

# Zeitabhängige Rissbreitenentwicklung in Stahlbetonbauteilen

## Time-dependent crack width development in reinforced concrete

Empelmann, M.; Cramer, J.

### Abstract

In order to ensure serviceability and durability, limiting crack width is an essential task within the design of reinforced concrete structures. However, under long term loading crack widths increase due to the time-dependent material behaviour of concrete. As time depending effects (such as bond creep, concrete creep and concrete shrinkage) are superimposed, consistent and mechanically based investigations are essential for an accurate prediction of crack widths. In this context, a rheological model was developed. The prediction accuracy of the model was evaluated using test results under long term loading showing good agreement between the time-dependent calculated and the experimental crack widths.

### 1. Einleitung

Die Begrenzung der Rissbreite ist eine wesentliche Bemessungsaufgabe bei Stahlbetonkonstruktionen, um die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit während der gesamten Nutzungsdauer zu gewährleisten. Unter Langzeitbeanspruchung findet eine Vergrößerung der Rissbreite als Folge des zeitabhängigen Materialverhaltens von Beton, wie Verbundkriechen, Betonkriechen und Betonschwinden, statt. Dabei sind die Beziehungen und Wechselwirkungen der drei Langzeiteffekte komplex. Da bei der Festlegung der erforderlichen Bewehrungsmenge die Begrenzung der Rissbreite eine wesentliche Rolle spielt und damit auch wirtschaftliche Auswirkungen verbunden sind, ist die Frage, ob und wie solche Effekte zu berücksichtigen sind, essentiell [1].

### 2. Rheologisches Modell

Um den Einfluss der verschiedenen zeitabhängigen Effekte auf die Rissbreiten beurteilen und quantifizieren zu können, wurde am iBMB, Fachgebiet Massivbau der TU Braunschweig, ein rheologisches Modell entwickelt, welches auf der Arbeit in [2] basiert. Grundsätzlich besteht das Modell aus zwei Längsstäben (Beton und Betonstahl), die in einem definierten Abstand mit Federn verbunden sind. Die Länge des Modells entspricht für das abgeschlossene Rissbild der Hälfte des Rissabstandes und muss für die Erstrissbildung größer als die Einleitungslänge gewählt werden (Bild 1).

Sowohl die Materialeigenschaften als auch die Länge und die Belastung des rheologischen Modells können je nach Anforderung individuell definiert werden. Auf diese Weise können u. a. verschiedene Verbundspannung-Schlupf-Beziehungen und Langzeiteffekte berücksichtigt werden.

### 3. Auswirkungen von Langzeitbelastungen auf einen gerissenen Zugstab

Der Einfluss der zeitabhängigen Effekte Verbundkriechen (VK), Betonkriechen (K) und Betonschwinden (S) auf die Stahl- und Betonspannung sowie die Rissbreite wurde an einem repräsentativen Beispiel im Zustand der Erstrissbildung (Modelllänge: 400 mm,  $\sigma_s = 126 \text{ N/mm}^2$ ) sowie im Zustand der abgeschlossenen Rissbildung (Modelllänge: 140 mm,  $\sigma_s = 280 \text{ N/mm}^2$ ) veranschaulicht (s. a. [1], [2]).

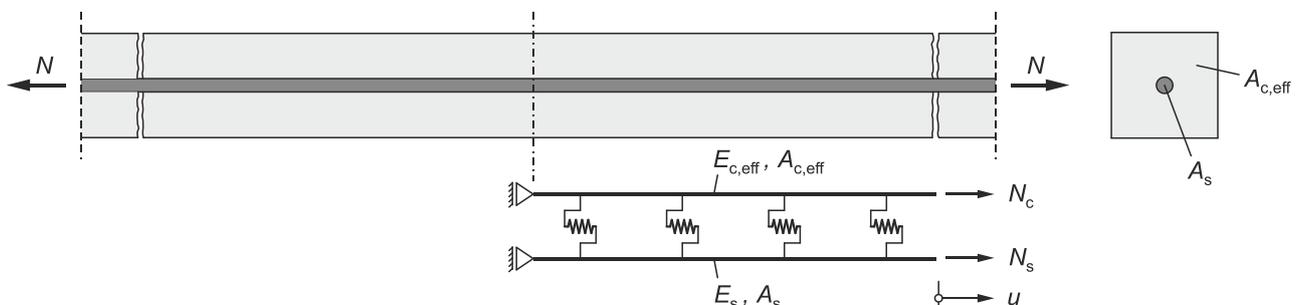


Bild 1: Schematische Darstellung des rheologischen Modells

Aus den Beispielberechnungen können die einzelnen Langzeiteffekte zunächst idealisiert getrennt voneinander betrachtet werden. Eine Überlagerung aller drei Effekte (VK+K+S) zeigt die folgenden Zusammenhänge:

- Erstrissbildung (Bild 2): Vergrößerung der Einleitungslänge, ggf. zusätzliche Rissbildung aufgrund der „erhöhten“ Betonspannung
- abgeschlossene Rissbildung (Bild 3): Reduktion der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen
- in beiden Zuständen: signifikante Zunahme der Rissbreiten infolge der zeitabhängigen Effekte

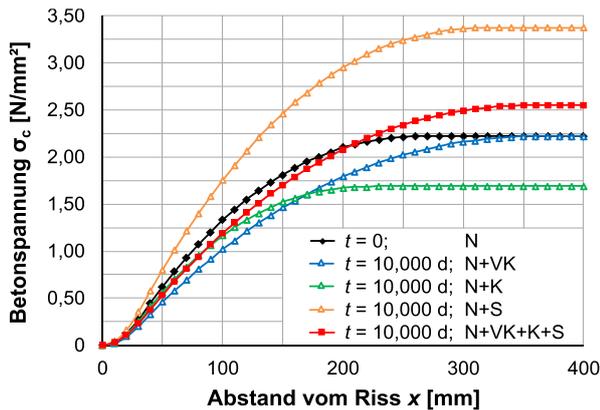


Bild 2: Betonspannung  $\sigma_c$  bei Erstrissbildung in Abhängigkeit vom Abstand zum Riss  $x$

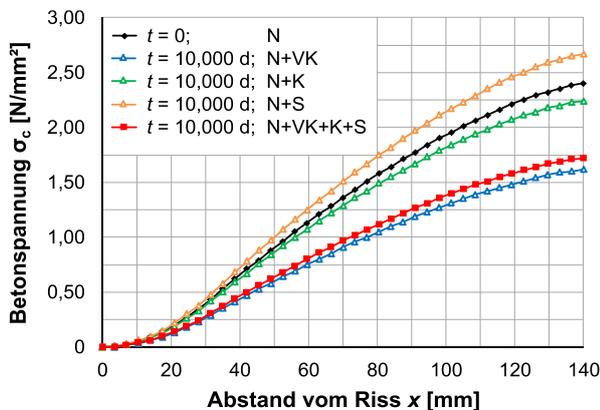


Bild 3: Betonspannung  $\sigma_c$  bei abgeschlossener Rissbildung in Abhängigkeit vom Abstand zum Riss  $x$

#### 4. Validierung mit experimentellen Versuchsergebnissen

Die Validierung des rheologischen Modells erfolgt mit zwei Versuchen von JACCOUD/CHARIF [3], in denen die zeitabhängige Veränderung von Rissbreiten unter konstanter Dauerlast dokumentiert wurde.

Basierend auf dem Vergleich zwischen den experimentellen Versuchen von JACCOUD/CHARIF und dem rheologi-

schen Modell können die folgenden Ergebnisse gewonnen werden (vgl. Bild 4):

- sehr gute Übereinstimmung zwischen den experimentellen Ergebnissen (exp) und dem Modell (cal)
- Verbundkriechen (VK): großer Einfluss auf die Erhöhung der Rissbreite zu Beginn der Belastung
- Betonkriechen (K): Reduktion der Rissbreiten gering
- Betonschwinden (S): größten Einfluss auf die Rissbreitenentwicklung mit fortschreitender Zeit

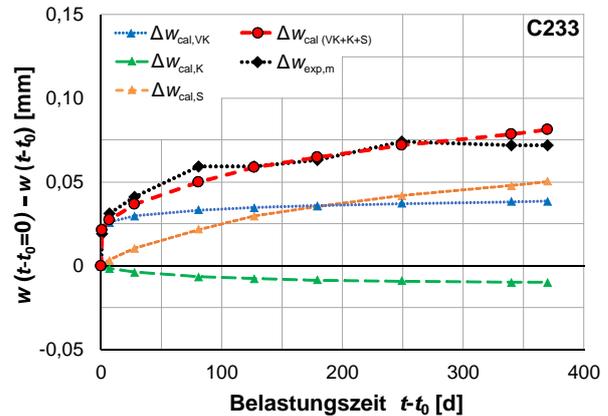


Bild 4: Vergrößerung der Rissbreite in Abhängigkeit der Belastungszeit  $\Delta w(t - t_0)$  (Versuch C233 [3])

#### 5. Fazit

Mit dem rheologischen Modell liegt ein sehr leistungsfähiges Hilfsmittel vor, um die zeitabhängige Rissbreitenentwicklung auf mechanisch basierten Ansätzen weitergehend zu untersuchen und bestehende Berechnungsansätze zu verbessern. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass bei der zeitabhängigen Rissbreitenermittlung neben dem Verbundkriechen auch das Betonschwinden berücksichtigt werden sollte. Zusätzlich muss zwischen dem Zustand der Erstrissbildung und der abgeschlossenen Rissbildung differenziert werden.

#### 6. Literatur

- /1/ Empelmann, M.; Cramer, J.: Modell zur Beschreibung der zeitabhängigen Rissbreitenentwicklung in Stahlbetonbauteilen. In: Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019), Heft 5, S. 327-336.
- /2/ Empelmann, M.: Zum nichtlinearen Trag- und Verformungsverhalten von Stabtragwerken aus Konstruktionsbeton unter besonderer Berücksichtigung von Betriebsbeanspruchungen. Aachen, 1995.
- /3/ Jaccoud, J.-P.; Charif, H.: Armature minimale pour le contrôle de la fissuration: rapport final des essais série C. Publication IBAP no. 114, Schweiz, 1986.