

# Querkrafttragfähigkeit von gevouteten Betonbauteilen

## Shear capacity of haunched concrete members

Empelmann, M.; Rathgen, J.

### Abstract

Existing concrete bridges often have less shear reinforcement than the required value according to current design code provisions. For such members the concrete load bearing capacity has a major role in the ultimate shear capacity and shear safety. Experimental investigations have shown that the concrete load bearing capacity depends on shear span to depth ratio ( $a/d$ ). However, for haunched members the effective depth  $d$  is not constant. To investigate the effects of haunches on shear capacity, a database of shear tests of haunched members was compiled and evaluated using the existing design approaches. Furthermore, the prediction accuracy of non-linear finite element evaluations was investigated.

### 1. Einleitung

Infolge gestiegener Verkehrsbeanspruchungen und geänderter Bemessungsnormen zeigen eine Vielzahl an Brückenbauwerken bei der Nachrechnung zur Bewertung der Tragfähigkeit Defizite beim Querkraftnachweis. Ein Teil dieser Brücken wurde mit gevouteten Bauteilen ausgeführt, bei denen zusätzlich der Einfluss der geneigten Betondruck- oder Stahlzugstrebe beim Querkraftnachweis berücksichtigt werden muss (Bild 1).



Bild 1: Plattenbalkenbrücke in Wolfsburg mit gevouteten Betonbauteilen (Autobahn A39)

Um diesen Sachverhalt näher zu untersuchen, wurden vorhandene Versuche an gevouteten Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen der Fachliteratur in einer Datenbank zusammengetragen. Die Datenbank umfasst bislang 125 Versuche an gevouteten Bauteilen mit unterschiedlichen statischen Systemen sowie mit und ohne

Querkraftbewehrung. Diese Versuche wurden mit verschiedenen normativen Ansätzen zur Bestimmung der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit ausgewertet sowie mithilfe numerischer Methoden nachgerechnet.

### 2. Auswertung der normativen Ansätze zur Querkrafttragfähigkeit

In den normativen Ansätzen nach DIN EN 1992-1-1 /1/, ACI 318-14 /2/ und CSA A23.3 /3/ kann der Einfluss einer geneigten Betondruck- oder Stahlzugstrebe auf die Querkrafttragfähigkeit über eine zusätzliche Querkraftkomponente nach Gl. (1) bzw. (2) berücksichtigt werden.

$$V_{ccd} = \frac{M_{Ed}}{z} \cdot \tan \alpha \quad \text{Voute im Druckbereich} \quad (1)$$

$$V_{td} = \frac{M_{Ed}}{z} \cdot \tan \alpha \quad \text{Voute im Zugbereich} \quad (2)$$

Weitere Einflüsse auf das Tragverhalten infolge der Voute bleiben in den Ansätzen jedoch unberücksichtigt.

Die Gegenüberstellung der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit nach den oben genannten Normen mit der im Versuch ermittelten Querkrafttragfähigkeit ist in Bild 2 für die Versuche mit sprödem Querkraftversagen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Querkrafttragfähigkeit teilweise deutlich unterschätzt wird.

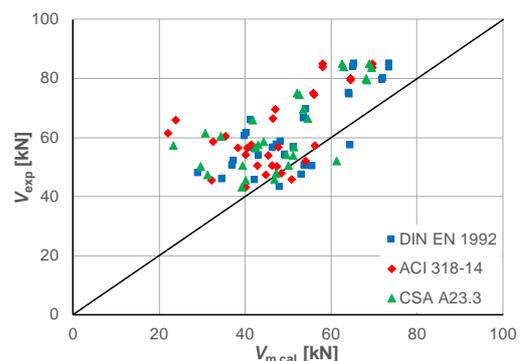


Bild 2: Vorhersagegenauigkeit der Bemessungsansätze für gevoutete Betonbauteile

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Bemessungsansätzen liegen in der Stelle des maßgebenden

Bemessungsschnitts, im Druckstrebenneigungswinkel sowie in der Berücksichtigung des Betontraganteils.

Der Einfluss der Voutenneigung auf die Querkrafttragfähigkeit ist in Bild 3 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die normativen Ansätze die Querkrafttragfähigkeit von gevouteten Stahlbetonbauteilen nicht ausreichend genau abbilden können und der Einfluss einer Voute beim Nachweis genauer untersucht werden muss.

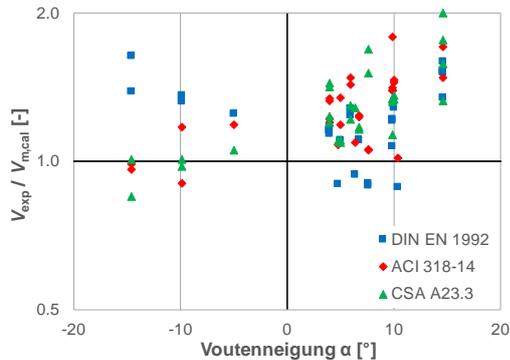


Bild 3: Vorhersagegenauigkeit der Bemessungsansätze in Abhängigkeit der Voutenneigung  $\alpha$

### 3. Numerische Untersuchung

Darauf aufbauend wurde untersucht, ob die experimentellen Versuchsergebnisse mit nichtlinearen Finite Elemente Berechnungen nachgebildet werden können. Dazu wurden ausgewählte Versuche mit dem FE-Programm DIANA FEA modelliert und mit einem am iMBB, Fachgebiet Massivbau der TU Braunschweig vorhandenen Rissmodell (basierend auf einem „Total Strain Based Crack Model“) nachgerechnet.

Exemplarisch ist in Bild 4 das Rissbild eines experimentellen Versuchs dem Rissbild der zugehörigen FE-Berechnung gegenübergestellt.

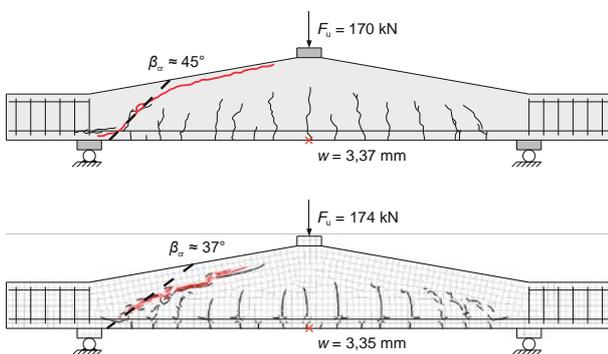


Bild 4: Vergleich des experimentellen Versuchs (oben) mit der numerischen Berechnung (unten)

Es ist zu erkennen, dass das numerische Rissbild vergleichbar mit dem experimentellen Rissbild ist. Bild 5 zeigt das zugehörige Last-Verformungs-Diagramm. Die kritische Schrägrisslast sowie die Verformung kann mit der FE-Berechnung gut angenähert werden.

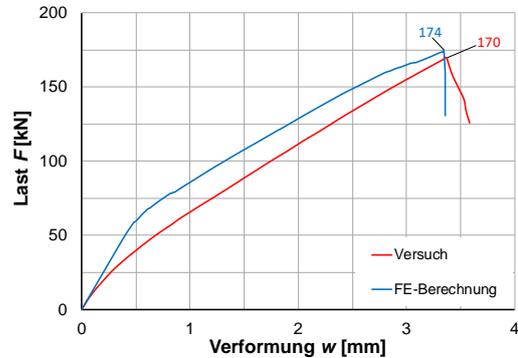


Bild 5: Last-Verformungs-Diagramm des experimentellen Versuchs und der FE-Berechnung

Bei der Nachrechnung der Versuche wurde festgestellt, dass das gewählte Rissmodell einen großen Einfluss auf die Querkrafttragfähigkeit von gevouteten Betonbauteilen hat und die Stelle des kritischen Schrägrisses stark von der Voutenneigung abhängt.

### 4. Fazit

Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass die normativen Ansätze die Querkrafttragfähigkeit in der Regel deutlich unterschätzen. Für eine genauere Bestimmung der Tragfähigkeit bietet sich daher eine Berechnung mithilfe numerischer Methoden an. Dazu steht mit dem vorhandenen Rissmodell ein Ansatz zur Verfügung, der die Voutenneigung berücksichtigen kann und mit dem die kritische Schrägrisslast sowie die Verformung deutlich besser bestimmt werden können. Mit diesem Ansatz ist eine erweiterte Nachrechnung, wie sie in der Nachrechnungsrichtlinie für Brückenbauwerke /4/ aufgeführt ist, möglich.

### 5. Literatur

- /1/ DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, 2011.
- /2/ ACI Committee 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete, 2014.
- /3/ CSA Standard A23.3: Design of Concrete Structures, 2004.
- /4/ Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie), 2011.