

Möglichkeiten des Einsatzes von Fasern in Fertigteilen

In den letzten Jahren wurde in Europa die Normung und Regelung von Faserbeton, im Speziellen Stahlfaserbeton, kontinuierlich vorangetrieben. So wurde z. B. im Oktober 2001 das Merkblatt Stahlfaserbeton [1] in Deutschland veröffentlicht, das derzeit die maßgebliche Grundlage für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen und Zustimmungen im Einzelfall darstellt. Mit der Ausarbeitung einer Richtlinie zum Thema Stahlfaserbeton ist der DAfStb bereits seit 2000 beschäftigt. In Österreich erschien im März 2002 die Richtlinie Faserbeton [2], die nicht nur die Anwendung von

Stahlfaserbeton regelt, sondern auch den Einsatz von Polypropylenfasern für den Brandschutz und zur Verbesserung des Schwindverhaltens. Diese Richtlinie wird derzeit überarbeitet. In Deutschland wird der Weg des Stahlfaserbetons von einem Baustoff, der nur für rein konstruktive Bauteile verwendet wurde, hin zu tragenden Bauteilen anhand der zahlreichen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für z. B. Fundamentbodenplatten und Wände bis hin zu stahlfaserverstärkten Spannbetonbalken deutlich.

Markus Schulz,
KrampeHarex GmbH & Co. KG

Die steigende Seriosität von Fasern als Bewehrung wird in Deutschland unter anderem durch die wesentlich strengeren Anforderungen [3] des Deutschen Instituts für Bautechnik für Zulassungen von Fasern gefördert. Musste vor Jahren lediglich nachgewiesen werden, dass die Zugabe der Fasern den Beton nicht schädigte, muss bei heutigen Zulassungen auch eine Wirksamkeit nachgewiesen werden. Diese Wirksamkeit der Fasern im Beton können die:

- Verminderung der Schrumpfrissneigung,
- Verbesserung mechanischer Eigenschaften des Festbetons,
- Bewehrungsfunktion als statisch wirksame Faser,
- Verbesserung des Brandverhaltens sein.

Stahlfasern werden in der Regel als statisch wirksame Fasern mit Bewehrungsfunktion eingesetzt. Um im Sinne einer Bewehrung zu funktionieren, muss durch die Faserzugabe bei Versuchen am Biegebalken gemäß DBV-Merkblatt mindestens

eine äquivalente Biegezugfestigkeit von 1,0 N/mm² erreicht werden. Die Wirksamkeit von Stahlfasern ist von der Schlankheit (Länge/Durchmesser), der Verankerung der Faser und der Zugfestigkeit abhängig. Prinzipiell gilt, je länger und dünner Stahlfasern sind, desto bessere Ergebnisse erzielen sie. Begrenzt wird dies durch die Mischbarkeit der Fasern und die Verarbeitbarkeit des Faserbetons. Mit steigendem l/d-Verhältnis werden spezielle Dosier- und Vereinzlungsanlagen für eine kontinuierliche Produktion im Fertigteilwerk notwendig. Hier besteht die Möglichkeit, die Fasern



1 Dosieranlage für Fasern mit automatischer Verwiegung



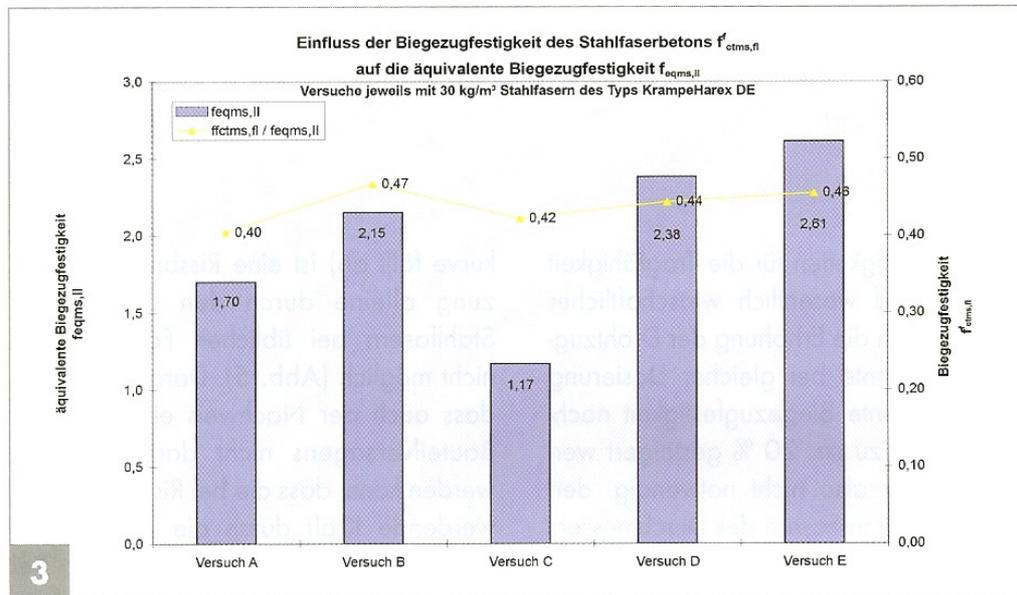
2 Einblasgerät zur Faserdosierung

mittels eines Einblasgerätes, oder aber einer Dosieranlage mit automatischer Verwiegung zu dosieren (Abb. 1 und 2).

Stahlfasern sind allerdings nur ein Baustein des Stahlfaserbetons. Die gleiche Dosierung einer identischen Faser führt bei unterschiedlichen Betonzusammensetzungen zu vollkommen anderen Ergebnis-

sen. Schaut man sich zum Beispiel die Ergebnisse einer Fasertypen DE 50/1,0 N (50 mm lang und 1,0 mm im Durchmesser) als „absolut Werte“ an, so stellt man fest, dass teilweise mit gleicher Dosierung doppelt so hohe Werte erzielt wurden. Stellt man die Ergebnisse nun in Prozent der Biegezugfestigkeit dar, so wird deutlich, dass die verwendeten Betone voll-

kommen unterschiedliche Biegezugfestigkeiten hatten, und dass die reine Faserwirkung in Prozent der Biegezugfestigkeit dargestellt immer ungefähr gleich bei 40 % - 47 % lagen. (Diag. 1) Um einen wirklichen Stahlfaserbeton herzustellen ist daher eine angepasste Rezeptur notwendig. Auch die Zugfestigkeit der Stahlfaser muss in jedem Fall auf die Betongüte abgestimmt sein. Um ein ausgeprägtes duktileres Materialverhalten zu bewirken, müssen die Endhaken der Stahlfasern langsam aufgebogen und herausgezogen werden. Normalfeste Stahlfasern in einem



3

Biegezugfestigkeit des Stahlfaserbetons



Dipl.-Ing. Markus Schulz (1969), 1991-1998 Studium Bauingenieurwesen an der Universität Dortmund, seitdem bei der Firma Vulkan Harex, bzw. heute KrampeHarex GmbH & Co. KG als technischer Leiter tätig. Mitarbeit in verschiedenen Ausschüssen, zum Beispiel für das DBV - Merkblatt „Stahlfaserbeton“, Fassung Oktober 2001, DAFStb - Richtlinie „Stahlfaserbeton“ und ÖVBB - Richtlinie Faserbeton

markus.schulz@krampeharex.com

COBRA MOBILE-Mischer



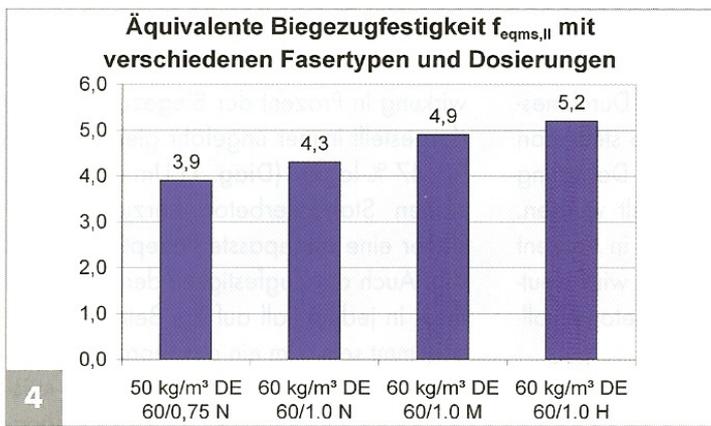
- **Mobiler Betonmischer mit Kapazitäten von 30–120 m³/Std.**
- **Patentierter Spezialkonstruktion mit NEUEM Zuschlagstoffwiegesystem**
- **Einfache Fundamentierung ohne Untergrundarbeiten**
Schnelle und leichte Installation und Verbringung zum nächsten Einsatzort
- **Hochwertige Betonproduktion mit Steuerung unter Windows**
- **Produktion im Winter bis zu -40°C und Heissbetonproduktion**



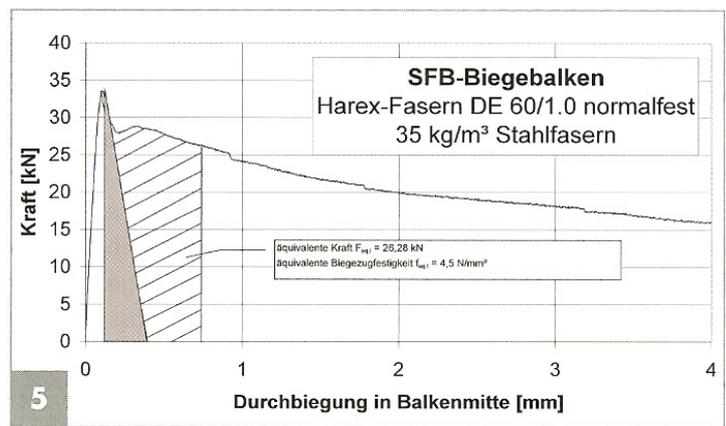
Welcome to BAUMA2007 in Munich 23–29.4.2007. Our stand is 904/3 in open air area.



Tecwill Oy
 Länsikatu 15, 80100 Joensuu, FINLAND
 Telephone +358 13 2637 144
 Fax +358 13 2637186
 info@tecwill.com | www.tecwill.com



Äquivalente Biegezugfestigkeiten verschiedener Fasertypen



Durchbiegungsversuche am stahlfaserbewehrten Biegebalken

hochfesten Beton führen dazu, dass Fasern, anstatt langsam ausgezogen zu werden, reißen und somit kein gleichmäßig duktiler Materialverhaltens erzielt wird, sondern die Lastverformungskurve treppenartig verläuft. Beim Einsatz von hochfesten Fasern in einem Beton mit niedriger Güte würden die Fasern mit Endhaken aus der Betonmatrix herausbrechen (Abb. 3).

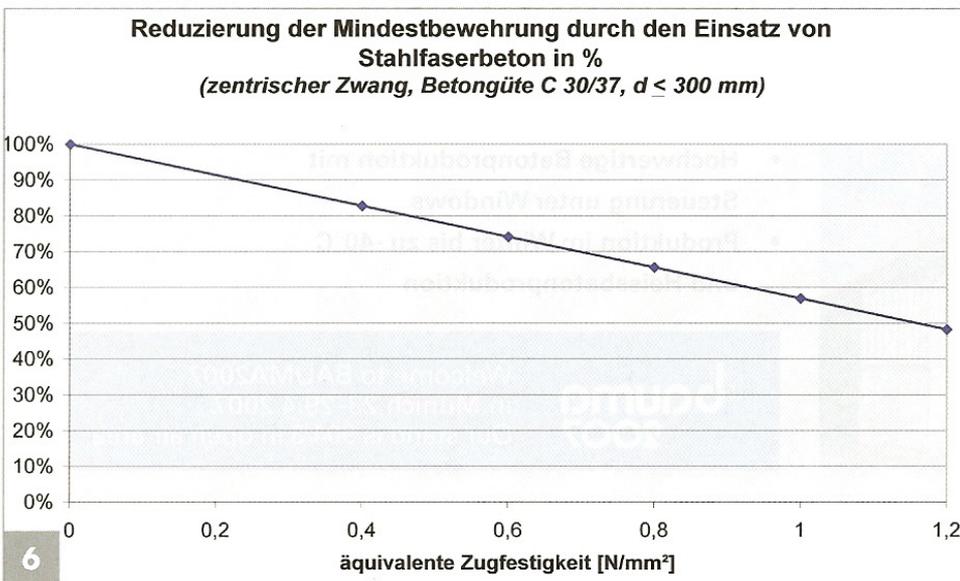
Gerade im Bereich der Fertigteilproduktion weisen die Betone aufgrund des Produktionsprozesses meist hohe Druck- und Biegezugfestigkeiten auf, die bei der Wahl der Faser unbedingt berücksichtigt werden müssen. Versuche mit Beton für die Herstellung von Tübbings zusammen mit Hochtief Consults Materials [4] haben gezeigt, dass bei höheren Festigkeiten des Betons die Verwendung dickerer Faserdurchmesser bei einer ca. 20 % höheren Dosierung höhere äquivalente

Biegezugfestigkeiten für die Tragfähigkeit erzielt und wesentlich wirtschaftlicher waren. Durch die Erhöhung der Drahtzugfestigkeit konnte bei gleicher Dosierung die äquivalente Biegezugfestigkeit nochmals um bis zu ca. 20 % gesteigert werden. Es war also nicht notwendig, den Fasergehalt von Fasern des Durchmessers 0,8 mm soweit zu steigern, um die gleiche Faseranzahl von Fasern des Durchmessers 1,0 mm zu erzielen (56 %). (Abb. 4) Die höhere Steifigkeit der einzelnen dickeren Faser sorgte gerade bei dem verwendeten hochwertigen Beton dafür, dass eine um 15 - 20 % höhere Dosierung ausreichend war.

Stahlfaserbeton in der Praxis

Aufgrund des Materialverhaltens des Stahlfaserbetons (die Lastverformungs-

kurve fällt ab) ist eine Rissbreitenbegrenzung alleine durch den Einsatz von Stahlfasern bei üblichen Fasergehalten nicht möglich (Abb. 5). Daraus resultiert, dass auch der Nachweis eines duktilen Bauteilversagens nicht damit erbracht werden kann, dass die bei Rissbildung frei werdende Kraft durch die Faserbewehrung aufgenommen werden kann. Bei Stahlfaserbeton sind in der Regel Systembetrachtungen notwendig. Bei Fundamentplatten zum Beispiel hilft die Federwirkung des Bodens ein Gleichgewichtszustand bei Biegung zu erlangen. Bei Wänden oder Tunnelschalen hilft die zusätzliche Normalkraft eine definierte Druckzone zu garantieren und somit ein sprödes Bauteilversagen zu verhindern. Im Bereich der Fertigteilproduktion liegt die Zukunft des Baustoffs aber sicherlich im Bereich der Kombinationsbewehrung.



Reduzierung der Mindestbewehrung durch den Einsatz von Stahlfaserbeton

Mit Hilfe der herkömmlichen Bewehrung kann der Stahlfaserbeton zum Beispiel bei der Berechnung der Rissbreite herangezogen werden (Abb. 6). Durch die Abminderung der effektiven Zugfestigkeit des Betons um die Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons können bei zentrischem Zwang durchaus mehr als 40 % der Bewehrung zur Begrenzung der Rissbreite eingespart werden. Weiter können Stahlfasern in Verbindung mit Vorspannung aufwendige Schubbewehrung reduzieren oder sogar ersetzen.

Ein Beispiel hierfür sind die vorgespannten Fertigteilbinder aus Rüttelbeton der Firma Rekers Betonwerk GmbH & Co. KG in Spelle. Die Bügelbewehrung dieser Fertigteilbinder wurde weitgehend durch die Dosierung einer mittelfesten Stahlfaser



7



8

Für ein großes IKEA-Lager kamen Fertigteilbinder aus Stahlfaserbeton zum Einsatz

ersetzt. Für das IKEA Zentrallager in Dortmund wurde eine Zustimmung im Einzelfall erwirkt, so dass nun ca. 780 Fertigteilbinder von einer Länge von ca. 20 m eingebaut werden (Abb. 7 und 8).

Einsatz von Polypropylenfasern

Polypropylenfasern bewirken in erster Linie eine deutliche Verbesserung der Schrumpfrissneigung. Bei Versuchen für die Zulassung der KrampeFibrin PP-Fasern in Deutschland an der Ruhr Universität Bochum [5] konnte nachgewiesen werden, dass durch die Zugabe von Fasern des Typs PM die Schrumpfrissneigung um fast 95 % reduziert werden konnte (Abb. 9). Hierzu wurden gemäß den Zulassungsanforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik Betonplatten (160 cm x 60 cm x 8 cm) mit und ohne Fasern in eine Stahlschalung eingespannt, betoniert und anschließend im Windkanal bei einer Windgeschwindigkeit von ca. 5 m/s geprüft. Verglichen wurde die gesamte Rissöffnungsfläche im Vergleich von Beton mit und ohne Fasern. In der österreichischen Richtlinie „Faserbeton“, Ausgabe März 2002 ist der positiven Eigenschaft von PP-Fasern durch die Einführung so genannter Frühschwindklassen Rechnung getragen worden. Diese werden allerdings in Versuchen am Schwindring ermittelt.



performance meets perfection

Bodenfertiger für Hohlblöcke, Holzbetonmantelsteine und andere Produkte.



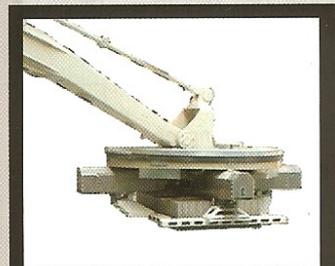
AME Allgemeine Maschinen Entwicklungs-Ges.m.b.H.

Badendorf 12
A-8413 St. Georgen / Stiefing
Tel: +43 3183 7266 - 0
Fax: +43 3183 7266 - 817
E-Mail: admin@ame.at
Web: www.ame.at

Halle B1
Stand 113

Bauma 2007
23. - 29. 04. 2007
München

bauma
2007



Stationäre Betonstein-
fertiger für Pflastersteine,
Bordsteine, Hohlblöcke etc.

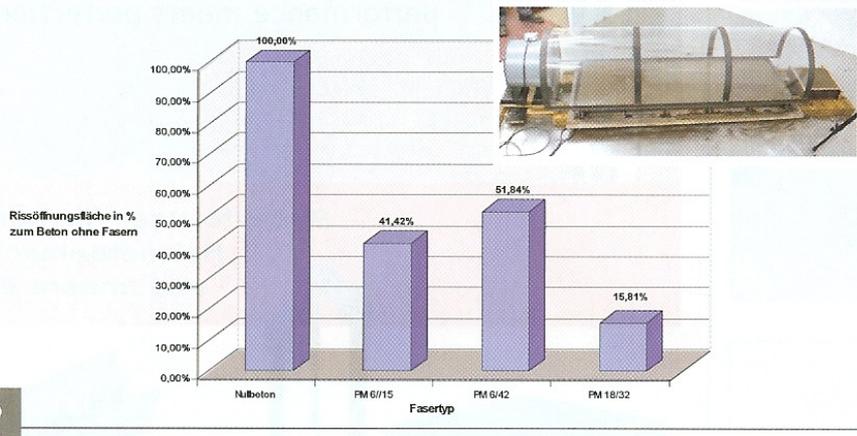
ebenfalls Dampfdruck abgebaut werden. In der bereits erwähnten Richtlinie der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik „Faserbeton“ wird dies durch Faserbetonklassen BB zur Erhöhung der Brandbeständigkeit erfasst. Hier werden Brandversuche an Kleinprobekörpern (60 cm x 50 cm x 30 cm) mit Beton gleicher Zusammensetzung einmal ohne und einmal mit Fasern durchgeführt, wobei die Wirksamkeit über die Verringerung der Abplatzungen zum Beton ohne Fasern definiert wird (Abb. 10).

Versuche auf Grundlage dieser Richtlinie zeigen eindrucksvoll die positive Wirkung der Fasern, wobei der im Tunnelbau vorhandene Einfluss der Drucknormalkräfte vollkommen vernachlässigt wird. Daher wurde in der im Oktober 2003 veröffentlichten Richtlinie „Innenschalenbeton“ [6] ein größerer Betonquader (180 cm x 140 cm x 50 cm) mit zusätzlicher Drucknormalkraft festgelegt.

Polypropylenfaserbeton in der Praxis

Zur Anwendung kommt ein Beton mit Polypropylenfasern derzeit bei der Tübbingproduktion der Firma Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG für das Projekt City Tunnel in Leipzig. Hier werden derzeit die Bahnhöfe „Leipzig - Hauptbahnhof“ sowie der „Bayrische Bahnhof“ durch zwei unterirdische, eingleisige Tunnel verbunden [7]. Für die hier verwendeten Tübbings wurden Brandversuche an der MFPA Leipzig GmbH für die Erteilung einer Zustimmung im Einzelfall durchge-

Einfluss von KrampeFibrin PP-Fasern auf die Schrumpfrissneigung gemäß Zulassungsprüfung Zulassung Z-3.73-1901



9

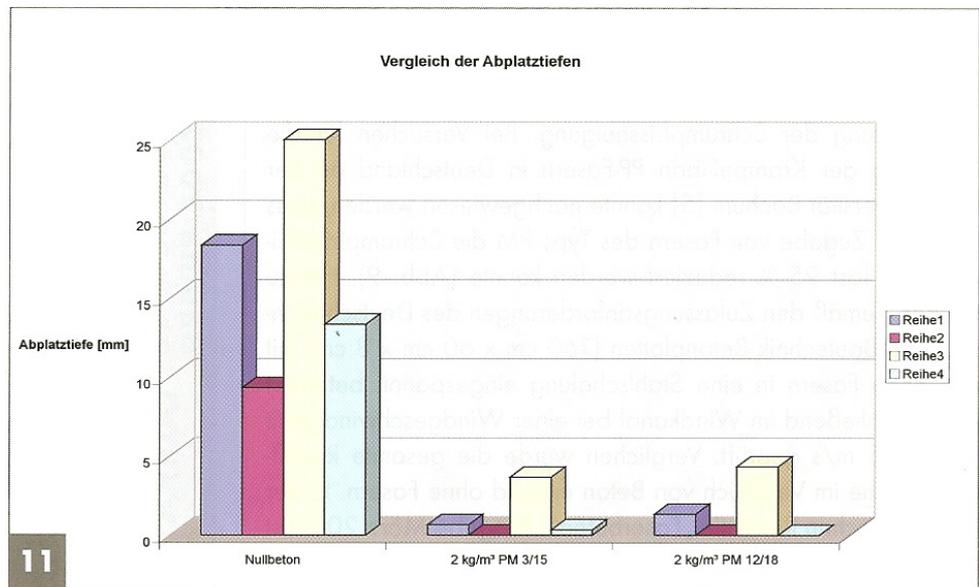
Einfluß von KrampeFibrin PP-Fasern auf die Schrumpfrissneigung

Die im Tunnelbau und Fertigteilterbereich genutzte Eigenschaft bei der Verwendung von PP-Fasern ist meist die Verbesserung des Brandverhaltens. Im Brandfall kann es zu explosionsartigen Abplatzungen des Betons kommen. Dadurch kann die tragende Bewehrung freigelegt werden und durch die schnelle Erwärmung des Bewehrungsquerschnitts die Standsicherheit verloren gehen. Weiter verringert sich der tragende Betonquerschnitt, was ebenfalls zum Versagen des Bauteils führen kann. Das Abplatzverhalten ist von vielen Faktoren abhängig, wie zum Beispiel der Feuchtegehalt des Betons, die Zuschlagsart, die Brandtemperatur, der Temperaturverlauf, die Güte des Betons und eventuelle Druckspannungen im Bauteil. Zu den explosionsartigen Abplatzungen kommt es unter anderem, durch den hohen Dampfdruck, der beim verdampfen des physikalisch gebundenen Wassers und zu einem gewissen Teil auch des in den Gelporen gebundenen Wassers, sowie des Kristallwassers aus den Gesteinskörnungen entsteht. Sollen Abplat-

zungen verringert werden, können zusätzlich zu Maßnahmen, wie die Reduzierung des Feuchtegehaltes im Beton und die Wahl geeigneter Zuschläge, Polypropylenfasern zugegeben werden. Die Aufgabe der PP-Fasern besteht in der Schaffung von ausreichend Porenvolumen zum Abbau des Dampfdruckes. PP-Fasern schmelzen bereits bei ca. 160 °C und bilden so Kapillarporen im Brandfall. Weiter sind die Kontaktzonen zwischen Zuschlag und Bindemittelmatrix durchlässiger als die restliche Bindemittelmatrix. Durch die Faserzugabe bilden sich ähnliche Kontaktzonen um die Fasern aus. Durch das engere Netz solcher durchlässigeren Bereiche von Zuschlag und Fasern kann



Ergebnisse von Brandversuchen an Kleinproben



11

Vergleich der Abplatztiefen

führt. Zum Einsatz kam eine KrampeFibrin Polypropylenfaser PM 6/15 (alte Bezeichnung Fibrin 615), die mit 2,0 kg/m³ dosiert wurde. Neben den Prüfungen für die Zustimmung im Einzelfall wurden Zulassungsprüfungen an der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt, welche die Unschädlichkeit und die bereits angeführte Verringerung der Schrumpfrissneigung nachgewiesen haben. Auf Grundlage dieser Untersuchungen wurde mittlerweile eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Polypropylenfaser des Typs KrampeFibrin vom Deutschen Institut für Bautechnik erteilt. Weitere Versuche in Kooperation mit der MPA Braunschweig gemäß den Anforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik an Probekörpern mit den Abmaßen von 60 cm x 45 cm x 30 cm haben ebenfalls gezeigt, dass Abplatzungen bei Verwendung geeigneter PP-Fasern wesentlich verringert werden können [8]. Auf Grundlage der Versuche soll die Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung der für das Projekt City-Tunnel in Leipzig verwendeten Faser um die Wirksamkeit „Verbesserung des Brandverhaltens“ ergänzt werden (Abb. 11).

Weitere Informationen:



KrampeHarex GmbH & Co. KG
 Pferdekamp 6-8
 59075 Hamm, DEUTSCHLAND
 T +49 2381 977977 - F +49 2381 977955
www.krampeharex.com - info@krampeharex.com

Literatur

1. DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“, Fassung Oktober 2001, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
2. Richtlinie „Faserbeton“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 2002
3. Grundsätze für die Erteilung von Zulassungen für Faserprodukte als Betonzusatzstoff (Zulassungsgrundsätze), Deutsches Institut für Bautechnik, Fassung Januar 2005
4. Untersuchungsbericht „Vergleichende Untersuchungen von Stahlfasern“, Hochtief Consult Materials, 2006
5. Prüfbericht (Teilbericht 1) „Zulassungsprüfungen an Kunststofffasern des Typs PM“, Lehrstuhl für Baustofftechnik Ruhr-Universität Bochum, 2006
6. Richtlinie „Innenschalenbeton“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 2003
7. Dehn, Werther, Knitl, „Großbrandversuche für den City-Tunnel Leipzig, Beton- und Stahlbetonbau, August 2006
8. Prüfbericht „Prüfung von Betonplatten ohne und mit unterschiedlichen Additiven (multifilamenten Polypropylenfasern) in Anlehnung an den „Prüfplan zum Nachweis des Anwendungsbereiches „Verbesserung des Brandverhaltens“ bei Fasern“ des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin bei einer Brandbeanspruchung in Anlehnung an die RABT/ZTV-ING Tunnelkurve“, Materialprüfanstalt für das Bauwesen Braunschweig, 2006



Technologie für die Betonindustrie



24-STUNDEN-SERVICE-LINE

KVM-Schlüsselbegriffe:

- Gesamtlösungen
- Zykluszeiten ab 7 Sek.
- Maximale Effizienz
- Belastbar, robust und langlebig

KVM INTERNATIONAL A/S

Industrivej 24
 DK-8620 Kjellerup
 Tel.: +45 87 702 700
 Fax: +45 87 702 701
 Web: www.kvm.com
 E-mail: kvm@kvm.dk

