

Kerbempfindlichkeit von ultrahochfestem Beton

Notch Sensitivity of Ultra High Performance Concrete

Hermerschmidt, W.; Budelmann, H.

Abstract

Within the framework of the Priority Program 1542 "Concrete Light", supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), investigations on the development of new jointing systems for lightweight UHPC structures are carried out on iBMB. The exact knowledge of the material properties is of particular importance for the efficient design of such lightweight concrete structures. Existing studies have shown that the notch sensitivity of normal concrete is negligible because of its inhomogeneous structure. Experimental investigations at iBMB show that this context is not valid for Ultra-high Performance Concrete (UHPC). In contrast to normal concrete, UHPC shows a significant notch sensitivity that has to be considered for the design of complex geometries.

1. Einführung und Motivation

Im Rahmen des von der DFG geförderten Schwerpunktprogramms „Leicht Bauen mit Beton“ wird am iBMB die Entwicklung neuartiger Verbindungen für geometrisch komplexe Flächen- und Stabwerkselemente aus ultrahochfestem Beton (UHPC) untersucht. Ein wichtiger Schwerpunkt dieses Forschungsprojekts ist das werkstoffgerechte Konstruieren mit ultrahochfestem Beton, was erst durch die genaue Kenntnis der Werkstoffeigenschaften möglich wird. Besonders die Kerbempfindlichkeit des Werkstoffs ist beim Entwurf komplexer Formen von großem Interesse.

2. Grundlagen

Ein Material gilt als kerbempfindlich, wenn die auf die Nettofläche bezogene Festigkeit eines gekerbten Körpers deutlich geringer ist als die eines ungekerbten. Dieser Zusammenhang gilt in der Regel für homogene Materialien wie z.B. Metalle. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass auch Zementstein, Mörtel und Beton eine Kerbanfälligkeit aufweisen, die jedoch mit zunehmenden Größtkorndurchmesser abnimmt und ab einem Größtkorndurchmesser von etwa 4 mm nicht mehr messbar ist /1/, vgl. Bild 1.

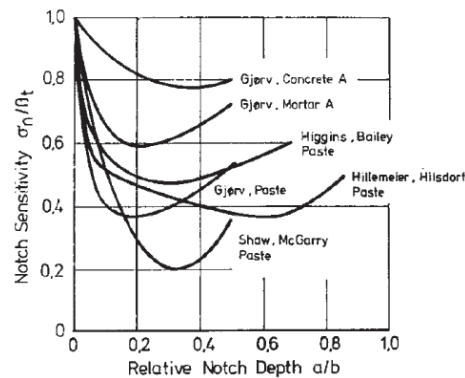


Bild 1: Kerbempfindlichkeit von Zementleim, Mörtel und Beton; aus /1/

3. Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden an einem Feinkorn-UHPC mit einem Größtkorndurchmesser von 0,5 mm durchgeführt, dessen Zusammensetzung in Tabelle 1 gegeben ist. Der Beton erreicht eine Zylinderdruckfestigkeit von $f_{cc} = 151,5$ MPa.

Tabelle 1: Zusammensetzung des untersuchten UHPC

Zement CEM I 52,5 R HS-NA	595 kg/m ³
Mikrosilica	69 kg/m ³
Quarzmehl I	314 kg/m ³
Quarzmehl II	119 kg/m ³
Quarzsand	1029 kg/m ³
Mikrostahlfasern	192 kg/m ³
Fließmittel	40 kg/m ³
Wasser	156 kg/m ³

Die Kerbempfindlichkeit wurde mit Hilfe von 4-Punkt-Biegezugversuchen an Balken mit verschiedenen Kerbformen und -tiefen untersucht. Der Versuchsaufbau ist in Bild 2 dargestellt.

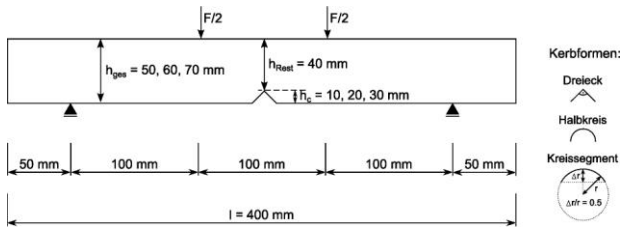


Bild 2: Versuchsaufbau

4. Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse bestätigen die Annahme, dass Feinkorn-UHPC eine deutlich messbare Kerbanfälligkeit zeigt, vgl. Bild 3.

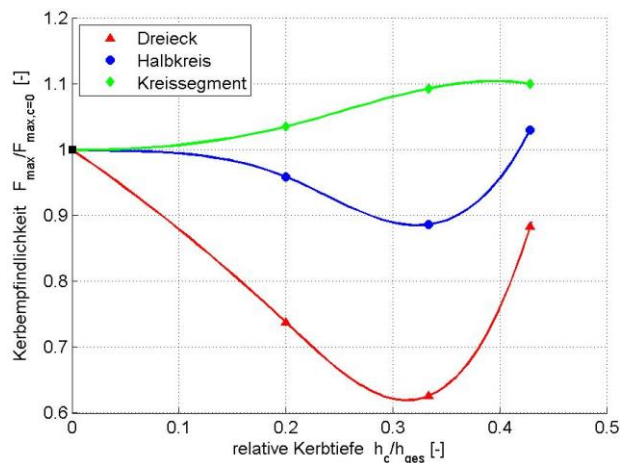


Bild 3: Aus Biegezugversuchen abgeleitete Kerbempfindlichkeit des untersuchten Feinkorn-UHPC

Die Ergebnisse zeigen für die Kerbformen Dreieck und Halbkreis einen sehr ähnlichen Verlauf wie die in /1/ vorgestellten Ergebnisse für Zementleim und Mörtel: Für kleine relative Kerbtiefen nimmt die relative Netto-Versagensspannung mit zunehmender rel. Kerbtiefe ab, erreicht ein Minimum und steigt dann wieder an. Wie erwartet verringert die halbrunde Kerbe die Netto-Versagensspannung weniger stark als die dreieckige Kerbe.

Die Ergebnisse der Probekörper mit Kerben in Form von Kreissegmenten zeigen ein anderes Verhalten. Bei dieser Versuchsreihe steigt die Netto-Versagensspannung mit zunehmender Kerbtiefe kontinuierlich an. Eine Erklärung für diesen Zusammenhang liefern die Rissbilder der einzelnen Probekörper.

Während der Versuche wurden die Verformungen mit einem optischen Messsystem aufgezeichnet, das es erlaubt, die Rissentstehung genau zu verfolgen. Bild 4 zeigt die mit dem optischen Messsystem aufgenommenen Verformungen für die unterschiedlichen Kerbformen

jeweils bei gleicher Durchbiegung des Balkens. Es wird deutlich, dass beim ungekerbten Probekörper mehrere schmale Risse entstehen, während die dreieckige Kerbe einen breiten Riss an der Spitze des Dreiecks provoziert, der die Tragfähigkeit des Balkens schwächt. Auch die halbrunde Kerbe bewirkt die Entstehung eines einzelnen breiten Risses, wohingegen bei der Kerbe in Form eines Kreissegments wieder eine gewisse Rissverteilung sichtbar wird, die mit dem ungekerbten Fall vergleichbar ist. Da die Balkenhöhe über der Kerbe konstant gehalten wurde, weisen die gekerbten Balken eine größere Gesamthöhe auf als die ungekerbten, was die wachsende Maximallast bei steigender Kerbtiefe für den Kerbfall „Kreissegment“ erklärt.

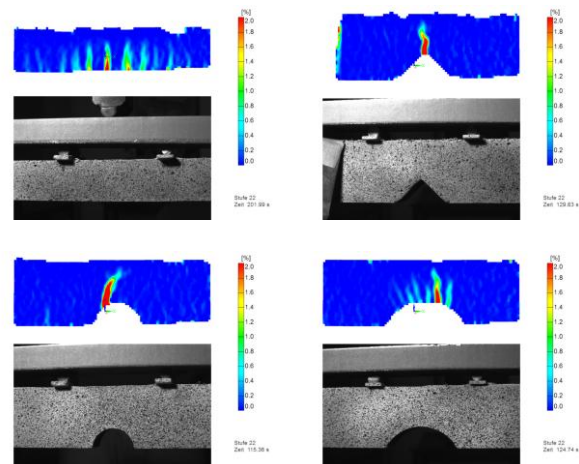


Bild 4: Rissbilder bei unterschiedlichen Kerbformen: ungekerbt (o.l.), Dreieck (o.r.), Halbkreis (u.l.), Kreissegment (u.r.)

5. Fazit

Die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, dass UHPC eine deutlich größere Kerbempfindlichkeit als Normalbeton aufweist. Die Untersuchung verschiedener Kerbformen zeigte außerdem, dass durch eine ausreichende Ausrundung von Querschnittsprüngen eine Verringerung der Tragfähigkeit vermieden werden kann.

Die gefundenen Zusammenhänge sollten beim Entwurf komplex geformter Tragwerke aus UHPC berücksichtigt werden, um schlanke Tragwerke materialsparend realisieren zu können.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ S. Ziegeldorf, H.S. Müller, H.K. Hilsdorf: A model law for the notch sensitivity of brittle materials, Cement and Concrete Research, Vol. 10, pp. 589-599, 1980