

# Spaltversagen von vermörtelten UHPC-Segmentfugen

## Splitting Failure of Grouted Joints Between UHPC Segments

Empelmann, M.; Wichert, M.; Matz, H.

### Abstract

In comparison to conventional construction methods, segmental constructions made of ultra-high performance concrete (UHPC) offer numerous advantages, such as fast manufacturing and high quality segments. In addition to dry and adhesive joints, grouted segment joints can be used, enabling a certain tolerance compensation and reduction of stress concentrations. The load-bearing behaviour of segmental UHPC components has been investigated on slant shear tests at iBMB, Division of Concrete Construction of TU Braunschweig. In addition to shear and compression failure, some tests showed a sudden splitting of the test specimens, which significantly reduced the load-bearing capacity. Based on extensive numerical investigations decisive influences of the joint design regarding the splitting failure mode were quantified. Finally, first recommendations for the design of grouted segment joints are formulated.

### 1. Einleitung

Im Vergleich zu konventionellen Herstellungsmethoden bietet die Segmentbauweise eine Reihe von Vorteilen. Diese liegen mitunter in der Verkürzung der Bauzeit oder der hohen Ausführungsqualität der Segmente. Dabei kann der Einsatz von Hochleistungsmaterialien wie z. B. ultrahochfestem Beton (UHPC) zu gewichts- und strukturoptimierten Konstruktionen führen, die äußerst wirtschaftlich sind und eine hohe Dauerhaftigkeit sowie Robustheit aufweisen. Der Segmentfuge kommt hinsichtlich der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit eine große Bedeutung zu. Neben Klebe- und Trockenfugen können auch vermörtelte Segmentfugen eingesetzt werden, mit denen Toleranzen ausgeglichen sowie Spannungsspitzen abgebaut werden können.

### 2. Experimentelle Untersuchungen

Das Tragverhalten von mit hochfestem Mörtel (HPM) vergossenen UHPC-Segmentfugen wurde mit Schub-Druck-Versuchen experimentell untersucht. Für die Untersuchungen wurden zwei Serien Schub-Druck-Versuche mit variablem Fugenneigungswinkel herangezogen, die sich hinsichtlich der Oberflächeneigenschaften der Kontaktflächen unterschieden. Die Serie SD-G.3 (Bild 1a)) wies eine sandgestrahlte Oberfläche auf, wohingegen die Oberflä-

che der Serie SD-T.3 durch Trapezleisten profiliert wurde (Bild 1b)).

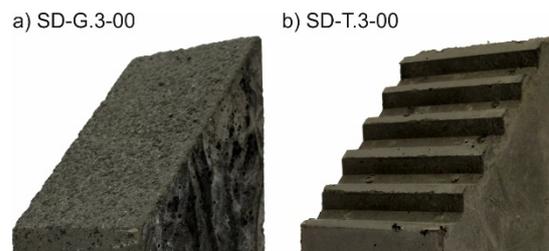


Bild 1: Oberflächeneigenschaften der Versuchskörper

Alle Versuchskörper zeigten ein sehr sprödes Versagen ohne Vorankündigung. Neben den allgemein bekannten Schub- und Druckversagen zeigte sich eine weitere Versagensart, die durch ein vorzeitiges, schlagartiges Spalten der Versuchskörper gekennzeichnet war. Für Serie SD-G.3 konnte ein Druckversagen bis zu einem Fugenneigungswinkel von  $47,5^\circ$  beobachtet werden. Diese Versagensart trat auf, wenn die Druckfestigkeit des HPM erreicht wurde. Für die Versuchskörper der Serie SD-T.3 zeigte sich ein Spaltversagen, welches durch das Überschreiten der Zugfestigkeit des UHPC ausgelöst wurde. Bild 2 zeigt die Aufnahmen einer Hochgeschwindigkeitskamera zum Zeitpunkt des Versagens sowie die Rissbilder. Das Druckversagen (Bild 2a)) zeigte sich durch große Abplatzungen innerhalb des HPM, was schließlich auch zu einem sekundären Versagen der UHPC-Segmente führte. Das Spaltversagen (Bild 2b)) ist dagegen durch große, schlagartig auftretende vertikale Risse gekennzeichnet, die sich in dem gesamten Versuchskörper ausbilden.

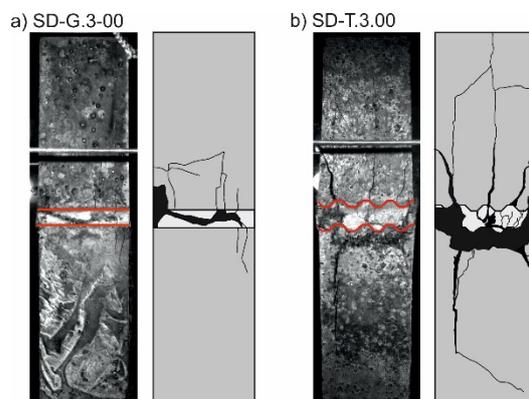


Bild 2: Druckversagen und Spaltversagen

Die Ergebnisse weiterer Versuche können /1/, /2/ und /3/ entnommen werden.

### 3. Numerische Untersuchungen

Zur numerischen Untersuchung des Tragverhaltens von vermörtelten Segmentfugen wurde ein FE-Modell entwickelt, welches anhand der Versuchsergebnisse validiert wurde. Die experimentell ermittelten Traglasten konnten in sehr guter Näherung nachgerechnet sowie die auftretenden Versagensarten nachvollzogen werden. Bild 3 zeigt die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen. Die Nachrechnung des Versuchskörpers SD-G.3-00 (Bild 3a)) zeigt ein Druckversagen, sobald die einaxiale Druckfestigkeit des HPM erreicht wird ( $\sigma_{xx} = f_{cm,HPM} \approx 116 \text{ N/mm}^2$ ). Für den Versuchskörper SD-T.3-00 zeigt sich ein Spaltversagen (Bild 3b)), wenn in horizontaler Richtung die Zugfestigkeit des UHPC erreicht wird ( $\sigma_{yy} \geq f_{ct,UHPC} \approx 5,9 \text{ N/mm}^2$ ).

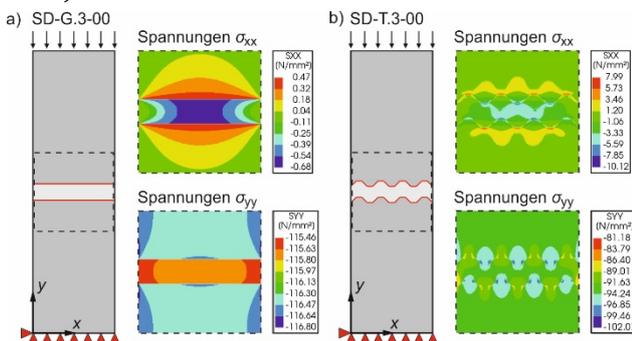


Bild 3: Ergebnisse der numerischen Berechnungen

Mit Hilfe des FE-Modells wurde anschließend eine Parameterstudie durchgeführt mit dem die maßgebenden Einflüsse auf das Spaltversagen quantifiziert wurden. Neben dem Einfluss verschiedener Materialkennwerte oder der Fugendicke wurden v. a. Einflüsse aus der „Feinheit“ (Variation des Achsabstands der Trapeze  $s$ ) sowie der Form der Profilierung (rechteckig bei  $a/b = 1,0$  und dreieckig bei  $a/b = 0$ ) untersucht. Für die Parameterstudie wurde ein Verhältnis der Druckfestigkeiten und E-Moduln von HPM zu UHPC von  $\beta_{fcm} = \beta_{Ecm} \approx 0,8$  gewählt.

In Bild 4 ist zu erkennen, dass die Tragfähigkeit einer vermörtelten Segmentfuge mit zunehmender Feinheit der Profilierung zunimmt und sich die Spaltneigung verringert.

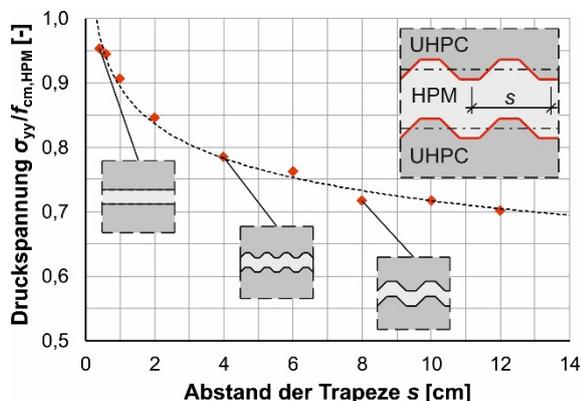


Bild 4: Einfluss der „Feinheit“ der Profilierung

Bild 5 zeigt, dass die Neigung zum Spalten durch eine dreieckige Profilierung verstärkt wird. Eine rechteckige Profilierung weist dagegen eine höhere Tragfähigkeit auf.

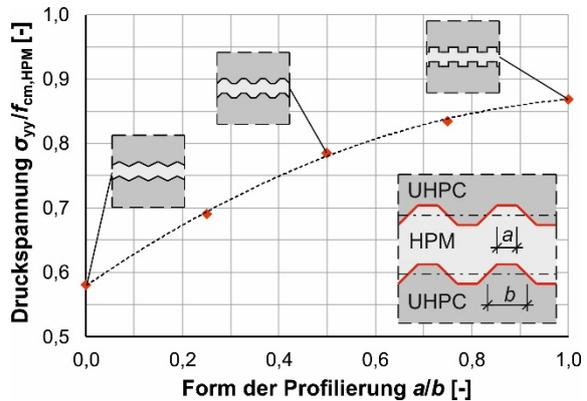


Bild 5: Einfluss der Form der Profilierung

### 4. Erste Empfehlungen zur konstruktiven Durchbildung von Segmentfugen

Auf Grundlage der experimentellen und numerischen Untersuchungen können erste Empfehlungen für die konstruktive Durchbildung von vermörtelten UHPC-Segmentfugen unter hohen Normalspannungen gegeben werden:

- Die Profilierung muss entsprechend der Fugenbeanspruchung erfolgen. Zur Reduzierung der Spaltneigung sollte eine möglichst feine Profilierung verwendet werden. Mit einem Achsabstand der Trapeze von  $s = 2 \text{ cm}$  können 85 % der Mörteldruckfestigkeit ausgenutzt werden.
- Hohe Spannungskonzentrationen, die durch die Geometrie der Profilierung ausgelöst werden, erhöhen die Spaltneigung. Mit einem baupraktisch geeigneten Verhältnis von  $0,5 \leq a/b \leq 0,8$  können zwischen 80 % und 85 % der Mörteldruckfestigkeit ausgenutzt werden.

### 5. Literatur

- /1/ Wichert, M.; Matz, H.; Empelmann M.: Grouted Segment Joints for Structures made of Ultra-High Performance Concrete. In: Proceedings of the fib Symposium 2019, Krakow, 2019, pp. 2231-2238.
- /2/ Matz, H.; Wichert, M.; Empelmann, M.: Numerical Investigations on Grouted Segment Joints for UHPC-Structures. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on SEMC, Cape Town, 2019, pp. 1421-1426.
- /3/ Empelmann, M.; Wichert, M.; Matz, H.: Spaltversagen von vermörtelten UHPC-Segmentfugen. In: Bauingenieur 95 (2020), Heft 2.