

# Verbesserung des Nachbruchverhaltens von ultrahochfesten Betonen durch Stahlfasern

## Improvement of the Post Fracture Behaviour of UHPC by Fibres

Empelmann, Martin; Teutsch, Manfred; Steven, Guido

### Abstract

The development of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) spreads the application range of RC-constructions considerably. Due to the brittle material behaviour of UHPC at the ultimate compressive and tensile strength the addition of steel fibres to the concrete mix is recommended in order to obtain a more ductile material behaviour, leading to Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC). Research work has been carried out in regard to the improvement of cost-effectiveness and sustainability of these UHPFRC mixes.

### 1. Einleitung

Heute sind ultrahochfeste Betone (UHFB) bzw. Ultra High Performance Concrete (UHPC) mit Druckfestigkeiten von bis zu 200 MPa zielsicher herstellbar. Allerdings versagen auf Druck beanspruchte Proben aus ultrahochfestem Beton beim Erreichen der Tragfähigkeit ohne Vorankündigung, quasi explosionsartig. Bild 1 zeigt die in der Prüfmaschine verbliebenen Reste eines Zylinders aus UHPC 145 ohne Stahlfasern nach dem Bruch. Auch das Versagen auf Zug ist, wie bei allen Betonen, bei UHPC sehr spröde.



BILD 1 Probekörper aus UHPC 145 nach dem Versuch

Das zuvor im Druck- und Zugbereich beschriebene spröde Versagen kann durch Zugabe von Stahlfasern verringert bzw. verhindert werden. Ultrahochfester Stahlfaserbeton wird als UHPFRC (Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete) bezeichnet und weist bei

ausreichender Stahlfaserzugabe ein duktileres Nachbruchverhalten auf.

Um die bezüglich Wirtschaftlichkeit und Verarbeitbarkeit optimale Stahlfaserzugabe zu bestimmen, wurden am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Fachgebiet Massivbau, der TU Braunschweig im Rahmen des Schwerpunktprogramms SPP 1182 „Nachhaltiges Bauen mit ultrahochfestem Beton (UHPC)“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) neun hinsichtlich Faserzugabemenge und Faserlänge unterschiedliche Varianten eines UHPFRC 150 untersucht.

### 2. Untersuchte Betone

Ausgehend von der UHPFRC150-Mischung B4Q-0, die als Referenzmischung im Schwerpunktprogramm SPP 1182 „Nachhaltiges Bauen mit ultrahochfestem Beton (UHPC)“ verwendet wird, zeigen die Bilder 2 und 3 die Rezeptur und die Mischungsvarianten B4Q-0 bis B4Q-8.

UHPFRC 150	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[kg/dm <sup>3</sup> ]
CEM-I 52,5 R HS-NA	650,00	3,10
ELKEM Microsilica Grade 983	177,00	2,20
Quarzsand 0,125/0,50 mm	354,00	2,65
Quarzmehl I	325,00	2,65
Quarzmehl II	131,00	2,65
Basalt 2/5	298,50	3,06
Basalt 5/8	298,50	3,06
Wasser	158,00	1,00
FM Glenium 51	30,40	1,11

BILD 2 Betonrezeptur

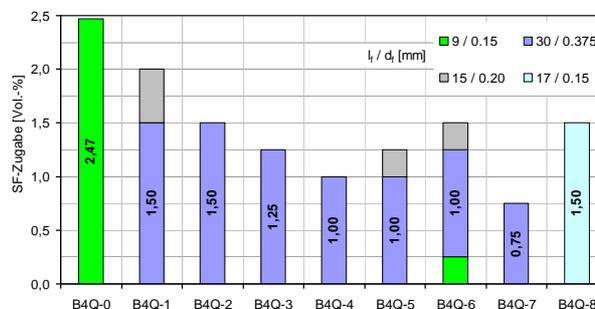


BILD 3 Untersuchte Faserzugaben

### 3. Zugtragverhalten

Die Erfassung des Zugtragverhaltens erfolgt indirekt über Biegezugversuche (Vierpunktversuch). In Bild 4 ist das Kraft-Durchbiegungsverhalten der Biegebalken aus den Varianten B4Q-0 bis B4Q-8 zusammengefasst.

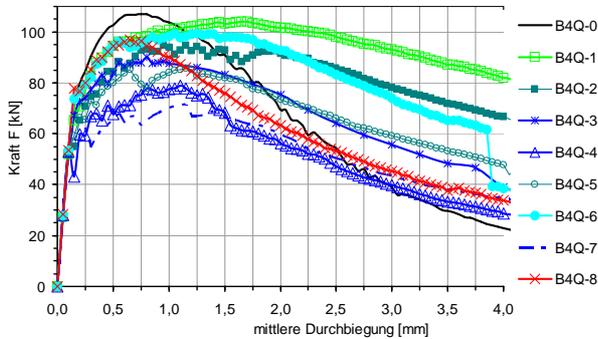


BILD 4 Kraft-Durchbiegung im Vierpunkt-Biegeversuch

Bild 5 stellt für die Betone B4Q-0, B4Q-1, B4Q-3 und B4Q-8 die charakteristischen Nachrissbiegezugfestigkeit nach dem DAfStb-Richtlinienentwurf „Stahlfaserbeton“ dar und zeigt, dass bei kurzen Fasern (B4Q-0 mit 2,47 Vol.-% 9 mm Fasern) die Nachrissbiegezugfestigkeiten für größere Verformungen  $f_{x, \text{effk}, 3.5}^f$  stark abfällt. Dagegen zeigt Mischung B4Q-3 mit einer Faserlänge von 30 mm, jedoch nur 1,25 Vol.-% Stahlfasern, einen deutlich geringeren Abfall.

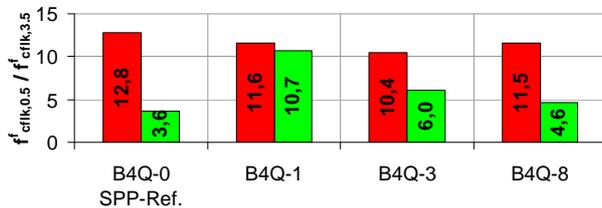


BILD 5 Nachrissbiegezugfestigkeit aus Vierpunktbiegeversuchen

### 4. Drucktragverhalten

Das Druckspannungs-Stauchungsverhalten wurde, wie in Bild 6 dargestellt, an Zylindern  $\varnothing 150 \cdot 300$  mm ermittelt.

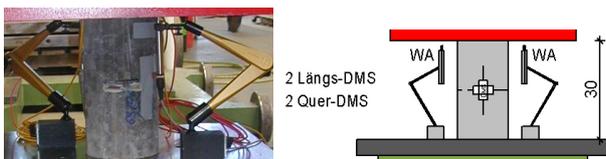


BILD 6 Versuchsaufbau Druckprüfung

Die Druckfestigkeit der Betone in Bild 7 variiert in Abhängigkeit der Faservariation zwar nur gering; bei längeren Fasern ist jedoch ein ca. 5 - 10%iger Abfall im Vergleich zur Referenzmischung B4Q-0 mit 9 mm langen Fasern zu beobachten.

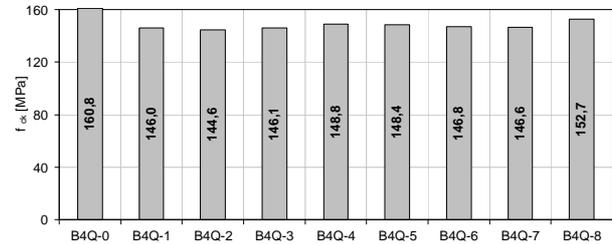


BILD 7 Druckfestigkeit der untersuchten Mischungen

Bild 8 zeigt die im Versuch ermittelten Spannungs-Stauchungsbeziehungen der Varianten B4Q-0, B4Q-3 und B4Q-8. Hier weist B4Q-3 trotz einer um 50% reduzierten Stahlfaserzugabemenge (1,25 statt 2,47 Vol.-%) ein dem B4Q-0 vergleichbares Nachbruchverhalten auf.

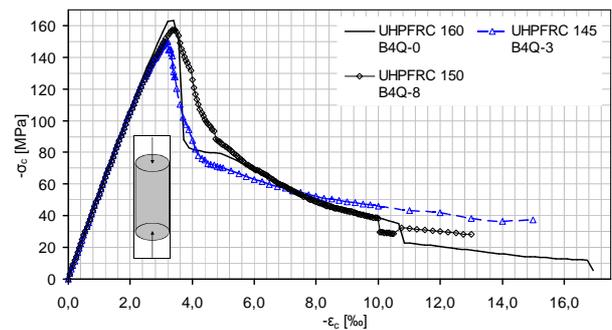


BILD 8 Druckspannungs-Stauchungsverhalten

### 5. Schlussfolgerungen

Die experimentellen Untersuchungen zum Tragverhalten von ultrahochfestem Beton haben gezeigt, dass das Nachbruchverhalten durch eine Stahlfaserzugabe signifikant verbessert werden kann. Im Vergleich zu den bisher üblichen 2 bis 3 Vol.-% bei Faserlängen bis 9 mm kann durch den Einsatz von Fasern mit 30 mm Länge die erforderliche Zugabemenge auf ca. 1,25 Vol.-% reduziert werden.

### 6. Literaturverzeichnis

- /1/ Empelmann, M. ; Teutsch, M. ; Steven, G.: Improvement of the post fracture behaviour of UHPC by fibres. In: proceedings of the 2nd international UHPC-symposium ; Kassel S.177-184.