

In der Verwendung als Bewehrung für Faserbetone

Philipp Guirguis*

Eigenschaften von Stahl- und Kunststofffasern

Stahlfasern, Kunststofffasern. Sie können sich anhand ihrer äusserlichen Eigenschaften stark ähneln: Gleiche Länge, gleicher Durchmesser, teilweise auch gleiche Form. Sind diese Eigenschaften bereits ausreichend, um auf eine Gleichwertigkeit ihrer Wirkung als Betonbewehrung zu schliessen? Wohl kaum! Ziel dieser Ausführung besteht darin, Wirkungsweise und Unterschiede von Stahl- und Kunststofffasern als Betonbewehrung zu verdeutlichen.

In den siebzigerjahren erstmalig in den europäischen Markt eingeführt, lagen für den Baustoff «Stahlfaserbeton» weder Normen noch Richtlinien zur Bemessung vor. Anfänglich wurde er daher lediglich als Ersatz konstruktiver Bewehrung oder in der Kombination mit herkömmlichem Stab-^{beziehungseise}Matenstahl zur positiven Beeinflussung der Gebrauchstauglichkeit herangezogen. Mittlerweile wird Stahlfaserbeton als alleinige Bewehrung auch für den Grenz-zustand der Tragfähigkeit eingesetzt. Zu den Hauptanwendungsgebieten zählt im Wesentlichen der Tunnelbau (Stahlfaserspritzbeton für Ausbruch- und Ortsbrustsicherungen, Tübbingproduktion, Sohlenbetone in Zugangstollen), Bodenplatten des Industriebaus und stark beanspruchte Verkehrsflächen. Weiterhin findet Stahlfaserbeton im Wohnungsbau (Bodenplatten, Kellerwände, Streifenfundamente) und im Fertigteilbau seine Einsatzgebiete. Normen, Richtlinien und Merkblätter zur Bemessung und Ausführung von Stahlfaserbeton sind mittlerweile in verschiedenen Ländern ausgearbeitet. Um die Jahrhundertwende wurden Kunststoffmikrofasern für verschiedene Anwendungszwecke von Kunststofffaserherstellern offeriert. Hierzu gehört die positive Rissbeeinflussung im Frühschwindprozess von Betonen und die Reduktion von Betonabplatzungen im Brandfall. Kennzeichnende Längenabmessung für diesen monofilamenten Kunststoffmikrofasertyp liegt zwischen 6 mm und 12 mm. Kunststoffmakrofasern haben ähnliche Abmessungen wie Stahlfasern mit Längen von 15 mm bis 60 mm und Durchmessern von 0,4 mm bis 1,5 mm. Sie gelten als relativ neue Bewehrungsmöglichkeit für Betone. Oftmals werden Kunststoffmakrofasern als gleichwertige oder bessere Alternative zu Stahlfasern angeboten. Inwieweit entspricht dies allerdings den Tatsachen?

Allgemeine Materialeigenschaften von Stahl- und Kunststofffasern

Zugfestigkeit der Fasern

Die Zugfestigkeit handelsüblicher Stahlfasern liegt zwischen 1000 und 2000 N/mm². Für Kunststoffmakrofasern werden Werte zwischen 300 und 600 N/mm² angegeben.

Elastizitätsmodul der Fasern

Der Elastizitätsmodul von Stahlfasern beträgt 210 000 N/mm². Beton selbst weist einen Wert von zirka 30 000 N/mm² auf. Der Elastizitätsmodul verschiedener Kunststofffasertypen liegt hingegen nur bei 3000 bis 5000 N/mm².

Feuerwiderstand von Fasern

Polypropylen Fasern (Kunststoffmikrofasern) schmelzen bei Temperaturen von zirka 160 °C. Im Brandlastfall hinterlassen diese Fasern schmale Kanäle, wodurch Luft entweichen kann. Kunststoffmikrofasern haben sich als wirksam zur Verbesserung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Beton erwiesen. Die Abplatzneigung von Normalbetonen verschwindet beinahe vollständig. Kunststoffmakrofasern schmelzen bei ähnlicher Temperatur, besitzen allerdings durch ihre Beschaffenheit nicht diese positive Wirkung der Mikrofasern. Hingegen bleibt durch die Schmelzneigung bei bereits niedrigen Temperaturen kein weiterer Bewehrungseffekt nach dem Brandfall erhalten. Der Schmelzpunkt der Stahlfasern liegt indessen mit einem Wert von zirka 1500 °C deutlich höher.

Korrosionsverhalten von Fasern

Kunststofffasern können nicht korrodieren, auch wenn diese an der Oberfläche zum Vorschein kommen. Oberflächennahe Stahlfasern hingegen können rosten. Dies führt allerdings zu keiner Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit des Bauteils.

Betonabplatzungen sind aufgrund des geringen Durchmessers nicht möglich, genauso wenig wie eine Kontaktkorrosion, da der Korrosionsvorgang nach wenigen Millimetern endet.

Spezifische Dichte der Fasern

Die spezifische Dichte von Stahlfasern beträgt 7850 kg/m³. Kunststofffasern hingegen weisen einen Wert von ungefähr 910 kg/m³ auf und liegen damit unter dem Wert der spezifischen Dichte von Wasser. Die Tendenz des Aufschwimmens (Fasern an der Oberfläche) ist daher verstärkt bei der Verwendung von Kunststofffasern gegeben.

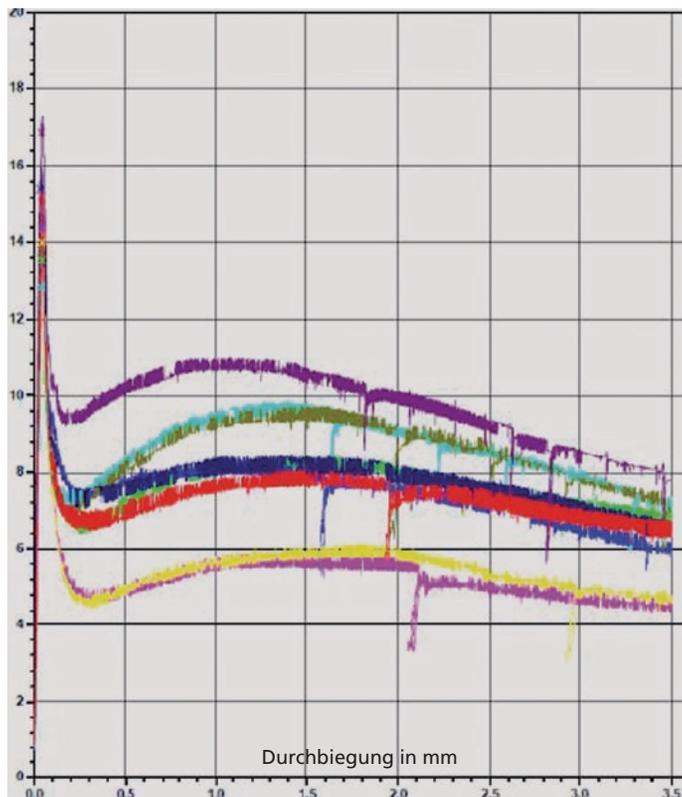
Effektivität von Stahl- und Kunststofffasern als Betonbewehrung

Wirkungsweise des Faserbetons

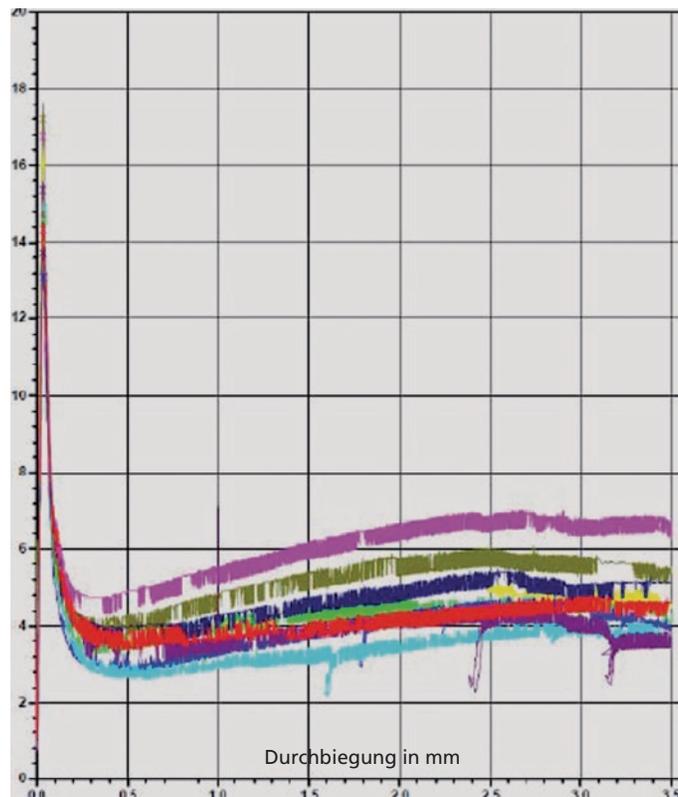
Faserbeton ist bekannt für seine Duktilität. Der spröde Beton wird über die Zugabe von Fasern in einen Baustoff mit duktilem Bauteilverhalten überführt. Bei Bauteilverformungen und damit eingehender Rissbildung bleibt eine Querschnittstragfähigkeit erhalten. Lastumlagerungen werden aufgrund der Duktilität des Baustoffs ermöglicht, so dass bei einer Bemessung die Systemtragfähigkeit als Widerstandsgrösse herangezogen werden kann. Zwei wesentliche Materialeigenschaften, die sehr stark die Leistungsfähigkeit des Faserbetons im gerissenen Zustand beeinflussen, werden nachfolgend genauer unter die Lupe genommen. Hierin wird der tatsächliche Unterschied der Wirkungsweise von Stahlfaserbeton und Kunststofffaserbeton deutlich.

Einfluss des Elastizitätsmoduls

Stahlfasern vereinigen hohe Zugfestigkeiten (1000 bis 2000 N/mm²) mit hohem Elastizitätsmodul (zirka 210 000 N/mm²). Kunststofffasern hingegen weisen mit einer Zugfestigkeit von 300 bis 600 N/mm² einen eher mittleren Wert und viel ausschlaggebender noch mit einem Elastizitätsmodul von zirka 3000 bis 5000 N/mm² einen eher niedrigen Wert auf, zieht man als Vergleichswert das Elastizitätsmodul von Beton mit zirka 30 000 N/mm² heran. An diesem Punkt stellt sich die Frage, wie ein Material sinnvoll bewehrt sein soll, wenn das zur Bewehrung herangezogene Material einen geringeren Elastizitätsmodul besitzt als das zu bewehrende Ausgangsmaterial. Die Wirkungsweise beider Bewehrungsmaterialien (Stahlfasern und Kunststofffasern) lässt sich gut anhand der Ergebnisse von Balkenprüfungen darlegen. Folgender Vergleich basiert auf einer typisch für Faserbeton herangezogenen weggesteuerten Balkenprüfung. *Bild 1* zeigt einen typischen Verlauf der Lastdurchbiegungskurven für Stahlfaserbeton. In einem Referenzbeton wurden



1 Lastverformungskurven. Balken bewehrt mit 25 kg/m³ (0,30 Vol.%) Stahlfasern RC-65/35-BN.



2 Lastverformungskurven. Balken bewehrt mit 8 kg/m³ (0,60 Vol.%) Kunststofffasern.

25 kg/m³ Stahldrahtfasern Dramix RC-65/35-BN (0,30 Vol.%) getestet. *Bild 2* verdeutlicht den typischen Verlauf dieser Kurven für Kunststofffaserbeton. Im gleichen Referenzbeton wurden hier 8 kg/m³ Kunststofffasern (0,60 Vol.%) getestet. Die Balkenherstellung und Prüfung wurde im Labor der NV Bekaert durchgeführt. Stahlfaserbeton reagiert bereits bei kleinen Rissweiten und zeigt dort seine grösste Nachrissbiegezugfestigkeit. Die maximale Leistungsfähigkeit des Stahlfaserbetons ergibt sich bei Rissweiten zwischen 0,3 mm und 1,0 mm. Die optimale Leistungsfähigkeit bei Kunststofffaserbeton stellt sich erst bei grösseren Rissweiten ein. Allgemein wird die grösste Nachrissbiegezugfestigkeit bei Kunststofffaserbetonen erst bei Rissweiten ab 3,0 mm erreicht. Die Systemtragfähigkeit eines Bauteils ist genau dann aktiviert, wenn sich das endgültige Rissbild abgezeichnet hat. Beton als Ausgangsmaterial ist ein sehr spröder Baustoff. Die Rissbildung setzt konsequenterweise bereits bei kleinen Verformungen ein. Die optimale Systemtragfähigkeit ist folglich gegeben, sobald bei kleinen Rissweiten eine möglichst hohe Nachrissbiegezugfestigkeit des Faserbetons zur Verfügung steht. Dies ist bei Stahlfaserbeton genau der Fall. Im Gegensatz wird bei Kunststofffaserbeton nach endgültiger Rissbildung nicht die volle Leistungsfähigkeit ausgeschöpft. Um die volle Leistungsfähigkeit des Kunststofffaserbetons ausnutzen zu können, müsste sich im System eine deutlich

grössere Rissbildung, welche verständlicherweise ungewünscht ist, einstellen. Die Lastverformungskurven beider Bewehrungsvarianten sind in den Bildern 1 und 2 dargestellt.

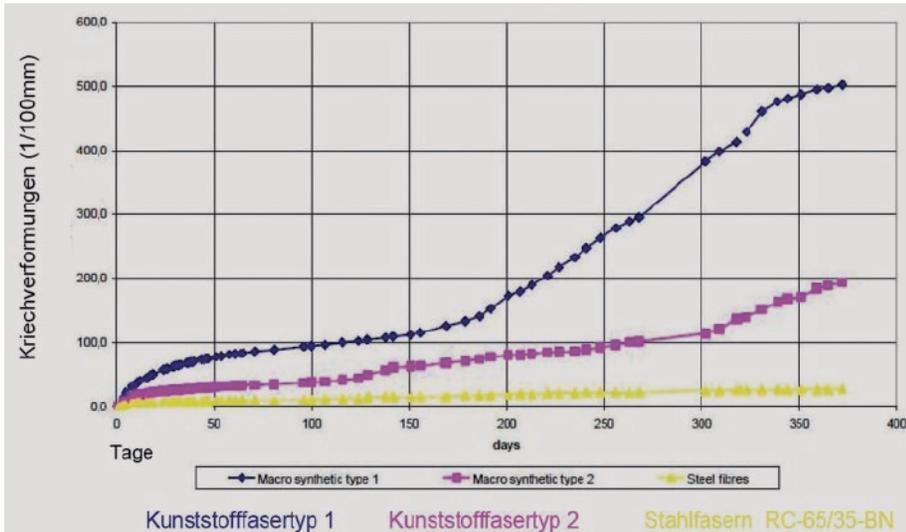
Dauerstandsverhalten (Kriechverhalten)

Ein wesentliches Ziel besteht darin, eine bestimmte Leistungsfähigkeit des Faserbetons zu erreichen und eine Systemtragfähigkeit zu erzielen, die höher liegt als die Erstrisstragfähigkeit des Querschnitts. Genauso wichtig ist es allerdings auch, dass diese Leistungsfähigkeit des Faserbetons dauerhaft zur Verfügung steht. Deshalb ist es wichtig, das Kriechverhalten beider Baustoffe, der Stahlfasern und der Kunststofffasern, zu kennen und zu verstehen. Um das Kriechverhalten beider Baustoffe untersuchen und beurteilen zu können, wurden im Betonlabor der NV Bekaert Kriechversuche an Betonbalken durchgeführt. Die Ergebnisse der Kriechversuche sind in der Veröffentlichung von Lambrechts [2] thematisiert und werden im Rahmen dieses Berichts vorgestellt. Balken mit zwei unterschiedlichen Kunststoffmakrofaserarten in einer Dosierung von je 4,55 kg/m³ (0,5 Vol.%) wurden parallel zu stahlfaserbewehrten Balken mit 20 kg/m³ Dramix RC-65/35-BN (0,25 Vol.%) auf ihr Langzeitverhalten hin unter ständiger Last untersucht. Der Wert der Langzeitbelastung, der für die Kriechversuche jedes Balkens festgelegt wurde, basiert auf einem Lastniveau von 50 % der

Last, die sich bei einer Durchbiegung von 5 mm in einem standardisierten weggesteuerten Balkentest ergeben hat. Zunächst wurden die Balken mittels Vierpunktbiegeversuch bis zu einer Durchbiegung von 5 mm verformt. Der Belastungswert, der zu dieser Durchbiegung geführt hat, wurde zu 50 % als Belastungswert für die Langzeitversuche verwendet. Die Kriechverformungen wurden in gleich bleibenden Zeitintervallen gemessen, wobei sich der Zeitraum der Messungen weit über ein Jahr erstreckte. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihen, dargestellt in *Bild 3*, zeigen bildhaft das Kriechverhalten der mit Kunststofffasern bewehrten Balken auf. Sieben- bis zwanzigmal so hohe Kriechverformungen im Vergleich zu dem mit Stahlfasern bewehrten Balken konnten nach einem Jahr beobachtet werden, und das bereits bei einem Lastniveau von 50 %. Zudem stabilisierten sich auch nach einem Jahr die Verformungen der mit Kunststofffasern bewehrten Balken nicht.

Zusammenfassung

Eine Ausführung von faserbewehrten Bauteilen in tragenden Anwendungsgebieten zielt darauf, nach Erstrissbildung weitere Laststeigerungen aufbringen zu können (Lastumlagerung in statisch unbestimmten Systemen). Zur Bemessung der Leistungsfähigkeit des Faserbetons können Richtlinien wie beispielsweise RILEM TC162-TDF [1] oder SIA 162/6 [4] herangezogen werden. Es



3 Kriechversuch an kunststofffaser- und stahlfaserbewehrten Biegebalken.

ist kaum ratsam, das Arbeitsvermögen unter der Lastdurchbiegungskurve als alleiniges Indiz für die Leistungsfähigkeit des Faserbetons heranzuziehen. Insbesondere wenn Testmethoden eingesetzt werden, die grössere Durchbiegungen als 3 bis 4 mm zulassen, ist die Kurvenform der Lastdurchbiegungskurve ebenso entscheidend. Ziel ist es, die Rissbildung möglichst klein zu halten und gleichzeitig eine hohe Leistungsfähigkeit des Faserbetons zu erhalten. Bei der Verwendung von Kunststofffasern

sollte ein besonderes Augenmerk auf das Langzeitverhalten gerichtet werden. Die Neigung zum Kriechverhalten von kunststofffaserbewehrtem Beton ist bei einer Bemessung von Faserbetonbauteilen grundsätzlich zu beachten, wenn diese für Langzeitbelastungen auszulegen sind. Im Rahmen der Neuerung der Österreichischen Richtlinie für Faserbeton [3] wurden analoge Versuchsreihen zur Untersuchung des Langzeitverhaltens von Kunststofffasern durchgeführt. Die Ergebnisse

gleichen denen, die im Abschnitt *Dauerstandsverhalten (Kriechverhalten)* vorgestellt wurden. Aus diesem Grunde wurde im Rahmen der Österreichischen Richtlinie «Faserbeton» [3] eine Bemessung im Zustand II für Kunststofffasern unter Langzeitbelastungen nicht geregelt. Stahlfaserbeton / Stahlfaserspritzbeton hat sich seit Jahren als zuverlässiger Baustoff bewährt. Nach bereits 30-jähriger Erfahrung mit dem Baustoff «Stahlfaserbeton» sind nunmehr theoretische Grundsätze formuliert und als Bemessungsregeln in diverse Normen, Richtlinien und Merkblätter überführt worden. ■

Literatur

- [1] Rilem TC162-TDF: «Test and design methods for steel fibre reinforced concrete», TC Membership, Chairlady L. Vandewalle, Materials and Structures, Vol 36, October 2003, P560-567.
- [2] Ann N. Lambrechts, The technical performance of steel and polymer based fibre concrete, Concrete for a new world – The institute of concrete technology / Annual technical symposium, 5. April 2005.
- [3] Richtlinie «Faserbeton», Ausgabe Juli 2008, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 1040 Wien.
- [4] SIA 162/6 Empfehlung Stahlfaserbeton, Ausgabe 1999.
- [5] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. Merkblatt Stahlfaserbeton (Fassung Oktober 2001), Deutscher Beton und Bautechnikverein e.V. Berlin.

*Philipp Guirguis, Bekaert GmbH, Deutschland

Dramix® Stahldrahtfasern zur Bewehrung von Tübbing und Spritzbeton im Tunnelbau

Dramix®

 **BEKAERT**

better together

Tübbing:

- Kein Baustahl erforderlich
- Schnellere Herstellung
- International bewährt
- Feuerbeständig mit PP-Fasern

Spritzbeton:

- Keine Mattenbewehrung
- Temporäre Sicherung
- Kürzere Bauzeit
- Weltweit anerkannt

Bekaert (Schweiz) AG

Mellingerstrasse 1
 CH-5400 Baden
 T +41 56 203 60 41
 F +41 56 203 60 49
 sales.schweiz@bekaert.com

www.bekaert.com/building

