

Querkrafttragfähigkeit von bestehenden Betonbauteilen

Shear capacity of existing concrete members

Empelmann, M.; Javidmehr, S.

Abstract

For existing concrete bridges with low amounts of shear reinforcement or without shear reinforcement, the evaluation of shear capacity is a challenging task. Significant reasons are the lack of existing shear reinforcement and the fact that available investigations and models assure the shear safety mainly based on the provided shear reinforcement. Most existing concrete members with a lack of shear reinforcement are, however, often free from shear cracks (diagonal cracks). To avoid over-conservative evaluations for such members, the underestimated shear capacity provided by concrete tensile resistance should be considered. In case of existing structures such as bridges, attentions should be paid thereby to the possible effects of cyclic loading on the concrete tensile resistance.

1. Schrägrissbildung unter monoton steigender Querkraftbeanspruchung

Viele aktuelle Untersuchungen zum Querkrafttragverhalten von Bauteilen mit geringer Querkraftbewehrung bzw. ohne Querkraftbewehrung widmen sich dem Tragverhalten nach der Schrägrissbildung. Für bestehende Brückenbauwerke, die größtenteils frei von Schrägrissen sind, ist allerdings eine sichere Abschätzung der Lastgröße, die zu einer Schrägrissbildung (Schräggrisslast) führt, für die Bearbeitung von Notfallplänen (z. B. Verstärkungs- oder Kompensationsmaßnahmen) essentiell.



Bild 1: Schrägrissbildung und Querkraftversagen in einem Querkraftversuch

Für die rechnerische Ermittlung der Schrägrisslast unter monoton steigender Querkraftbeanspruchung wurden innerhalb eines Forschungsvorhabens die Querkraftversuche der Fachliteratur an Stahlbeton- und Spannbeton-

balken ohne Querkraftbewehrung mit dokumentierten experimentellen Schrägrisslasten $V_{cr,mon,exp}$ zusammengestellt und systematisch ausgewertet.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Traganteil aus Betonzugfestigkeit f_{ct} (Betonzugtraganteil) auch bei Bauteilen mit einem Biegeschubriss angesetzt und somit die rechnerische Schrägrisslast aus den schiefen Hauptzugspannungen nach Gl. (1) berechnet werden kann (Bild 2).

$$V_{cr,cal,mon} = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h_{ef,mon} \cdot f_{ct} \quad (1)$$

Voraussetzung hierfür ist eine Anpassung der effektiven Bauteilhöhe $h_{ef,mon}$ entsprechend der Höhe des vorhandenen Biegerisses, welche unter Berücksichtigung der bezogenen Betondruckzone $\xi = x/d$ und der Lage des Schrägrisses x_{cr} nach Gl. (2) berechnet werden kann [2].

$$h_{ef,mon} = \frac{\xi \cdot d}{2} + \left(\frac{\xi^2 \cdot d^2}{4} + \frac{\xi^2 \cdot (1 - \frac{\xi}{3}) \cdot d^2}{\frac{2}{3} x_{cr}} \right) \quad (2)$$

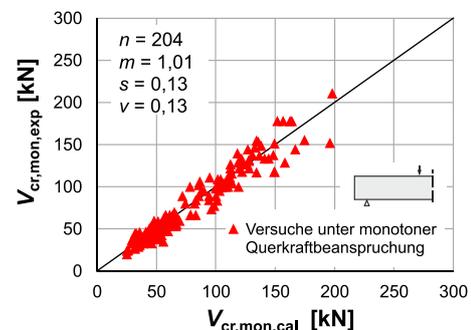


Bild 2: Vorhersagegenauigkeit des vorgeschlagenen Ansatzes für Stahlbetonbalken

Anschließend wurde untersucht, inwieweit die Schrägrisslasten, die Versagenslasten sowie die Schrägrissverläufe unter Querkraftbeanspruchung mit nichtlinearen Finite Elemente (FE) Berechnungen reproduzierbar sind. Hierfür wurden die Stahlbetonbalken mit dokumentierten Rissbildern numerisch in dem FE-Programm DIANA FEA simuliert und nachgerechnet (Bild 3).

Aus den Untersuchungen wurde ein geeignetes Rissmodell für die Modellierung von querkraftbeanspruchten Bauteilen vorgeschlagen. Dieses Rissmodell kann für die Berechnung der Schrägrisslast in einer höheren Approximationsstufe verwendet werden.

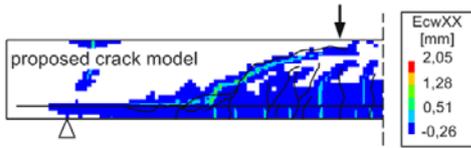


Bild 3: FE-Nachrechnung mit vorgeschlagenem Rissmodell

2. Effekte aus zyklischer Beanspruchung

Bestehende Bauwerke wie Brücken sind während ihrer Lebensdauer zyklischen Verkehrsbeanspruchungen ausgesetzt, die das Betonzugverhalten beeinflussen können. Um diese Effekte zu untersuchen, wurden einaxiale Betonzugversuche mit zyklischer Vorbelastung durchgeführt (Bild 4).

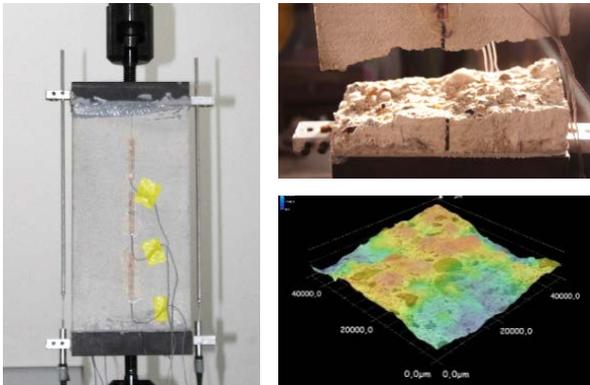


Bild 4: Einaxialer Zugversuch (links), Bruchbild (rechts, oben) und untersuchte Rauigkeit der Bruchfläche (rechts, unten)

Bei der Auswertung der Betonzugversuche mit zyklischer Vorbelastung wurde festgestellt, dass die Betonzugfestigkeit nach einer zyklischen Vorbelastung nicht abnimmt. Allerdings konnten durch die zyklische Vorbelastung eine kontinuierliche Dehnungszunahme (zyklisches Kriechen) sowie eine reduzierte Rauigkeit der Bruchfläche festgestellt werden. Diese Erkenntnisse wurden für die Entwicklung einer Betonzugkurve mit zyklischer Vorbelastung herangezogen (Bild 5).

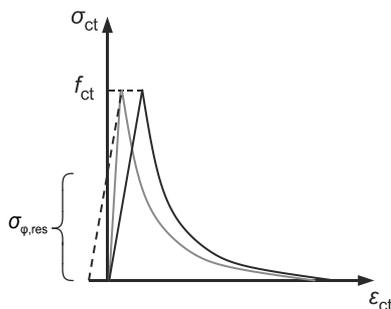


Bild 5: Betonzugkurve mit Berücksichtigung einer zyklischen Vorbelastung

Darauf aufbauend wurden die in der Fachliteratur vorhandenen einaxialen Betonzugversuche unter Ermüdungsbeanspruchung in einer Datenbank zusammengetragen und ausgewertet. Hierbei zeigt sich, dass stets ein Abfall der Betonzugfestigkeit mit steigenden Lastspielzahlen auftrat.

3. Schrägrissbildung unter zyklischer Querkraftbeanspruchung

Für die Bewertung der Schrägrisslast unter zyklischer Querkraftbeanspruchung $V_{cr,cycl}$ wurde ein Berechnungsverfahren entwickelt. Die Grundlage hierfür bildet der Ansatz zur Berechnung der monotonen Schrägrisslast (Abschn. 1) und die Erkenntnisse aus der Auswertung der einaxialen Ermüdungsversuche (Abschn. 2). Zur Überprüfung des Ansatzes wurden die zyklischen Querkraftversuche der Fachliteratur zusammengetragen und die zyklischen Schrägrisslasten mit dem Berechnungsverfahren ausgewertet. Aus Bild 6 wird ersichtlich, dass mit dem Berechnungsverfahren die zyklischen Schrägrisslasten gut abgeschätzt werden können.

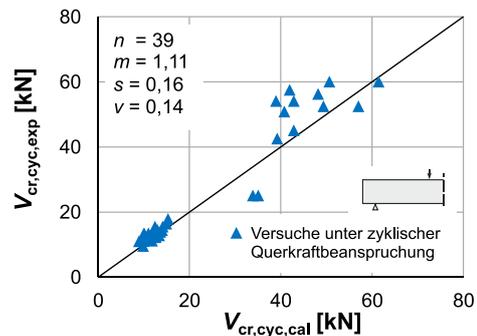


Bild 6: Vorhersagegenauigkeit des Berechnungsverfahrens

Des Weiteren wurde die entwickelte Betonzugkurve (Bild 5) für FE-Untersuchungen von repräsentativen zyklischen Querkraftversuchen herangezogen. In /3/ konnte gezeigt werden, dass hiermit eine gute Abschätzung der Schrägrisslast von zyklisch belasteten Bauteilen in einer höheren Approximationsstufe möglich ist.

4. Literatur

- /1/ Javidmehr, S.; Empelmann, M.: Diagonal cracking load of concrete members without shear reinforcement. 12th fib International PhD Symposium, 2018.
- /2/ Javidmehr, S.; Oettel, V.; Empelmann, M.: Schrägrissbildung von Stahlbetonbalken unter Querkraftbeanspruchung. Bauingenieur 93, 2018.
- /3/ Javidmehr, S.: Shear Capacity of Concrete Members under Monotonic and Cyclic Loading, Dissertation, iBMB/MPA Heft 238, August 2019.