

## Tech-News 02/05 - Folge 2 Fachgebiet: Stahlbeton

Von Dipl.-Ing. Klaus Schäfer  
Prüfingenieur für Baustatik VPI  
Wurmbergstraße 1 - 5  
71063 Sindelfingen

### Nachweis der Tragfähigkeit von Betonbauteilen im Brandfall, Folge 2

### Weitere Hinweise und ein Beispiel zur Warmbemessung einer Stahlbetonstütze

#### Allgemeines:

Die Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz hat beschlossen, dass die Normen DIN 4102-22 und DIN 4102-4/A1 schon vor der offiziellen Einführung in die Liste der Technischen Baubestimmungen der Länder angewendet werden können.

#### Weitere Hinweise für die praktische Anwendung:

Der Brandschutznachweis nach DIN 4102-22 ist für Stahlbetonbauteile, bei denen die **Momentenumlagerung mehr als 15 %** beträgt, **nicht anwendbar**.

Die Regelungen für die Bemessung von **Bauteilen aus hochfestem Beton** sind momentan noch schwer durchschaubar.

Die Ergänzung des Abschnitts 9 zur DIN 4102-4 durch DIN 4102-4/A1 könnte eigentlich so zu verstehen sein, dass die Regeln der DIN 4102-4, Abschnitt 3 unter Beachtung des Abschnitts 9 auch für hochfesten Beton gelten, wenn im Einzelnen keine Einschränkungen gemacht werden. So wird es auch grundsätzlich im Betonkalender 2005/2 auf Seite 435 gesehen.

Nach der Auslegung der obersten Baubehörde ist es allerdings so, dass DIN 4102-4, DIN 4102-4/A1 und DIN 4102-22 für die Warmbemessung von Bauteilen aus Beton nur bis zur Festigkeitsklasse C50/60 gelten, da höherfeste Betone bei den Bemessungshinweisen für Balken und Stützen nicht explizit erwähnt und auch in den neuen Tabellen 4, 18 und 22 nicht enthalten sind.

Bis C60/75 ist die Bemessung nach DIN V ENV 1992-1-2:1997-05 zusammen mit der DIBt-Richtlinie geregelt, darüber wäre dann eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Für **Stützen** musste bisher ein expliziter Brandschutznachweis unter Berücksichtigung des Ausnutzungsgrades nur dann gemacht werden, wenn die Abmessungen kleiner als die Grenzabmessungen der Tab. 31 der DIN 4102-4 waren. Nach derzeitigem Stand ist ein rechnerischer Nachweis in allen Fällen erforderlich.

Ein Forschungsauftrag wurde in Auftrag gegeben, um das Problem wieder zu vereinfachen.

Um den doppelten Rechenaufwand zu vermeiden, ist folgende vereinfachte Vorgehensweise auf der Basis der DIN 4102-22 und DIN 4102-4 möglich; das Ergebnis liegt jedoch teilweise sehr auf der sicheren Seite:

Mit  $\alpha_1 = (N_{fi,d,t} / N_{Rd}) \times \alpha^*$

und  $\alpha^* \leq 2,0$   
 $N_{fi,d,t} = 0,7 \times N_{Ed}$

wird  $\alpha_1 \approx (0,7 \times N_{Ed} / N_{Rd}) \times 2 = 1,4 \times \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$

oder  $N_{Rd} = \frac{1,4}{\alpha_1} \times N_{Ed}$

Für  $\alpha_1$  wird der Wert abhängig von der Mindestbauteildicke und Feuerwiderstandsklasse der Tab. 31 DIN 4102-4 entnommen und damit eine modifizierte Bemessungslast  $N_{Ed}^*$  ermittelt.

Für F90 wird so:

min d = 24 cm:	$\alpha_1 = 1,0$	$N_{Ed}^* = 1,4 \times N_{Ed}$
min d = 21 cm:	$\alpha_1 = 0,7$	$N_{Ed}^* = 2,0 \times N_{Ed}$
min d = 18 cm:	$\alpha_1 = 0,3$	$N_{Ed}^* = 4,7 \times N_{Ed}$

Für  $N_{Ed}^*$  ist dann eine Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit durchzuführen. Zwischenwerte können linear interpoliert werden. Bei Extrapolation der  $\alpha_1$ -Werte zeigt sich, dass ab einer Mindestdicke von ca. 30 cm eine für  $N_{Ed}$  kalt bemessene Stütze auch für F90 voll ausnutzbar sein dürfte. Hier sollten jedoch zuerst ausreichende Erfahrungen durch Vergleiche mit genauer Rechnung gesammelt werden.

Die Brandschutzbemessung von **Unterzügen und Platten** ist prinzipiell gleichgeblieben. Der kritische Zustand ist erreicht, wenn die zur Aufnahme der Einwirkungen im Brandzustand  $E_{d,fi}$  erforderlichen Stahlspannungen gleich der reduzierten Stahlspannung für  $T_{crit}$  sind.

Die Tabelle 1 und das Bild 1 der DIN 4102-4 wurden in der DIN 4102-22 für das neue Sicherheitskonzept angepasst. Die Festigkeit des Betonstahls im Brandfall ist definiert zu  $\sigma_{s,fi} = 0,6 \cdot f_{yk}$  bei  $T_{crit} = 500 \text{ °C}$ .

Die Klassifizierungstabellen im Abschnitt 3 der DIN 4102-4 sind für die kritische Temperatur von  $500 \text{ °C}$  ermittelt. Somit können die für die jeweiligen Feuerwiderstandsklassen erforderlichen Achsabstände der Bewehrung wie bisher aus diesen Tabellen abgelesen werden.

Abhängig vom Ausnutzungsgrad der Bewehrung kann mit der Gleichung

$$\sigma_{s,fi} / f_{yk} = E_{d,fi} / E_d \times 1 / \gamma_s \times A_{s,erf} / A_{s,vorh} = 0,6 \times A_{s,erf} / A_{s,vorh}$$

die kritische Temperatur für das konkrete Bauteil ermittelt und falls erforderlich, das Achsmaß  $u$  der Bewehrung verringert werden. Dabei gilt

$$\Delta u = 10 \text{ mm für crit } \Delta T = 100 \text{ K .}$$

Zu beachten ist dabei, dass die so verminderten  $u$ -Werte nicht kleiner werden als die Tabellenwerte für F30 und gleichzeitig natürlich die  $c_{nom}$ -Werte nach Kap. 6.3 und die minimalen Stababstände nach Kap. 12.2 der DIN 1045-1 nicht unterschritten werden dürfen.

Das Vorgehen bei **Spannbetonbauteilen** ist analog, hier sind jedoch wegen der nach Tab. 1 geringeren  $T_{crit}$  die Achsmaße wie bisher auch um das entsprechende Maß  $\Delta u$  zu erhöhen.

## Beispiel zur Brandschutzbemessung von Stützen:

Pendelstütze, XC1, a/b = 25/25 cm, l<sub>col</sub> = l<sub>0</sub> = 5,0 m

### Eingangswerte:

$$\begin{array}{l} \text{C35/45} \\ f_{ck} = 35,0 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} = 19,8 \text{ N/mm}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{BSt 500} \\ f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2 \\ \epsilon_{yd} = 2,175 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Belastung:} \\ N_G = -320 \text{ kN} \\ N_Q = -350 \text{ kN} \\ N_{Ed} = -957 \text{ kN} \end{array}$$

### 1. Bemessung im Kaltzustand

$$\lambda = \frac{500}{0,289 \times 25} = 70 > \lambda_{crit} = 50$$

$$\text{Ausmitte: } e_0 = 0$$

$$e_a = \frac{1}{100} \times \frac{5,0}{\sqrt{5,0}} \times \frac{5,0}{2} = 0,011 \text{ m}$$

angenommene Bewehrung: 4 Ø 20 Bü Ø 8

$$\begin{array}{l} A_S = 12,57 \text{ cm}^2 \\ c_v = 20 \text{ mm} \\ u_{längs} = 20 + 8 + 10 \\ \approx 40 \text{ mm} \end{array}$$

$$N_{ud} = -12,57 \times 43,5 - 625 \times 1,98 = -1.784 \text{ kN}$$

$$N_{bal} = -0,4 \times 1,98 \times 25^2 = -495 \text{ kN}$$

$$K_2 = (-1.784 + 957) / (-1.784 + 495) = 0,642$$

$$[ \text{oder: } K_2 = 1 ]$$

$$1/r = 2 \times 0,642 \times 2,175 \times 10^{-3} / 0,9 \times 0,21 = 0,015 / \text{m}$$

[ oder  $1/r = 2 \times 1 \times 2,175 \times 10^{-3} / 0,9 \times 0,21 = 0,023 / \text{m}$  ]

$$\leadsto e_2 = 1 \times 0,015 \times 5,0^2 / 10 = 0,038$$

[ oder  $e_2 = 1 \times 0,023 \times 5,0^2 / 10 = 0,058$  ]

$$\leadsto e_{\text{tot}} = 0 + 0,011 + 0,038 = 0,049 \text{ m}$$

$$\leadsto M_{\text{ed}} = 957 \times 0,049 = 46,9 \text{ kNm}$$

damit:

$$\mu_{\text{Ed}} = \frac{0,0469}{0,25^3 \times 19,8} = 0,152$$

$$v_{\text{Ed}} = \frac{-0,957}{0,25^2 \times 19,8} = -0,773$$

} Tafel 5c,  
Schneider, 16. Aufl.  
  
}  $w_{\text{tot}} = 0,25$

$$A_{\text{S,tot}} = 0,25 \times 25^2 / 21,9 = 7,1 \text{ cm}$$

gew.: 4 Ø 20

(wie es sich später zeigt, wird für F90 die Warmbemessung maßgebend, 4 Ø 16 reichen dann nicht)

## 2. Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-4 und DIN 4102-22:

aus Kaltbemessung:  $N_{Ed} = - 957 \text{ kN}$   
 $M_{Ed} = 46,9 \text{ kNm}$

### 2.1 vereinfachter Nachweis mit $E_{dA} = 0,7 \times E_d$ :

$$N_{Ed,fi} = - 0,7 \times 957 = - 669,9 \text{ kN} \quad ; \quad v = \frac{- 0,67}{0,25^2 \times 19,8} = - 0,541$$

$$M_{Ed,fi} = 0,7 \times 46,9 = 32,8 \text{ kNm} \quad ; \quad \mu = \frac{0,033}{0,25^3 \times 19,8} = 0,106$$

$$\text{tot } \omega = \frac{12,57}{25^2} \times 21,9 = 0,44$$

$$\leadsto v_{\xi} = - 0,93$$

$$\leadsto N_{Rd} = 0,93 \times 0,25^2 \times 19.800 = 1.151 \text{ kN}$$

geometrisches Bewehrungsverhältnis:

$$\varphi = \frac{12,7}{25^2} = 0,02; f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$\leadsto \text{Bild 15a, DIN 4102-22: } \alpha^* = 1,71$$

$$\alpha_1 = 1,71 \times \frac{669,9}{1.151} = 0,995$$

$\leadsto$  nach Tab. 31, DIN 4102-4 ausreichend für F90  
( $c_{nom}$  nach DIN 1045-1)

### 2.2 genauerer Nachweis: $N_G = - 320 \text{ kN}$    $N_Q = - 350 \text{ kN}$

$$\gamma_{GA} = 1,0$$

$$\gamma_A = 1,0$$

$$\psi_{11} = 0,5 \quad \text{für Wohngebäude)}$$

$$\psi_{11} = 0,7 \quad \text{für Versammlungsräume}$$

für Versammlungsräume:  $N_{fi,d} = - 320 - 0,7 \times 350 = - 565 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} v &= \frac{- 0,565}{0,25^2 \times 19,8} = - 0,457 \\ \mu &= \frac{0,028}{0,25^3 \times 19,8} = 0,091 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} v \\ \mu \end{aligned}} \right\} v_{\S} = - 0,9$$

$$N_{Rd} = - 0,9 \times 0,25^2 \times 19.800 = - 1.114 \text{ kN}$$

$$\alpha_1 = 1,71 \times \frac{565}{1.114} = 0,87$$

nach Tab. 31, DIN 4102-4 ausreichend für F90  
( $c_{nom}$  nach DIN 1045-1)

### 3. Nachweis für den Brandfall nach DIN EN 1992-1-2 und DIBt - Richtlinie:

$$\text{mit } \gamma_m = \begin{array}{l} 1,0: f_{cd} = 3,5 \text{ kN/cm}^2 \\ f_{yd} = 50 \text{ kN/cm}^2 \\ \varepsilon_{yd} = \varepsilon_{yk} = 2,5 \times 10^{-3} \end{array}$$

$$\varepsilon_{d,fi} = \eta_{fi} \times E_d$$

$$\xi = Q_{K1} / G_K = 350 / 320 = 1,094$$

$$\eta_{fi} = (1,0 + \mathbf{0,5} \times 1,094) / (1,35 + 1,5 \times 1,094) = 0,517$$

für Wohn- und Aufenthaltsräume

$$\eta_{fi} = (1,0 + \mathbf{0,7} \times 1,094) / (1,35 + 1,5 \times 1,094) = \mathbf{0,59}$$

für Versammlungsräume

alternativ vereinfacht:

$$\eta_{fi} = 0,7$$

hier:

$$N_{d,fi} = \mathbf{0,59} \times (-957) = -565 \text{ kN}$$

Ausmitte  $e_{tot,fi}$ :

$$e_0 = 0$$

$$e_a = 0,011 \text{ m}$$

$$N_{Ed} = -957 \text{ kN}$$

$$N_{ud} = -12,57 \times 50 - 612,5 \times 3,5 = -2.772,3 \text{ kN}$$

$$N_{bal} = -0,4 \times 3,5 \times 25^2 = -875 \text{ kN}$$

$$K_2 = (-2.772,3 + 957) / (-2.772,3 + 875) = 0,957$$

$$1/r = 2 \times 0,957 \times 2,5 \times 10^{-3} / 0,9 \times 0,21 = 0,025 / \text{m}$$

$$e_2 = 1 \times 0,025 / \text{m} \times 5,0^2 / 10 = 0,063$$

$$e_{tot,fi} = 0,011 + 0,063 = 0,074$$

damit:

$$v_{Ed,fi} = \frac{-0,565}{0,25^2 \times 35} = -0,258$$

$$\mu_{Ed,fi} = \frac{0,565 \times 0,074}{0,25^3 \times 35} = 0,076$$

vorhandener mechanischer Bewehrungsgrad:

$$\begin{aligned} \text{vorh. } \omega_{tot,fi} &= \frac{A_{S,tot}}{b \times a} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad \text{mit} \quad \begin{aligned} f_{yd} &= f_{yk} \\ f_{cd} &= f_{ck} \end{aligned} \\ &= \frac{12,57}{25^2} \times \frac{5,0}{3,5} = 0,287 \end{aligned}$$

$v / \mu$  - Diagramm:

$$v_{\xi} \quad \text{bei } \omega_{tot,fi} = 0,287 \quad \approx -0,65$$

$$R_{d,fi} = -0,65 \times 0,25^2 \times 35 \times 10^3 = -1.421,9 \text{ kN}$$

~> Ausnutzungsgrad:

$$\mu_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{R_{d,fi(o)}} = \frac{0,59 \times 957}{1.421,9} = 0,4$$

~> Tab. 4.1 DIN ENV 1992-1-2:

$$\begin{aligned} \text{erf } b &= 240 \text{ mm} < 250 \\ u &\geq 35 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{erf } b \\ u \end{aligned}} \right\} \text{ F90 erfüllt}$$

#### 4. Vereinfachte Vorgehensweise nach Seite 2:

**4.1**

$$\begin{aligned} N_{Ed}^* &\leq 1,4 \times N_{Ed} &= 1340 \text{ kN} \\ M_{Ed}^* &\leq 1,4 \times M_{Ed} &= 65,7 \text{ kNm} \\ v &= -1,081 \\ \mu &= 0,212 \\ \omega_{tot} &= 0,713 \\ A_{S,tot} &= 20,3 \text{ cm}^2 &(>> 12,7 \text{ cm}^2, \text{ sichere Seite}) \end{aligned}$$

**4.2**

genauer mit  $N_{Ed,fi} \approx 0,6 \times N_{Ed}$  (vgl. 2.2)

ergibt sich  $N_{Ed}^* \approx 1,2 N_{Ed} = 1148,4 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} M_{Ed}^* &= 1,2 \times M_{Ed} &= 56,3 \text{ kNm} \\ v &= -0,926 \\ \mu &= 0,182 \\ \omega_{tot} &= 0,477 \\ A_{S,tot} &= 13,6 \text{ cm}^2 &(> 12,7 \text{ cm}^2, \text{ sichere Seite}) \end{aligned}$$

#### **4.3 Zusätzliches Beispiel**

Stütze 24/24 cm  $\lambda < 50$   
erforderlich: F90

Eingangswerte:  $N_{Ed} = 1600 \text{ kN}$   
 $C20/25; f_{cd} = 1,133 \text{ kN/cm}^2$

Kaltbemessung nach DIN 1045-1:

$$\begin{aligned} N_{cd} &= 24^2 \times 1,133 &= 653 \text{ kN} \\ \text{erf } A_S &= (1600-653) / 43,5 &= 21,8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Vereinfachte Bemessung für F90:

$$\begin{aligned} N_{Ed}^* &= 1,4 \times 1600 &= 2240 \text{ kN} \\ \text{erf } A_S &= (2240-653) / 43,5 &= \underline{\underline{36,5 \text{ cm}^2}} \end{aligned}$$

oder  $N_{Ed}^* \approx 1,2 \times 1600 = 1920$   
(bei genauerer Ermittlung von  $N_{Ed,fi}$ , abhängig von  $G / Q$ )  
 $\text{erf } A_S = (1920-653) / 43,5 = \underline{\underline{29,1 \text{ cm}^2}}$

zum Vergleich nach DIN 1045-88:

$$N_{k,n} \approx 1600 / 1,4 = 1143 \text{ kN}$$

für B25:  $\text{zul } \sigma_b = 0,833 \text{ kN/cm}^2$   
 $\text{erf } A_S = (1143-24^2 \times 0,833) / 20 = 33,2 \text{ cm}^2$