

Brandverhalten bei Spannbeton-Fertigdecken

Neureglementierung der Bemessung

Autoren: Thomas Rüger, Hans Peter Doser

Die Bemessung von Spannbeton-Hohlplatten unter Brandeinwirkung ist neu reglementiert worden. Die Umstellung auf das neue Regelwerk war nicht ohne Komplikationen.

Spannbeton-Fertigdecken (allgemein bekannt als Spannbeton-Hohlplatten) werden seit über 40 Jahren in Deutschland als wirtschaftliche Deckenkonstruktion eingesetzt. Während dieser Zeit wurde das Bauteil nach den Regelungen von DIN 4102 für Stahlbeton-Hohlplatten in Verbindung mit den entsprechenden Regelungen für Spannlitzen und -drähte für die erforderlichen Feuerwiderstandsklassen bemessen. Während der Umstellungsphase der AbZ (Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen) durch das DIBt auf das europäische Regelwerk wurden die Regelungen zum konstruktiven Brandschutz aus den Zulassungen herausgenommen. Der Aufschrei in der Baubranche auch bezüglich der Rechtssicherheit beim Einsatz der Bauteile führte nun kurzfristig zu verschärften Regelungen zur Querkrafttragfähigkeit, die nun eine sichere Bemessung ermöglichen.

Abb. 1 (Bild unten)
Temperaturverlauf

Abb. 2 (Bild ganz unten)
Temperaturverteilung
t = 90 min

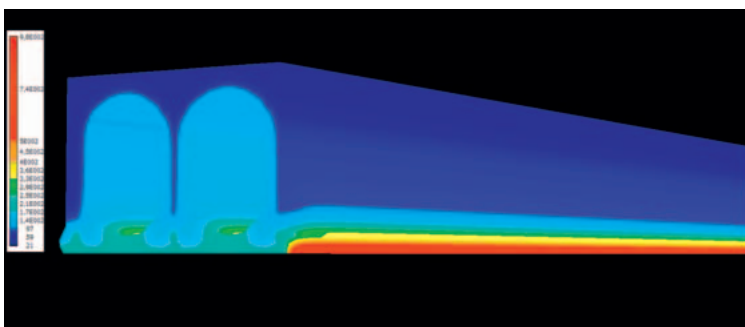
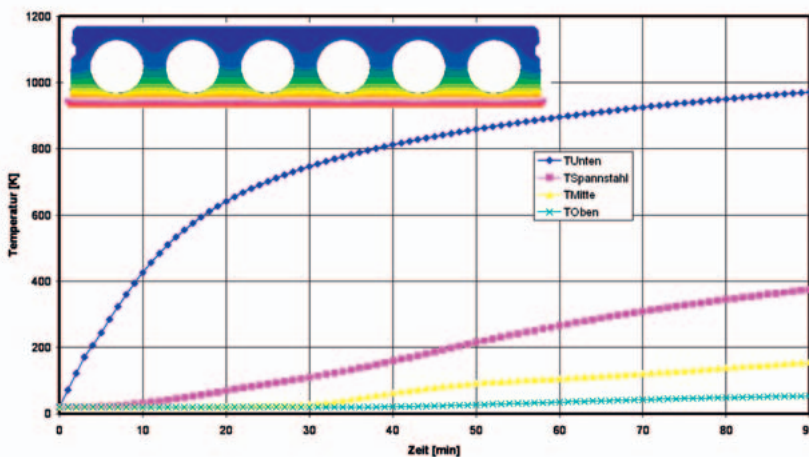
Hintergrund

Der konstruktive Brandschutz von Plattenbauteilen wird in DIN 4102 geregelt. Dabei beschränkt sich die Bemessung auf die Biegetragfähigkeit. Die Querkrafttragfähigkeit von Plattenbauteilen wird im Allgemeinen für den Brandfall nicht betrachtet. Für Spannbeton-Fertigdecken muss diese pauschale Regelung jedoch kritisch betrachtet werden. Diese Bauteile weisen ausschließlich eine Bewehrung aus Spannstahl auf. Damit entfällt die übliche Oberflächenbewehrung aus Betonstahl, die eine zusätzliche Querverteilung ermöglicht. Die Spannkkräfte werden bei dieser Vorspannart durch Verbund auf den Beton übertragen. Dadurch ergeben sich neben den Schubspannungen aus der Querkraft zusätzlich Schubspannungsanteile aus der Spannkrafteinleitung. Damit ergibt sich im Auflagerbereich ein räumlicher Spannungszustand bei gleichzeitig fehlender Betonstahlbewehrung. Die Tragfähigkeit basiert hier im Wesentlichen auf der Zugfestigkeit des Betons. Unter Brandbeanspruchung kommt es nun zu sehr komplexen Dehnungs- und Spannungszuständen in der Decke. Die starke Erhitzung der Plattenunterseite führt zu einer Zwangsbeanspruchung, die sich mit dem nichtlinearen Materialverhalten unter höheren Temperaturen überlagert. Unter hohen Temperaturen ändern sich die Festigkeiten des verbauten Spannstahls und des Betons.

Im Rahmen der Umstellungen der AbZ auf das europäische Regelwerk durch das DIBt wurde diese Fragestellung näher beleuchtet und festgestellt, dass die pauschale Brandschutzregelungen der Plattenbauteile zur Querkrafttragfähigkeit für Spannbeton-Hohlplatten nicht gelten kann. Aufgrund der Historie liegen auch nur sehr wenige Brandversuche zum Querkrafttragverhalten vor, die hier weitere Klärung herbeiführen würden. Die nun in der Zulassung verankerte Regelung stellt eine eindeutige Verschärfung des bisherigen Bemessungsniveaus dar. Die langjährige gute Erfahrung mit Spannbeton-Hohlplatten unter Brandbeanspruchung zeigt, dass hier offenbar keine Sicherheitsdefizite vorhanden waren. Daher trägt die nun gefundene Regelung, dem Forschungsdefizit zum Tragverhalten in diesem Bereich Rechnung. Es sind hier bereits Forschungsvorhaben in Planung, die weitere Aufschlüsse zu dieser Problematik bringen sollen. Es wird damit gerechnet, dass die hieraus gewonnen Erkenntnisse wieder zu einer wirtschaftlicheren Bemessung führen können.

Nachweis zum Tragverhalten unter Brandbeanspruchung gemäß aktueller AbZ (Allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung)

- (1) Die Decken und Dächer aus Spannbeton-Hohlplatten dürfen maximal in die Feuerwiderstandsklasse F 90 eingestuft werden.



(2) Bezüglich der einzuhaltenden Mindestachsabstände u der Spannstahlbewehrung in Abhängigkeit von der Feuerwiderstandsklasse gelten die Ausführungen nach DIN 4102-4, Abschnitt 3.5 (Stahlbeton-hohldielen), Tabelle 14. Beim Einbau der Spann-drähte bzw. Spannlieder ist der Korrekturwert Δu nach DIN 4102-4 bzw. DIN 4102-22, Tabelle 1 vorzusehen, wenn nicht ein Nachweis nach dem all-gemeinen Berechnungsverfahren nach DIN V ENV 1992-1-2 in Verbindung mit DIN Fachbericht 92 geführt wird. Bei diesem Nachweis darf die Abmin-derung von Δu in Abhängigkeit vom Ausnutzungs-grad berücksichtigt werden.

(3) Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft ist auf 60 % der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ nach DIN 1045-1, Gleichung (70) zu reduzieren, wobei die volle Vorspannung berücksichtigt werden darf.

(4) Für den Nachweis der Verankerung der Spann-glieder nach DIN 1045-1, Abschnitt 8.7.6 ist der Bemessungswert der Verbundfestigkeit auf 65 % zu reduzieren. Die hierfür maßgebliche Einwirkung ist $E_{d,fi}$ gemäß DIN V ENV 1992-1-2 oder E_{dA} gemäß DIN 4102-22.

(5) Eine Auflagerung auf biegeeweiche Träger ist nur unter folgenden Randbedingungen zulässig:

1. Es muss der Nachweis erbracht werden, dass die Durchbiegung des Auflagerträgers unter Brandein-wirkung entsprechend der Einheits-Temperaturzeit-kurve (ETK) für die angenommene Feuerwider-standsdauer den Wert $l/100$ nicht überschreitet. Die hierfür maßgebliche Einwirkung ist $E_{d,fi}$ gemäß DIN V ENV 1992-1-2 oder E_{dA} gemäß DIN 4102-22.

2. Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft ist wie folgt zu begrenzen:

$$V_{Ed} < 50 \% v_{Rd,ct} \text{ (Hauptspannungsgleichung nach AbZ)}$$

$$v^{Ed} < 60 \% v_{Rd,ct} \text{ (Gl. 70 nach DIN 1045-1). Der kleinere Wert ist maßgebend.}$$

3. Das reduzierte Verankerungsverhalten ist nach Ab-schnitt (4) zu berücksichtigen.

(6) Folgende konstruktive Regelungen sind zu beachten:

1. Es ist umlaufend ein Ringanker mit mindestens $2\varnothing 14$ BSt 500 anzuordnen.
2. Aussparungen in den Decken bzw. Dächern sind konstruktiv so auszuführen, dass die unter Brandein-

wirkung zusätzlich auftretenden Querdehnungen der Platten behindert werden.

Beispielberechnung

Die neuen Brandschutzregelungen werden innerhalb der statischen Nachweisführung angewendet und an einer Beispielrechnung aufgezeigt.

Die Widerstandswerte:

Hohlplattendecke VMM-L-EPD 32 ZP5D

Stützweite $l_0 = 12,0 \text{ m}$

Belastung Eigengewicht $g_{k,1} = 4,60 \text{ kN/m}^2$

Ausbauast $g_{k,2} = 1,50 \text{ kN/m}^2$

Verkehrslast $q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$



Abb. 3 (Bild links)
Querschnitt
VMM-L-EPD 32 ZP5D

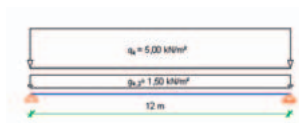


Abb. 4 (Bild links)
Statisches System

Die Nachweise im »Kaltzustand« sind erfüllt, auf die Nachweisführung wird hier verzichtet.

Die Nachweise im Brandfall umfassen nach Zulassung Abs. II-3.13:

- a) Nachweis der Biegetragfähigkeit nach DIN 4102 (Zulassung Abs. (2))
- b) Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Zulassung Abs. (3))
- c) Nachweis der Endverankerung (Zulassung Abs. (4))

a) Nachweis der Biegetragfähigkeit

Die Biegetragfähigkeit unter Brandbeanspruchung wird in DIN 4102 geregelt. Dabei wird der Achsabstand der unteren Litztenlage von der bebrannten Oberfläche beurteilt. (Abb. 5)

Abb. 5 (rechts)
Berechnungsbeispiel: Nachweis der Biegetragfähigkeit

Abb. 6 (Bild gegenüber)
Querkraftverlauf

Vorhandener Achsabstand der unteren Spanngliedlage zur Unterkante Platte:

$$u_{\text{unten}} = 45 \text{ mm}$$

Erforderlicher Achsabstand

$$\text{DIN 4102-22 Tabelle 1} \quad \min u = 35 \text{ mm}$$

$$\text{DIN 4102-4 Tabelle 1} \quad \Delta u (\Theta_{cr} = 350^\circ) = 15 \text{ mm}$$

ohne weiteren Nachweis: $u = 50 \text{ mm}$

Ermittlung der Spannungsausnutzung im Brandfall

DIN 4102-22 3.1.3.2

$$\frac{\sigma_{s,fi}}{f_{pk(20^\circ C)}} = \frac{E_{fi,d,t}}{E_d} \cdot \frac{1}{\gamma_p} \cdot \frac{A_{p,erf}}{A_{p,vorh}}$$

Belastungsverhältnis

ständige Lasten	$g_k =$	6,06 kN/m ²
veränderliche Lasten	$q_k =$	5,00 kN/m ²
	$e_{d,ULS} =$	15,68 kN/m ²

$$\begin{aligned} \text{DIN 4102-22 Gl (1)} \quad E_{fi,d,t} &= \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_1 \cdot Q_k \\ =_{erf,d,t} &= \gamma_{GA} \cdot g_k + \psi_1 \cdot q_k \\ &= 1,0 \cdot 6,06 + 0,5 \cdot 5 = 8,56 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$e_{fi,d,t} / e_d = 0,55$$

Ausnutzung der Bewehrung

$$\begin{aligned} A_{s,erf} / A_{s,vorh} &\approx M_{d,ULS} / M_{Rd} \\ &= 282 \text{ kNm/m} / 319 \text{ kNm/m} = 0,89 \end{aligned}$$

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_p = 1,15$

Spannungsausnutzung:

$$\sigma_{s,fi} / f_{pk} = 0,55 / 1,15 \cdot 0,89 = 0,42$$

Ermittlung der kritischen Temperatur

DIN 4102-22 Bild 1 $\text{crit } T = 440 \text{ }^\circ\text{C}$

Ermittlung der Korrektur

DIN 4102-22 3.1.3.2 Gl (1)

$$\begin{aligned} \Delta u &= \text{crit } \Delta T \cdot 10 \text{ mm} / 100 \text{ K} \\ &= (440 - 350^\circ\text{C}) \cdot 10 \text{ mm} / 100 \text{ K} = 9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nachweis des Achsabstandes für den Brandschutz

$$\text{DIN 4102-22 Tabelle 1} \quad \min u = 35 \text{ mm}$$

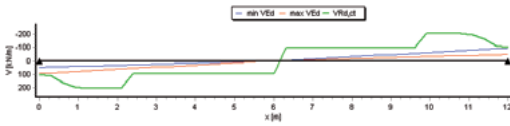
$$\text{DIN 4102-4 Tabelle 1} \quad + \Delta u (T_{cr}=350^\circ) = 15 \text{ mm}$$

$$- \Delta u (T_{cr}) = 9 \text{ mm}$$

$$\text{erf } u = 41 \text{ mm}$$

$$< \quad \text{vorh } u = 45,0 \text{ mm}$$

Nachweis erbracht!



b) Nachweis der Querkrafttragfähigkeit

Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit für gerissene Querschnittsbereiche nach DIN 1045-1 GI (70) unter Berücksichtigung der vollständig aufgebrachten Vorspannkraft:

$$V_{Rd,ct,2} = [0,1\kappa \cdot \eta_1 \cdot (100\rho_f \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12\sigma_{cd}] b_w \cdot d = 97,1 \text{ kN/m}$$

- mit:
- $\kappa = 1,86$
 - $\rho_f = 0,0118$
 - $f_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$
 - $\sigma_{cd} = -4,46 \text{ N/mm}^2$
 - $b_w = 346 \text{ mm}$
 - $d = 273 \text{ mm}$

Die einwirkende Kraft muss im Abstand d vom Auflager ermittelt werden. Dabei gilt nach DIN 1055 für den Brandfall die häufige Einwirkungskombination:

$$V_{Ed,fi} = V_{Ed,freq} = 8,56 \text{ kN/m}^2 \cdot (12,0\text{m}/2 - 0,275\text{m}) = 49,0 \text{ kN/m}$$

Querkraftnachweis:

$$0,6 \cdot V_{Rd,ct,2} = 0,6 \cdot 97,1 \text{ kN/m} = 58,3 \text{ kN/m} > 49,0 \text{ kN/m}$$

Nachweis erbracht

c) Nachweis der Endverankerung

Der Nachweis der Verankerung im Brandfall ist in der Regel nicht maßgebend, da er stets günstiger ist, als der Nachweis im Kaltfall. Grundsätzlich gilt zum Nachweis der Verankerung, dass dieser nur dann relevant wird, wenn eine rechnerische Rissbildung innerhalb l_{ba} auftritt. Da sich die einwirkende Kraft auf etwa 60 % bis 70 % des Kaltfalls reduziert (vgl. $\eta_{fi} = 0,6$ bzw. $0,7$ (ENV 1992-1-2 2.4.3(5))), kann in der Regel ein Biegeriss im Verankerungsbereich ausgeschlossen werden. Somit ist die prozentuale Ausnutzung der Biegetragfähigkeit im Brandfall in der Regel geringer als im Kaltfall und damit auch die Verbundspannung. Die Linie der einwirkenden Zugkraft wird damit ohne Versatz verlaufen und stets unterhalb der Widerstandslinie bleiben.

Literatur

- [1] Z-15.10-276 : Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung von Spannbeton-Hohlplatten nach DIN EN 1168:2008-10 und DIN 1045-1:2008-08 System VMM – Deutsches Institut für Bautechnik
- [2] Brandverhalten von Spannbeton-Hohlplatten unter Brandeinwirkung von Dr. Kerkeni, H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen, 2010
- [3] Schubtragfähigkeit von Spannbetonfertigdecken von Arnold van Acker, Artikel - BWI – BetonWerk International, Heft 1, Februar 2010



Thomas Rüger (1972) machte zunächst in Köln eine Ausbildung zum Bauzeichner bevor 1994 an der FH Köln sein Bauingenieurstudium begann. Parallel dazu war er bei der Echo Betonteile GmbH in Frechen tätig. Nach seinem Diplom 1999 war er zunächst als Ingenieur selbstständig. 2001 wurde er bei der Firma Echo als Statiker in leitender Funktion angestellt. Zudem ist er seit 2005 als technischer Obmann Vorsitzender der Forschungsgesellschaft VMM.



Hans Peter Doser (1973) machte zwischen 1992 und 1994 eine Lehre als Zimmermann und war danach als solcher tätig. Von 1996 bis 2002 studierte er Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Direkt nach Abschluss wurde er vom damaligen Ingenieurbüro Hegger und Partner angestellt, das 2005 in die H+P Ingenieure GmbH & Co. KG übergegangen ist. 2007 wurde er dort Projektleiter.