

KRIECHVERSUCHE AN KUNSTSTOFFMAKROFASERBETONEN

Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Faserbetonen unter Biegezugbeanspruchung – ein Zwischenbericht

Tobias BAST, Andreas EDER, Prof. Dr. techn. habil. Wolfgang KUSTERLE
 Fachhochschule Regensburg, Fakultät Bauingenieurwesen

Einleitung

Unter Kriechen versteht man eine zeitabhängige Verformungszunahme unter dauernd wirkender Spannung. Die dabei auftretenden Verformungen setzen sich aus verzögert elastischen Anteilen und Anteilen aus viskosem Fließen zusammen. Beton und Kunststoffe gehören zu den Materialien, bei denen Kriechverformungen zu berücksichtigen sind, bei Stahl kann man diese Verformungen in der Regel vernachlässigen. Die Größe der Kriechverformungen wird u. a. vom Belastungsniveau, den Materialeigenschaften, den Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur, Feuchte) und der Dauer der Belastung beeinflusst. Je nach zeitlichem Verlauf der Kriechverformungen spricht man von primärem Kriechen (abnehmende Kriechrate), sekundärem Kriechen (konstanter Verformungszuwachs oberhalb der Dauerstandfestigkeit) und tertiärem Kriechen (wachsende Kriechrate), das schließlich zum Kriechbruch führt (Bild 1). Im Regelfall sollten die Kriechverformungen einem Grenzwert ϵ_{∞} zustreben, die Kriechverformungen also auf das primäre Kriechen beschränkt bleiben.

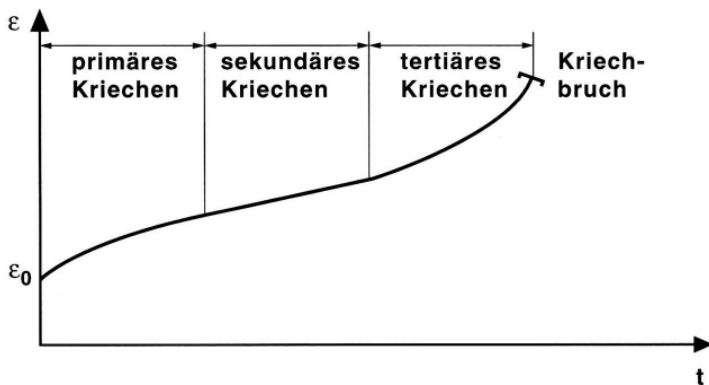


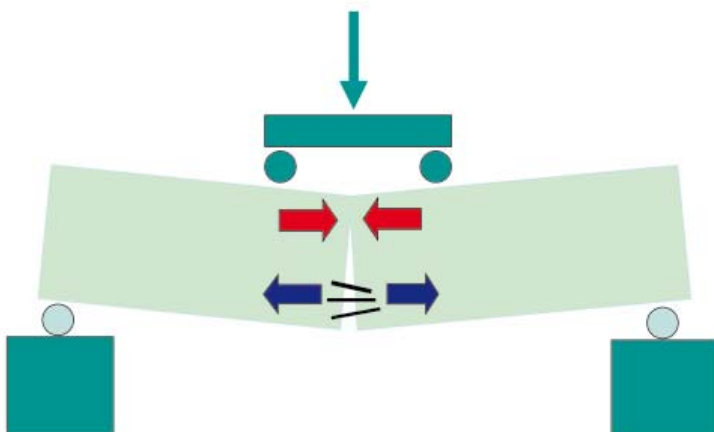
Bild 1: Schematische Darstellung des möglichen Kriechverlaufs, der bis zum Kriechbruch führen kann [1]

Faserbeton

Neben Stahlfasern (für Faserbetonklassen T und TG nach Richtlinie „Faserbeton“ der ÖVBB [2, 3]) und Kunststoffmikrofasern (für Faserbetonklassen FS und BBG) werden heute auch vermehrt Kunststoffmakrofasern zur Herstellung von Faserbeton eingesetzt. Kunststoffmakrofasern können das Nachbruchverhalten von Faserbeton günstig beeinflussen und könnten daher dort zum Einsatz kommen, wo neben statischer Wirksamkeit (Faserbetonklasse T oder TG nach Richtlinie „Faserbeton“ der ÖVBB) Korrosionserscheinungen an der Betonoberfläche langfristig verhindert werden müssen. Kunststofffasern sind derzeit ein Werkstoff mit hohem Entwicklungspotenzial.

Die Prüfung der Faserwirkung als konstruktive Verstärkung erfolgt im Biegeversuch nach der Richtlinie „Faserbeton“ der ÖVBB [2]. Der verformungsgesteuerte Versuch liefert aber nur Daten über die kurzzeitige Wirkung der Faserbewehrung.

Wenn ein Biegebalken aus Faserbeton beim Überschreiten der Betonzugfestigkeit in der Zugzone reißt und die Last wirksam bleibt, wird die Betondruckzone unter dauernd wirkender Last kriechen (und eventuell schwinden), die auf Zug beanspruchten Fasern, die den Riss überbrücken, können – je nach Auslastungsgrad – mit der Zeit langsam aus dem Beton ausgezogen werden und im Falle von Kunststoff kann sich der Faserwerkstoff, infolge Kriechverformungen, verlängern (Bild 2). Bei einem kritischen



Bei einem kritischen

Bild 2: In der Zugzone gerissener Biegebalken unter Dauerlast mit Druckkriechen in der Druckzone und Faserauszug und Faserdehnung in der Zugzone

Auslastungsgrad (in % der Kurzzeitfestigkeit) wird es zum Kriechbruch kommen. Die Dauerstandfestigkeit wird daher, wie bei allen Stoffen, die kriechen, unter der Kurzzeitfestigkeit liegen.

Untersuchungsprogramm

Zur Abklärung der Größe der bei gerissenen Faserbetonen auftretenden Langzeitverformungen und der zu beachtenden Grenzen sowie zur Ermittlung der Dauerstandfestigkeit hat der Arbeitskreis „Faserbeton“ der ÖVBB ein Untersuchungsprogramm angeregt.

Die Versuche wurden an Balken im Format 15 x 15 cm mit einer Spannweite von 45 cm durchgeführt. Die Betonrezeptur verwendet 370 kg/m³ Zement bei einem W/B-Wert von 0,5. Das Größtkorn wurde mit 16 mm gewählt. Ein Ausbreitmaß von 45 cm wurde durch unterschiedliche Mengen an Fließmittel eingestellt, da die Fasern die Konsistenz unterschiedlich beeinflussen. Dabei wurden vorerst Faserbetone mit drei ganz unterschiedlichen Kunststoffmakrofasern (Bild 3) und einer typischen Stahlfaser (Länge



Bild 3: Kunststoffmakrofasern und Stahlfasern, die für die Kriechversuche eingesetzt wurden

50 mm, Durchmesser 1 mm) mit üblichen Dosierungen (4,5 kg/m³ für Kunststofffasern und 30 kg/m³ für Stahlfasern) auf das Nachrissverhalten (äquivalente Biegezugfestigkeit) nach Richtlinie „Faserbeton“ im Alter von 28 Tagen in einer besonders gut geeigneten Prüfmaschine geprüft. Die Prüfung wurde aber bei einer Durchbiegung von 1,75 mm abgebrochen und die verbleibende Dehnung festgehalten. Drei Probekörper wurden anschließend bis zu 3 mm Durchbiegung weiterbelastet (Bild 4).

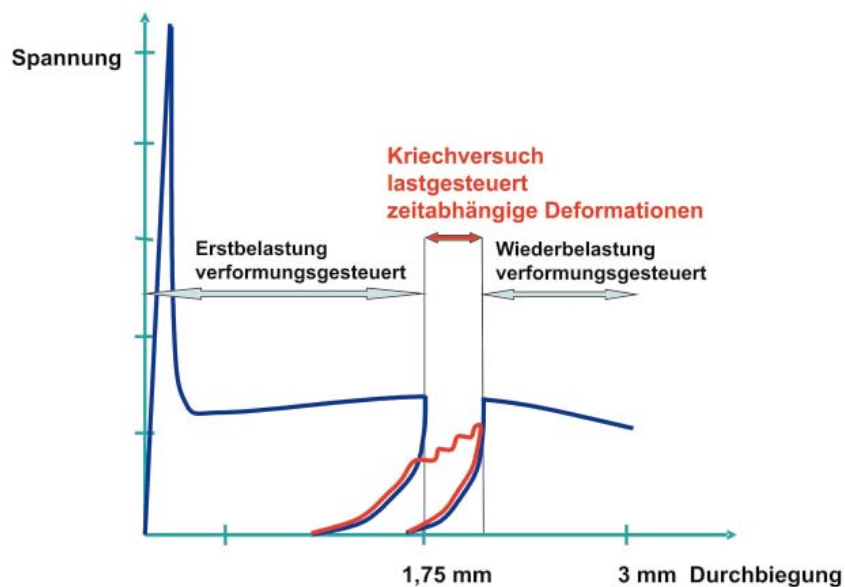


Bild 4: Schematische Darstellung des Versuchsablaufes im Spannungs-Verformungs-Diagramm

Die Proben erfüllen die Anforderungen an die Faserbetonklassen BZ 6 (bzw. 4, 5), TG 2 (bzw. 1) und T 2 (bzw. 1), die in Österreich derzeit am meisten eingesetzt werden (Bild 5).

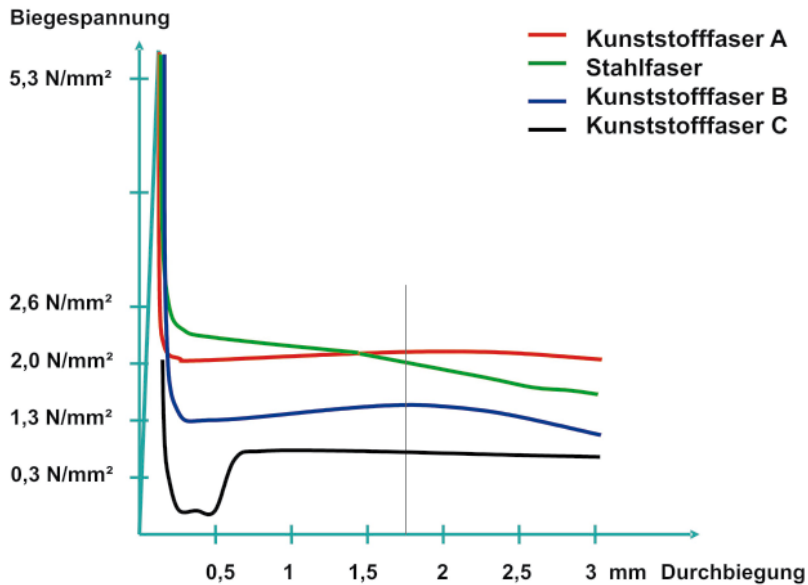


Bild 5: Übersicht der Spannungs-Dehnungs-Linien der vier Faserbetone im Kurzzeitversuch



Bild 6: Kriechstände zum Prüfen der Langzeitverformung von gerissenen Biegebalken unter konstanter Last

Anschließend wurden die anderen drei Probekörper in Kriechstände (Bild 6) eingebaut. Die zur Verfügung stehenden 12 Kriechstände erlauben durch ein Hebelwerk die Aufbringung einer konstanten Biegelast über lange Zeiträume unter definierten Umgebungsbedingungen. Die Proben sind darüber hinaus mit Alufolie eingehaust, um das Schwinden möglichst gering zu halten. Die Belastung wurde mit der 0,47-fachen Restfestigkeit bei 1,75 mm Durchbiegung ($0,47 P_{1,75}$) als Dauerlast begonnen. Die Verformungen über die Zeit wurden festgehalten, das Belastungsniveau in Stufen angehoben, da nicht genügend Stände für eine parallele Belastung in unterschiedlichen Stufen zur Verfügung stehen. Die erste Lasterhöhung auf die 0,6-fache Restfestigkeit erfolgte nach drei Monaten. Die Proben mit Stahlfasern dienen dabei sozusagen als Referenz, da nach jahrzehntelangem Einsatz über keine übergroßen Kriechverformungen von Stahlfaserbetonen im Praxiseinsatz (unter Gebrauchslast) berichtet wurde. Untersuchungen aus Übersee bestätigen, dass bei vernünftigem Einsatz von Kunststoffmakrofasern Kriechverformungen nicht zu Schäden führen müssen [4, 5, 6].

Erste vorläufige Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses aktuellen Versuchsprogramms zeigen unter der ersten Laststufe eine rasche Abnahme der Kriechverformungen über die Zeit. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei längerer Beibehaltung der Belastung auf dieser ersten Stufe dieser Trend erhalten geblieben wäre. In der nächsten Laststufe ($0,6 P_{1,75}$) kam es bereits zu großen Unterschieden im Verhalten der Balken mit den verschiedenen Fasertypen (Bild 7):

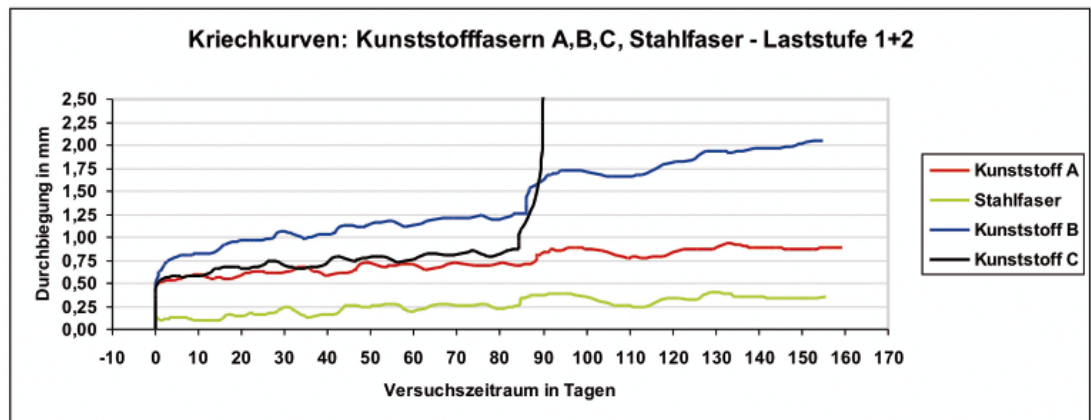


Bild 7: Kriechkurven ausgewählter Proben unter erster ($0,47 P_{1,75}$) und zweiter ($0,6 P_{1,75}$) Laststufe (es sind nur die Ergebnisse jeweils eines Probekörpers dargestellt, eine Verallgemeinerung ist deshalb nicht zulässig)

Die Balken mit Stahlfasern blieben bei der Erhöhung der Last weiterhin stabil. Die Balken mit einem Kunststofffasertyp zeigten stetig zunehmende Verformungen und es kam nach 6, 8 und 23 Tagen zum Kriechbruch aller drei Proben. Die Balken mit den zwei anderen Typen an Kunststoffmakrofasern wiesen innerhalb der jeweiligen Serie Unterschiede auf. Die Verformungen kamen nicht ganz zum Stillstand, ein Probekörper einer Fasertyp versagte nach 12 Wochen bei der zweiten Laststufe infolge Kriechens. Ein Balken einer anderen Type zeigt noch laufend Verformungszuwächse. Die restlichen Proben blieben bisher stabil, die Zuwachsraten der Durchbiegung sind gering bis nicht mehr vorhanden. Daher wurde beschlossen, die Balken derzeit auf dem Niveau dieser Laststufe zu belassen. Später werden die mit Stahlfasern hergestellten Balken unter höheren Auslastungsgraden geprüft. Bei hohen Belastungen ist zu erwarten, dass auch die Stahlfasern mit fortschreitender Zeit ausgezogen werden. Derzeit sind noch keine endgültigen Aussagen zur Bewertung der einzelnen Fasern möglich. Der Lastfall Brand und Korrosionsaspekte werden im Zuge dieses Programms nicht untersucht.

Die in den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse zur Dauerstandfestigkeit und zu den anzusetzenden Kriechzahlen werden nach Abschluss der Untersuchungen das nötige Datenmaterial für die Überarbeitung des entsprechenden Kapitels der Richtlinie „Faserbeton“ [3] der ÖVBB liefern.

Dank

Der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik, dem Güteverband Transportbeton, den im Arbeitskreis „Faserbeton“ vertretenen Firmen KrampeHarex Fibrin, Forta, Adfil, Grace, Bekaert, Cemex, Arcelor Bissen, Asamer & Hufnagel und Transportbeton sei an dieser Stelle für die Unterstützung dieser Untersuchungen gedankt.

Literaturverzeichnis

- [1] Wesche, K. (Hrsg.): Baustoffe für tragende Bauteile. Band 1: Grundlagen, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 1996.
- [2] ÖVBB: Richtlinie „Faserbeton“, Ausgabe 3/2002.
- [3] ÖVBB: Richtlinie „Faserbeton“, 10. Entwurf, Wien, 20. 3. 2007.
- [4] Kurtz, S.; Balaguru, P.: Post crack creep of polymeric fiber-reinforced concrete in flexure. Cement and Concrete Research 30 (2000).
- [5] Bernard, E. S.: Creep of cracked fibre reinforced shotcrete panels. Shotcrete: More Engineering Developments. Bernard (Hrsg.) Taylor & Francis Group, London, 2004.
- [6] MacKay, J.; Trottier, J.-F.: Post-crack creep behaviour of steel and synthetic FRC under flexural loading. Shotcrete: More Engineering Developments. Bernard (Hrsg.) Taylor & Francis Group, London, 2004.