

Yining Ding, Dietmar Thomaseth und Christoph Niederegger

Teil 2: Untersuchungen eines fasercocktailverstärkten, selbstverdichtenden Hochleistungsbetons (SCHPC)

DI Dr. Yining Ding, Department of Civil. Eng.,
Dalian University of Technology, China

DI Dr. Dietmar Thomaseth, Institut für Betonbau,
Baustoffe und Bauphysik, Universität Innsbruck

DI Dr. Christoph Niederegger, Institut für Betonbau,
Baustoffe und Bauphysik, Universität Innsbruck

Einleitung

In den hier beschriebenen Studien wurde der Einfluss verschiedener Fasern auf die Druckfestigkeit und Biegezugfähigkeit von SCC-Hochleistungsbetonen erforscht.

Untersuchungen

Folgende Fasermischungen wurden untersucht:

Druckfestigkeit

Als Vergleichsrezeptur wurde der SCHPC ohne Fasern (NB) herangezogen. Durch die Beigabe von Fasern konnte weder eine eindeutige festigkeitssteigernde noch -senkende Wirkung festgestellt werden. Nach sieben Tagen erreichen sämtliche Serien eine Druckfestigkeit von über 50 N/mm², nach 28 Tagen über 70 N/mm². Daraus folgt, dass SCHPC die Kriterien für die Druckfestigkeit vollständig erfüllt.

Biegezüglichkeit

Die Biegezüglichkeit verschiedener Faserbetone wurde gemäß DBV-Merkblatt geprüft.

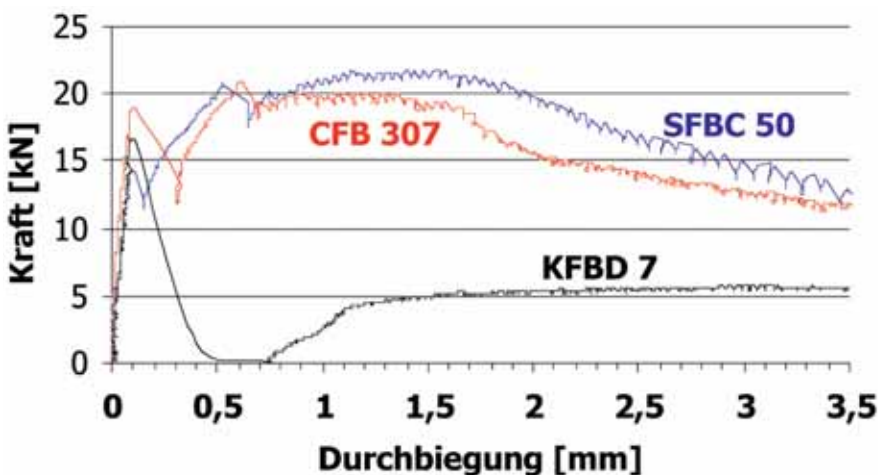
Biegezüglichkeit im Alter von 14 Tagen

Je eine Faserbetonmischung mit Kunststofffasern, Stahlfasern und einem Fasercocktail im Alter von 14 Tagen wurde auf ihre Biegezugfestigkeit hin untersucht. Überprüft wurden folgenden Serien: KFBD 7 (Beton mit 7 kg/m³ Kunststofffasern des Typs D), SFBC 50 (Beton mit 50 kg/m³ Stahlfasern des Typs C) und CFB 307 (Fasercocktail mit 30 kg/m³ Stahlfasern C und 7 kg/m³ PP-Fasern D).

Auf Abbildung 2.2.1. ist der Unterschied zwischen den verschiedenen Faserbetonen deutlich erkennbar. Während die Proben mit zusätzlich 30 kg/m³ Stahlfasern – CFB 307 – ein ausgeprägtes Nachbruchverhalten (ähnlich wie SFBC 50) aufweisen, ist dies bei den Proben von KFBD 7 nur in relativ geringem Ausmaß feststellbar.

Serie	Stahlfaserdosierung [kg/m ³]	Fasertyp	Kunststoffaserdosierung [kg/m ³]	Fasertyp
KFBC 7	–	–	7	C
KFBD 7	–	–	7	D
KFBE 7	–	–	7	E
SFBC 30	30	C	–	–
SFBC 50	50	C	–	–
Fasercocktail	30	C	5 und 7	D

Abb. 2.2.1: Gegenüberstellung der Arbeitslinien der Kunststofffaser-, Stahlfaser- und Fasercocktailbetonproben



Biegezüglichkeit im Alter von 28 Tagen

Zu diesem Prüfzeitpunkt wurden all jene Faserbetonproben untersucht, die bei den vorhergehenden Versuchen auf ihre Verarbeitbarkeit und Druckfestigkeit hin überprüft worden waren. Abbildung 2.2.2. veranschaulicht die Gegenüberstellung der Mittelwerte des Arbeitsvermögens von Kunststofffaserbeton mit 7 kg/m³ Fasergehalt der C-, D- und E-Fasern und Stahlfaserbeton mit 30 kg/m³ Fasergehalt der C-Faser.

Tabelle 2.2.2.: Gegenüberstellung der Zunahmerate (Zr.) des Arbeitsvermögens und der äquivalenten Biegezugfestigkeit verschiedener Faserbetone im Alter von 14 Tagen

Serien	D_{BZ2}^f	äqu β_{BZ2}	D_{BZ3}^f	äqu β_{BZ3}	D_{BZ}	Fasergehalt
Zr. (SFBC 30 – KFBD 7)	–	–	140 %	141 %	102 %	328,6 %
Zr. (SFBC 50–30)	11,45 %	14,49 %	31,77 %	31,79 %	32,92 %	66,67 %
Zr. (SFBC 50 – CFB 305)	2,82 %	5,7 %	11,11 %	11,01 %	9,76 %	42,86 %
Zr. (CFB 305 – SFBC 30)	8,39 %	8,32 %	18,6 %	18,7 %	21,1 %	16,67 %
Zr. (CFB 305 – KFBD 7)	–	–	184,8 %	185,4 %	145 %	400 %

Abbildung 2.2.2. verdeutlicht Folgendes: Verglichen mit dem Kunststoffaserbeton zeigte der Stahlfaserbeton mit 30 kg/m³ der C-Faser eine überlegene Energieabsorptionskapazität nach dem ersten Riss. Es war jedoch auch eine ausgeprägt fallende Tendenz feststellbar, da mit der Rissöffnung zusehends mehr kürzere Fasern (3 cm) aus der Betonmatrix ausgezogen wurden. KFBC 7 und KFBE 7 wiesen gegenüber KFBD 7 ein besseres Nachbruchverhalten auf, was auf den hohen Reibungsbeiwert der Oberfläche dieser Fasertypen zurückzuführen ist. Die Verarbeitbarkeit ist bei den Fasertypen C und E mit einer Dosierung von 7 kg/m³ für SCHPC jedoch nicht gegeben.

Auch wenn sich KFBD 7 durch eine gute Verarbeitbarkeit auszeichnet, ließ sich dafür nur eine relativ niedrige Biegezugzähigkeit ermitteln. Es wurden daher Untersuchungen im Hinblick auf den zu erwartenden Vorteil einer Faserkombination aus Stahlfasern C und Kunststofffasern D, die sowohl durch eine gute Verarbeitbarkeit als auch durch eine hohe Biegezugzähigkeit charakterisiert ist, durchgeführt.

Abbildung 2.2.3. zeigt die Gegenüberstellung der Mittelwerte des Arbeitsvermögens von Stahlfaserbeton mit 30 und 50 kg/m³ C-Fasern und Fasercocktailbeton (30 kg/m³ SF+5 kg/m³ KF).

Da die Betonmischungen mit Kunststofffasern des Typs C bzw. E hinsichtlich der Verarbeitbarkeit schlechte Ergebnisse erzielten, wurden diese zwei Fasertypen bei

den weiteren Auswertungen nicht mehr berücksichtigt. Tabelle 2.2.2. zeigt die Zunahmerate des Arbeitsvermögens, der äquivalenten Biegezugfestigkeit und des Fasergehaltes verschiedener Faserbetone.

Aus Tabelle 2.2.1. und Abbildung 2.2.2. geht Folgendes hervor:

1 Der Vergleich der Serien CFB 305 (30 kg/m³ Stahlfasern C + 5 kg/m³ Kunststofffasern D) und SFBC 50 zeigte, dass das Arbeitsvermögen (D_{BZ2}^f , D_{BZ3}^f) und die äquivalente Biegezugfestigkeit (äqu. β_{BZ2} , äqu. β_{BZ3}) bei der Serie Cocktail leicht zunehmen (zwischen 2,8 und 11 %).

2 Der Vergleich der Serien CFB 305 und SFBC 30 ergab, dass die Balken aus Fasercocktail ein besseres und stabileres Nachbruchverhalten haben, das Arbeitsvermögen (D_{BZ2}^f) und die äquivalente Biegezugfestigkeit (äqu. β_{BZ3}) um fast 20 % zunehmen und die Gesamtfaserdosierung nur um 17 % ansteigt.

Weiters konnte bei den Versuchen mit den Balken mit Fasercocktail die Entstehung von Mehrfachrissen beobachtet werden (Abb. 2.2.4.). Da die kürzere Stahlfaser ausgezogen wurde, überbrücken die längeren Kunststofffasern den Riss der Betonmatrix

Alle Grafiken: © Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik / Universität Innsbruck

Abb. 2.2.2.: Gegenüberstellung der Arbeitslinien von KFB und SFBC 30

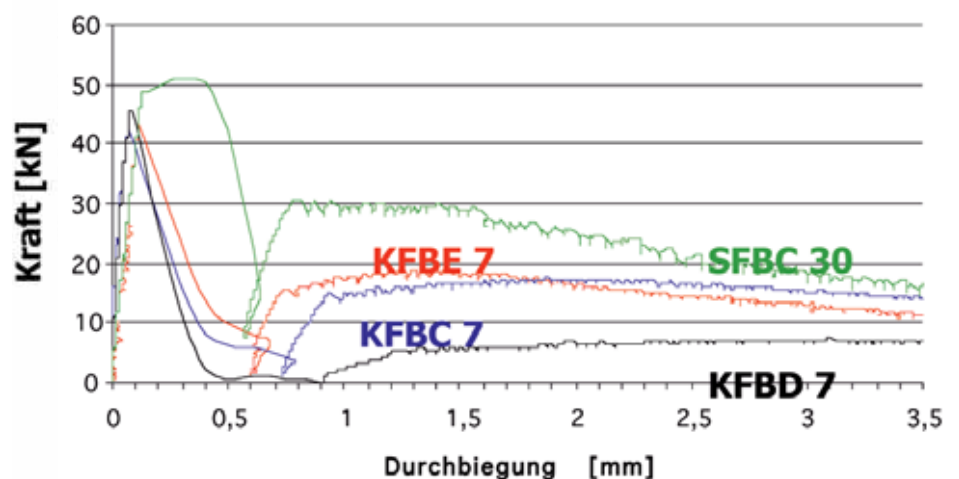


Abb. 2.2.3.: Gegenüberstellung der Arbeitslinien von SFBC 30, SFBC 50 und CFB 305

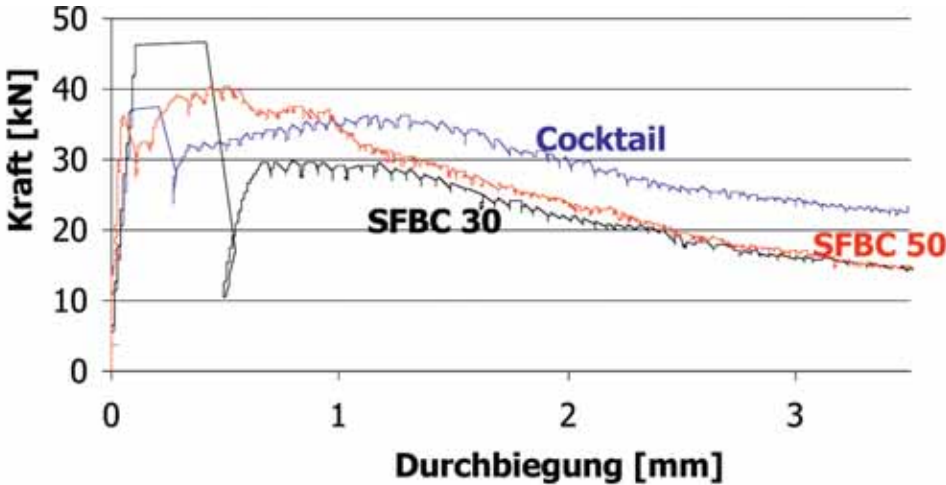
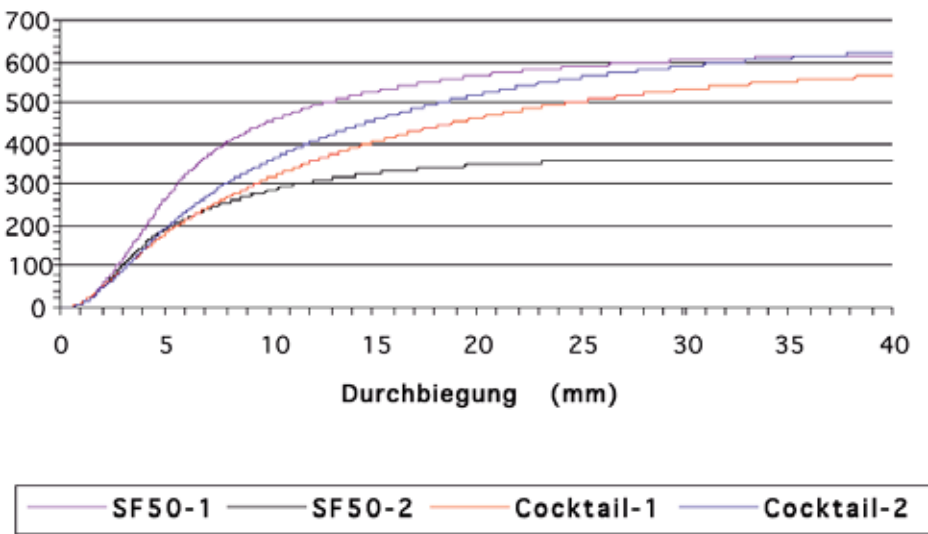


Abb. 2.3.5.: Gegenüberstellung der Arbeitsvermögen – Durchbiegung Diagramme von SFBC 50 und von Cocktail beim Rundplattenversuch



Tab. 2.3.1.: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Energieabsorption von SFBC 50 und von Cocktail nach dem Rundplattenversuch

Durchbiegung (mm)	Arbeitsvermögen (J)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
SFBC 50	226	368	426	456	472	480	484	487
CFB 307	184	336	429	490	531	560	579	594

und verhindern eine weitere Rissöffnung. Dies bedeutet bei Verwendung der Fasercocktailverstärkung in der Zugzone eine deutlich verbesserte Spannungsverteilung und -umlagerung. Durch die Mehrrissererscheinung wurde die maximale Rissöffnung auf der Zugseite von ca. 4 mm auf 3,5 mm reduziert, was sich positiv auf das Tragverhalten auswirkte.

Plattenbiegeversuch

Zusätzlich zur Untersuchung der äquivalenten Biegezugfestigkeit an faserverstärktem SCHPC wurde der Rundplatten-Biege-Versuch an stahl- und fasercocktailverstärkten Hochleistungsbetonen gemäß ASTM [2] und SIA [3] durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass das Verhalten von Stahlfasern und PP-Fasern beim Bruchversagen unterschiedlich ist. So wurden die Stahlfasern nur ausgezogen, die Kunststofffasern zum Teil ausgezogen und gebrochen. Dieses Ergebnis befürwortet den Einsatz von cocktailfaserverstärktem Hochleistungsbeton, da die Zugbeanspruchungskapazität der PP-Fasern besser ausgenutzt werden kann. Dadurch wird einerseits das Ausziehen verhindert und andererseits die Tragfähigkeit der Stahlfasern nach dem Riss erhöht.

Die Mittelwerte des Arbeitsvermögens bei einer Durchbiegung von 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 und 40 mm sind in Tabelle 2.3.1. zusammengefasst.

Die Angaben in Tabelle 2.3.1. veranschaulichen, dass mit der Erhöhung der Durchbiegung (nach 15 mm) das Arbeitsvermögen von Fasercocktail 307 die Werte von SFBC 50 übertrifft. Das heißt, dass die PP-Fasern nach dem Ausziehen der meisten Stahlfasern bei großer Durchbiegung (> 15 mm) ihren Vorteil in der Tragfähigkeit offenbaren.

Die Ergebnisse der Biegezugprüfung, das Auftreten von Mehrfachrissen im Versagensfall und wirtschaftliche Überlegungen lassen den Schluss zu, dass eine optimale Faserbewehrung durch eine Kombination aus Stahl- und PP-Fasern gegeben ist.