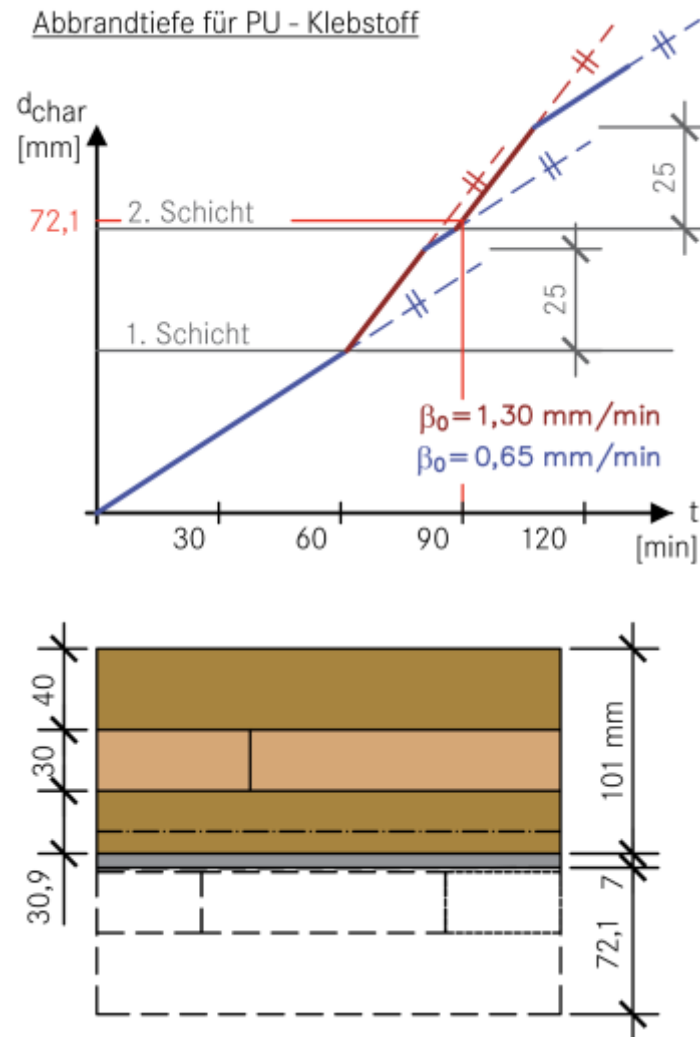
$$\sum \{d_{char,i,PU}\} = \{d_{char,1,PU}\} + \{d_{char,2,PU}\} + \{d_{char,3,PU}\} = 40,0 + 30,0 + 2,08 = 72,1 \text{ mm}$$

„zero-strength layer“

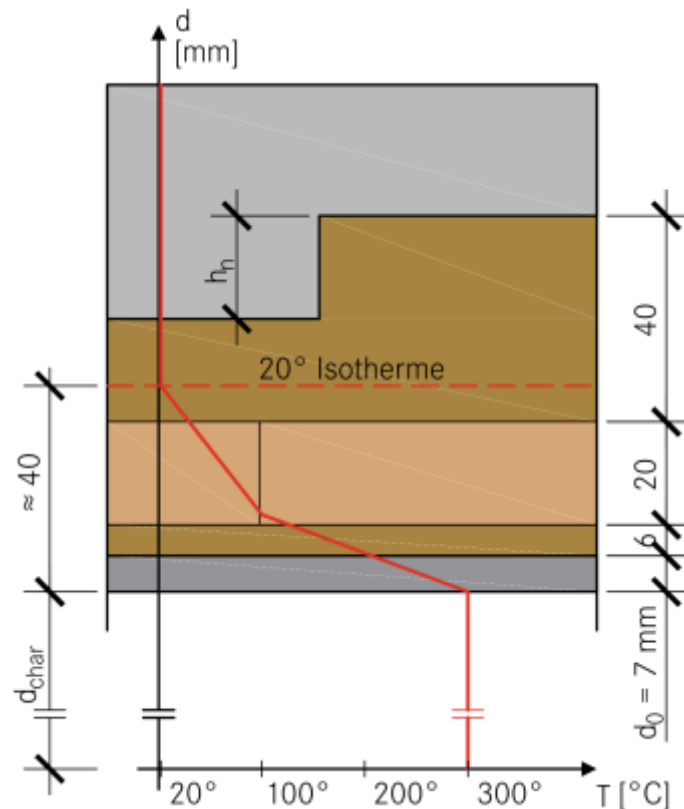
$$d_0 = 7,00 \text{ mm}$$

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. [10] 🔧 Fix Me! (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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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 [3])

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

$$\frac{8,15 \cdot 10^8 \cdot 9,50 \cdot 10^{11} \cdot 193 \cdot 10^3}{1,33 \cdot 10^9 \cdot 10^9 \cdot \left(8,15 \cdot 10^8 \cdot 7,07 \cdot 10^6 \cdot \left(70,5 + 38,5 \right) \right) - 9,50 \cdot 10^{11} \cdot 193 \cdot 10^3} = 0,253$$

Koeffizient zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Verbundwirkungen auf die Kriechzahl des Betonquerschnitts aus Tab. 7.1 ONR CEN/TS 19103:2022 [3]

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

- [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] ↑, ↑ 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=1743507783

Last update: 2026/08/24 15:11

