

Yining Ding, Dietmar Thomaseth und Christoph Niederegger

Teil 1: Untersuchungen zur Verarbeitbarkeit von faserverstärktem, selbstverdichtendem Hochleistungsbeton (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

Durch die Zugabe von Fasern – sowohl Stahlfasern als auch Kunststofffasern – kann die Verarbeitbarkeit von Mörtel und Frischbeton stark beeinflusst werden. Der frische Beton verhält sich ähnlich wie eine Bingham'sche Flüssigkeit. Zur Bestimmung der Fließgrenze und dynamischen Viskosität von herkömmlichen Mörtelmischungen werden Viskometer verschiedener Bauart bzw. Rheometer eingesetzt. Für Faserbetonmischungen eignen sich diese Prüfvorrichtungen infolge des Fasereinsatzes technisch bedingt nicht.

Die bisherigen Untersuchungen zur Verarbeitbarkeit konzentrierten sich in erster Linie auf das Ausbreitmaß unmittelbar nach der Mischung. Zur Verarbeitbarkeit liefert die vorliegende Studie nur beschränkt Aussagen. Verarbeitungsrelevante Faktoren wie Klebrigkeit oder Nivelliervermögen bleiben dabei unberücksichtigt.

Konkretere Ergebnisse in Bezug auf die Verarbeitbarkeit sollen in einem dynamischen Prozess (z. B. durch eine kontinuierliche Messung der Verarbeitbarkeit innerhalb eines bestimmten Zeitraumes oder durch die Fließrinne) und einem praxisorientierten Versuch mit einer mit Bewehrungshindernissen bestückten Versuchseinrichtung (z. B. durch den J-Ring oder durch den L-Box-Versuch) ermittelt werden.

Versuche

Generell werden die verwendeten Fasern je nach Einsatzgebiet in Mikrofasern (kürzer als 3 cm) und Makrofasern (gleich oder

länger als 3 cm) eingeteilt. Während Mikrofasern hauptsächlich gegen Schwindrisse Verwendung finden, sind Makrofasern für den konstruktiven Einsatz gedacht.

Folgende Fasern wurden verwendet:

- PP-Faser Typ B, (l = 12–18 mm, d = 0,075 mm), ca. 7,5 Mio. Stück/kg
- PP-Faser Typ C (structural synthetic fibres, l = 52–55 mm, äquivalenter Durchmesser = 0,4–0,8 mm), ca. 160.000 Stück/kg
- PP-Faser Typ D (synthetic structural fibres, l = 40 mm, d = 1,1 mm) 29.000 Stück/kg
- PP-Faser Typ E (macro-structural fibres, l = 54 mm, äquivalenter Durchmesser = 0,5 mm)
- Stahlfaser Typ C (l = 30 mm, d = 0,6 mm) Endhaken – lose, Oberfläche glatt – rund, ca. 15.000 Stück/kg
- Stahlfaser Typ F (l = 6 mm, d = 0,16 mm) gerade, Oberfläche glatt – rund, ca. 1,1 Mio. Stück/kg.

Verarbeitbarkeit von frischem Beton mit Mikrofasern

Wie bereits erwähnt, eignen sich Mikrofasern hauptsächlich für den Einsatz gegen Schwindrisse bei SCHPC-Betonen (Self-Compacting High Performance Concrete). Gemäß dem Normentwurf der DIN EN 13395 wird die Fließfähigkeit eines Betons unter Verwendung einer Fließrinne [1] charakterisiert.

Zum Erhalt von Aussagen zum Fließvermögen des mit Kurzfasern (sowohl PP-Faser

von Typ B als auch Stahlfaser von Typ F) verstärkten SCHPC wurden Untersuchungen an Mischungen mit unterschiedlichen Fasergehalten durchgeführt.

Fließverhalten nach dem Mischen

Unmittelbar nach dem Mischen sind die Fließgeschwindigkeiten der Mischungen von NB (Nullbeton), SFBF 10 (Stahlfaserbeton mit 10 kg/m³ F-Fasern) und KFBB 1 (Kunststofffaserbeton mit 1 kg/m³ B-Fasern) ähnlich. Bei einem Fasergehalt von 1 kg/m³ PP-Fasern (Fasertyp B) und 10 kg/m³ Stahlfasern (Fasertyp F) ist keine negative Auswirkung auf die Verarbeitbarkeit des SCHPC feststellbar. Die Versuche der Serien SFBF 30 und KFBB 2 zeigen stark abfallende Fließgeschwindigkeiten, was verglichen mit den anderen Mischungen auf eine schlechtere Verarbeitbarkeit hindeutet. Bei einer Dosierung von 2 kg/m³ Kunststofffasern (Serie KFBB 2) ist ein stark zurückgehendes Ausbreitmaß erkennbar.

Fließverhalten nach 20 Minuten

Durch die nachverflüssigende Wirkung des Fließmittels konnte 20 Minuten nach Mischende (im Vergleich zu den Messungen direkt nach dem Mischvorgang) ein gleichbleibendes bzw. leicht erhöhtes Fließverhalten beobachtet werden. Bei der Mischung von KFBB 2 kam es zu einer stärkeren Abnahme des Fließmaßes als bei der Serie SFBF 30. Dies könnte sowohl auf die große Faseranzahl pro Kilogramm als auch auf die Oberflächenbeschaffenheit (z. B. den Reibungsbeiwert) zurückzuführen sein.

Verarbeitbarkeit von frischem Beton mit Makrofasern

Durch den geringen Durchmesser des Trichterausgangs (bei der Fließrinne) konnte das Fließverhalten des mit Makrofasern verstärkten Betons nicht mittels einer Fließrinne untersucht werden. Verwendete Versuchseinrichtungen zur Bewertung des Fließverhaltens des mit Makrofasern verstärkten Betons waren:

- L-Box
- J-Ring

Diskussion

Die Mischung mit 7 kg/m³ Kunststofffasern des Typs D floss beim L-Box-Versuch innerhalb von 4,5 Sekunden durch die gesamte horizontale Fließstrecke der L-Box (52 cm). Bei der Mischung mit 7 kg/m³ Kunststofffasern des Typs E blieben die Fasern an der Bewehrung hängen; dies hatte einen Stillstand des Fließens zur Folge. Nur ca. 15 Prozent des Frischbetons dieser Mischung sind durch die Bewehrungen hindurchgeflossen. Zusätzlich kam es zu Entmischungerscheinungen. Die Ergebnisse der Serie KFBE 7 spiegeln sich in jenen der Serie KFBC 7 wider. Diese Mischungen können daher für die angestrebten Anwendungen als nicht geeignet klassifiziert werden.

Auch beim J-Ring-Versuch ergaben diese Mischungen (KFBE 7 und KFBC 7) insofern keine zufrieden stellenden Ergebnisse, als Igelbildungen, Anhäufungen beim Bewehrungsring, eine niedrige Fließfähigkeit und eine äußerst geringe Nivellierfähigkeit zu erkennen waren.

Die Serien KFBD 7 (7 kg/m³ D-Fasern), SFBC 30 (30 kg/m³ C-Fasern), SFBC 50 (50 kg/m³ C-Fasern) und die Serie CFB 305 (Fasercocktail mit 30 kg/m³ C-Stahlfasern und 5 kg/m³ D-Kunststofffasern) zeigten hingegen sehr ansprechende Resultate.

Sie zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- gute Fließfähigkeit
- keine Entmischungerscheinungen
- Fähigkeit zum Niveaueausgleich.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen mit schwindreduzierenden Mikrofasern ergaben:

- Faserdosierungen von 1 kg/m³ Kunststofffasern des Typs B oder von 10 kg/m³ Stahlfasern des Typs F führen zu einer ausreichenden Verarbeitbarkeit.
- Fasergehalte von 2 kg/m³ Kunststofffasern des Typs B oder von 30 kg/m³ Stahlfasern des Typs F haben stark negative Auswirkungen auf die Verarbeitbarkeit und sind für die angestrebten Einsatzzwecke als nicht geeignet einzustufen.

Die Untersuchungen mit Makrofasern zeigten:

- Das Fließvermögen und die Fähigkeit zum Niveaueausgleich von faserverstärktem SCHPC können durch die L-Box und den J-Ring-Versuch besser als mithilfe des Ausbreitmaßes beurteilt werden.

- Die gute Verarbeitbarkeit der Serien KFBD 7, SFBC 30, SFBC 50 und CFB 305 könnte auf folgende Ursachen zurückzuführen sein:

- auf die Oberflächenbeschaffenheit der Fasern, besonders auf den kleinen Reibungsbeiwert der Faseroberfläche
- auf die im Vergleich zum Bewehrungsabstand kleine Faserlänge.

Der kleine Reibungsbeiwert verursacht wiederum eine schwache Verbundspannung zwischen Faser und Betonmatrix, was das Nachbruchverhalten des Faserbetons reduzieren kann. Dieser Effekt wird Gegenstand weiterer Untersuchungen (Veröffentlichungen) sein.

Literatur:

[1] Krüger, M.: Prüfmethode zur Untersuchung der Verarbeitbarkeit von selbstverdichtenden Betonen. Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen. Hamburg: Libri, 1999, pp. 182-191.

Untersuchte Serien mit Mikrofasern

Serie	Stahlfaserdosierung [kg/m ³]	Fasertyp	Kunststofffaserdosierung [kg/m ³]	Fasertyp
NB	-	-	-	-
SFBF 10	10,0	F	-	-
SFBF 30	30,0	F	-	-
KFBB 1	-	-	1,0	B
KFBB 2	-	-	2,0	B

Untersuchte Serien mit Makrofasern

Serie	Stahlfaserdosierung [kg/m ³]	Fasertyp	Kunststofffaserdosierung [kg/m ³]	Fasertyp
KFBC 7	-	-	7	C
KFBD 7	-	-	7	D
KFBE 7	-	-	7	E
SFBC 30	30	C	-	-
SFBC 50	50	C	-	-
CFB 305	30	C	5	D