

Ultrahochfester Beton unter Torsionsbeanspruchung

Ultra-High Performance Concrete under Torsion

Empelmann, Martin; Oettel, Vincent

Abstract

The achievable compression strength of UHPFRC as well as the enormous durability gives engineers the possibility to design and construct innovative thin-walled elements, which are weight-optimized and advantageous in regard to transport and installation on site. Under loadings such components are not only stressed by bending and shear, but also torsion. Experimental and theoretical studies on monolithic UHPFRC box girders were conducted at the iBMB of the TU Braunschweig, because the torsional bearing capacity of UHPFRC components is neither regulated in /2/ nor in /3/. The target of the studies was the determination of the load-bearing capacity of the tension tie under consideration of the steel fibre part of UHPFRC under pure torsion.

1 Einführung

Ultrahochfester Beton (UHPC) zeichnet sich neben seiner hohen Druckfestigkeit auch durch eine sehr hohe Dauerhaftigkeit aus. Zur Erhöhung der Robustheit und Duktilität werden dem ultrahochfesten Beton Stahlfasern zugegeben (UHPFRC). So lassen sich innovative dünnwandige Bauelemente herstellen, die die Anforderungen an die Nachhaltigkeit optimal erfüllen. Sehr erfolgversprechende Anwendungsgebiete sind weitgespannte Tragelemente im Brücken- und Industriebau sowie Fertigteiltürme oder -maste. Kennzeichnend für derartige Bauteile ist, dass neben einer Biege- und Querkraftbeanspruchung auch eine Torsionsbeanspruchung aus planmäßigen oder unplanmäßigen Einwirkungen zu berücksichtigen ist. Im Rahmen eines vom DFG geförderten Forschungsvorhabens wurde am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Fachgebiet Massivbau, der TU Braunschweig das Torsionstragverhalten von UHPC-Bauteilen grundlegend untersucht, da hierzu experimentell noch keine Erfahrungen vorliegen und weder in /2/ noch in /3/ ein Bemessungskonzept angegeben wird. Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung des Zugstrebenanteils der Stahlfasern im UHPFRC bei reiner Torsionsbeanspruchung.

2 Versuchskörper und Versuchsaufbau

Die experimentellen Untersuchungen zur Erfassung des Stahlfaseranteils an der Torsionstragfähigkeit von faser- und kombiniert bewehrten Bauteilen erfolgten an monolithischen Balken mit Hohlkastenquerschnitt. Die Außenabmessungen beliefen sich auf $l/b/h = 335/50/50$ cm und die Wandstärke des Hohlkastens betrug in der Balkenmitte (Prüfbereich) 5 cm. In der Tabelle 1 sind die Details der Längs- und Bügelbewehrung der einzelnen Versuchskörper für den mittleren Balkenbereich dargestellt. Die Betondeckung betrug jeweils 1,0 cm.

TABELLE 1: Bewehrungsdetails der Versuchskörper

Versuch	Längsbewehrung	Bügelbewehrung	Fasergehalt [Vol.-%]
V1	-	-	2.50
V2	-	-	1.25
V3	12 \emptyset 12	\emptyset 12 / 21	1.25
V4	12 \emptyset 12	\emptyset 12 / 21	0.00

Zur Einleitung des Torsionsmoments wurden an den Enden der Versuchskörper steife Torsionshebel angebracht und zur Sicherstellung einer freien Verdrehung um den Schubmittelpunkt spezielle Torsionslager verwendet (Bild 1).



BILD 1 Versuchsaufbau

3 Versuchsergebnisse

In Bild 2 sind die Torsionsmomenten-Verdrillungs-Kurven der Versuche V1 - V4 dargestellt. Die faserbewehrten Versuchskörper V1 und V2 konnten oberhalb der Torsionsrisslast keine Laststeigerung erreichen und versagten unter Ausbildung weniger Risse. Der Kurvenverlauf des konventionell bewehrten Versuchskörpers V4 entspricht dem Verlauf eines konventionell bewehrten Versuchskörpers aus Normalbeton mit den drei charakteristischen Phasen: „ungerissener Zustand I“, „gerissener Zustand II“ und „Fließen der Bewehrung“. Beim kombibewehrten Versuchskörper V3 trat nur die Phase „ungerissener Zustand I“ und eine Kombination aus „gerissener Zustand II“ und „Fließen der Bewehrung“ auf. Ferner konnte bei V3 im Vergleich zu V4 eine fast doppelt so hohe Traglast durch die Zugabe von Stahlfasern erreicht werden.

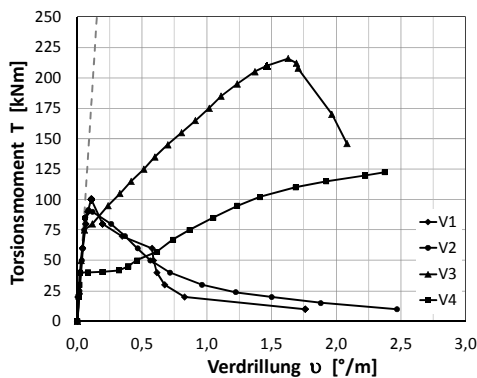


BILD 2 Torsionsmomenten-Verdrillungs-Kurven V1 - V4

4 Bemessungsansatz

Die Torsionsrisslast bzw. die Torsionstragfähigkeit der Versuche V1 und V2 kann gemäß /1/ mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$T_{Rk,sy,f} = f_{ctm} \cdot t_{eff} \cdot 2 \cdot A_k \quad (1)$$

Die Tragfähigkeit des kombibewehrten Versuchskörpers V3 setzt sich entsprechend /1/ aus der Addition der Torsionstragfähigkeit der Bewehrung $T_{Rk,sy,s}$ und der Torsionstragfähigkeit der Stahlfasern $T_{Rk,sy,f}$ zusammen (Gl. (2) und Gl. (5)). Gleichung (2) gilt für die Torsionstragfähigkeit in Längsrichtung und Gleichung (5) für die Torsionstragfähigkeit in Querrichtung. Für den Traganteil der Bewehrung können die Gleichungen nach /4/ verwendet werden (s. Gleichung (4) und (7)) und für die Traganteile der Fasern die Gleichungen (3) und (6) nach /1/. Die in den Gleichungen (3) und (6) anzusetzende zentrische Zugfestigkeit des Stahlfaserbetons $f_{ct,f}$ kann entsprechend /3/ bestimmt werden.

$$T_{Rk,sy,l} = T_{Rk,sy,fl} + T_{Rk,sy,sl} \quad (2)$$

mit $T_{Rk,sy,fl} = f_{ct,f} \cdot t_{eff} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \tan \theta \quad (3)$

und $T_{Rk,sy,sl} = a_{sl} \cdot f_y \cdot 2 \cdot A_k \cdot \tan \theta \quad (4)$

$$T_{Rk,sy,w} = T_{Rk,sy,fw} + T_{Rk,sy,sw} \quad (5)$$

mit $T_{Rk,sy,fw} = f_{ct,f} \cdot t_{eff} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \quad (6)$

und $T_{Rk,sy,sw} = a_{sw} \cdot f_y \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \quad (7)$

Beim konventionell bewehrten Balken V4 können die Gleichungen (5) und (7) nach /4/ zur Ermittlung des aufnehmbaren Torsionsmoments verwendet werden.

Bild 3 zeigt die Torsionsmomenten-Verdrillungs-Kurven der einzelnen Versuche sowie die Auswertung der oben dargestellten Bemessungsansätze, wobei eine gute Übereinstimmung mit den rechnerischen Ansätzen festgestellt werden kann.

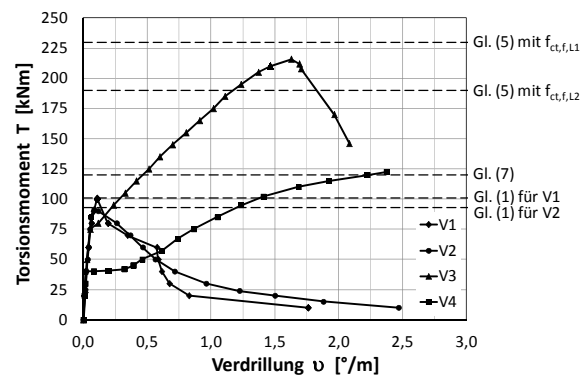


BILD 3 Torsionsmomenten-Verdrillungs-Kurven und theoretische Ergebnisse der Versuche V1 - 4

5 Literatur

- /1/ EMPELMANN, M.; OETTEL, V.: UHPFRC BOX GIRDERS UNDER TORSION, 3RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE, KASSEL, GERMANY, 2012.
- /2/ DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON: SACHSTANDSBERICHT – ULTRAHOCHFESTER BETON. DAFStB 561, BERLIN, 2008.
- /3/ DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON: DAFStB-RICHTLINIE – STAHLFASERBETON. BERLIN, 2009.
- /4/ DIN 1045-1: TRAGWERKE AUS BETON, STAHLBETON UND SPANNBETON – TEIL 1: BEMESSUNG UND KONSTRUKTION, AUGUST 2008.