

## Anwendung von Stahlfaserbeton für dichte Bauteile mit Rissbreitenbegrenzung

DI René Stelzer  
Lieferbeton GmbH  
www.cemex.com

DI Markus Schulz  
KrampeHarex GmbH & Co KG, Hamm, Deutschland  
www.krampeharex.com

### Zusammenfassung

Die Kombination aus Stahlfaserbeton und Stahlbeton findet immer häufiger Verwendung bei dichten Bauteilen (z. B. Weiße Wannen). Zahlreiche sehr gute Erfahrungen aus ausgeführten Projekten bilden die Grundlage für den weiteren erfolgreichen Einsatz.

Stahlfaserbeton erreicht in Kombination mit Stahlbeton einen signifikant vergrößerten Widerstand gegen eindringende Flüssigkeiten im Vergleich zur herkömmlichen Bewehrung alleine. Diese Verbesserung setzt sich aus zwei wesentlichen Eigenschaften zusammen: Zum einen ergibt sich bei gleicher gemessener Rissbreite eine Verringerung der Durchflussrate und zum anderen wird die durch Beanspruchung (Last, Zwang) verursachte Rissbreite reduziert.

Die wirtschaftlichen Vorteile des kombiniert bewehrten Betons liegen in der Reduzierung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite um bis zu 50 % sowie im geringeren Zeitaufwand beim Verlegen der Bewehrungsmatten.

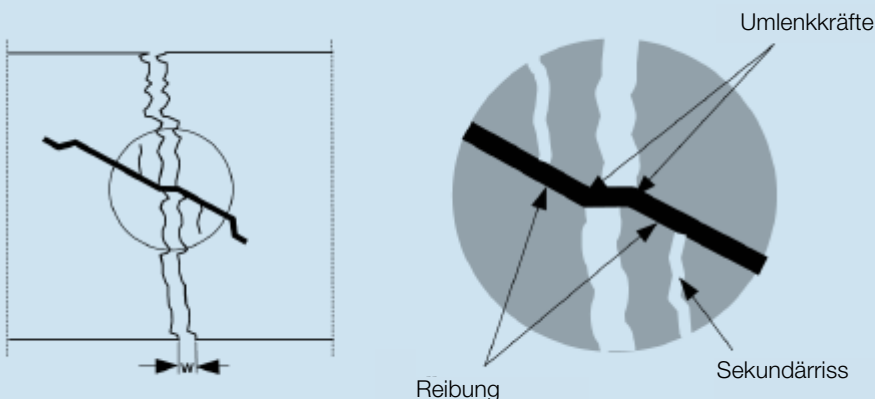
Wasserundurchlässige Betonbauwerke übernehmen neben der tragenden Funktion auch die Abdichtungsfunktion gegenüber anstehendem Wasser [1].

Die Wasserundurchlässigkeit ist von den zur Verfügung stehenden Transportwegen (Kapillarporenraum des Betongefüges, Mikrorisse, Biegerisse, Trennrisse) abhängig. Im Folgenden werden vor allem die schädlichen – meist durch innere Spannungen verursachten – Trennrisse betrachtet.

Um für die Konstruktion schädliche Rissbreiten zu verhindern, wird einerseits versucht, durch konstruktive Maßnahmen – wie zum Beispiel die Anordnung von Fugen – die Rissbildung zu vermeiden. Andererseits wird eine Bewehrung zur Rissbreitenbegrenzung angeordnet [1].

Untersuchungen [2] zeigen, dass Stahlfasern die Rissgeometrie signifikant beeinflussen. Durch Umlenkkräfte in den Drahtfasern entstehen örtlich Zugspannungen, die zu Versätzen, Sekundärrissen bzw. Verästelungen führen (siehe Bild 1). Diese Verästelungen treten nicht nur wie bei herkömmlicher Bewehrung im Bereich der Bewehrungsstäbe, sondern über die gesamte Rissfläche des Faserbetons auf. Dadurch wird ein wesentlich höherer Widerstand gegen das Eindringen von Flüssigkeiten erreicht [3].

Bild 1: Bildung von Sekundärrissen durch Umlenkkräfte im Rissquerschnitt, vgl. [3]



In der Regel kommt es aufgrund von Zwangsbeanspruchungen (das Abfließen der Hydratationswärme, Schwindprozess) bereits im frühen Stadium zur Rissbildung. Die für die Rissbreitenbegrenzung notwendige Bewehrung ist wesentlich von der Zugfestigkeit des Betons abhängig.

Die bei Rissbildung im wirksamen Betonquerschnitt frei werdende Zugkraft muss von der Bewehrung aufgenommen werden. Um die Rissbreiten klein zu halten, muss die Bewehrung möglichst fein verteilt sein. Die zulässigen Dehnungen und Spannungen im Stahl dürfen nur zu einem Teil ausgenutzt werden.



Bild 2: Rohbau der Fundamentplatte und Kellerwand

Foto: Lieferbeton GmbH

### Der wesentliche Ansatz ist die Berücksichtigung der Nachrisszugfestigkeit des Faserbetons

Von der beim Auftreten des Risses frei werdenden Kraft (effektive Zugfestigkeit des Betons) wird ein Teil durch die Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons (TG-Klasse) aufgenommen. Die TG-Klasse wird gemäß der Richtlinie Faserbeton [6] bestimmt. Nun muss der verbleibende Anteil der Zugkraft durch die Betonstahlbewehrung aufgenommen werden.

Im DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton [4] wird dem Einfluss der Fasern durch eine Abminderung der wirksamen Zugfestigkeit des Betons zum betrachteten Zeitpunkt Rechnung getragen.

Deutlich wird der Einfluss der Stahlfasern bereits bei der Ermittlung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite (siehe Gleichung 1).

$$A_s = \frac{(k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} - f_{fds,eff}) \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$$

Gleichung 1: Berechnung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite, vgl. [4], [5], mit:

- $A_s$  = Querschnittsfläche der Betonstahlbewehrung
- $k_c$  = Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung innerhalb der Zugzone (zwischen 0,4 und 1,0 bei zentrischem Zug)
- $k$  = Beiwert zur Berücksichtigung von nichtlinear verteilten Betonzugspannungen (0,8 für  $h \leq 300$  mm, 0,5 für  $h \geq 800$  mm, Zwischenwerte dürfen interpoliert werden)

$f_{ct,eff}$  = wirksame Zugfestigkeit ( $f_{ctm}$ ) des Betons zum betrachteten Zeitpunkt (z. B. bei 2–5 Tagen: 50 % der mittleren Zugfestigkeit nach 28 Tagen)

$f_{fds,eff}$  = Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zum betrachteten Zeitpunkt

$A_{ct}$  = Betonzugzone im Querschnitt (gesamte Querschnittsfläche bei zentrischem Zwang)

$\sigma_s$  = Zulässige Spannung in der Betonstahlbewehrung

Mit dieser Berechnung können die herkömmlichen Bewehrungsgrade selbst im ungünstigen Fall des zentrischen Zwangs wesentlich reduziert werden. Die derzeitige Überarbeitung der Richtlinie Faserbeton des ÖVBB sieht Ansätze vor, die es ermöglichen, die Faserwirkung auch bei der direkten Rissbreitenberechnung anzusetzen.

**Herstellung von werksgemischtem Faserbeton**

Die Herstellung des werksgemischten Faserbetons erfolgt im Transportbetonwerk. Der Beton wird inklusive Fasern mit der Bezeichnung für die Faserbetonsorte, z. B. „FaB T3“, auf die Baustelle geliefert. Die Zugabe und Dosierung kann über den Zwangsmischer oder im Fahrmischer erfolgen. Diese erfolgt meist manuell aus werksverpackten Säcken oder Kartons über verschiedene Fördereinrichtungen wie z. B. Förderbänder oder Einblasgeräte. Für eine automatische Dosierung sind auch verschiedene Faserdosiergeräte erhältlich.

Die Gewährleistung für das Einmischen und die Faserbetoneigenschaft liegt beim Transportbetonwerk. Der Gütenachweis erfolgt gemäß ÖN B4710-1 und der Richtlinie Faserbeton. Für den Faserbeton sind wie beim Normalbeton sowohl eine Erstprüfung als auch der regelmäßige Konformitätsnachweis am Frisch- und am Festbeton erforderlich. Zusätzlich zu den Nachweisen am Normalbeton sind beim Faserbeton der Fasergehalt am Frischbeton zu prüfen und der Nachweis der geforderten Faserbetonklasse (BZ, T und TG) durch einen Biegebalkentest am Festbeton zu erbringen.

**Einbau und Förderung**

Die Pumpfähigkeit des Faserbetons ist, über die Betoneigenschaft Pumpbeton hinausgehend, von der verwendeten Fasertypen (Faserlänge, geometrische Form) und von der Dosiermenge abhängig. Entscheidend ist die Abstimmung der Faserlänge auf den Durchmesser der Förderleitung (z. B. 50 mm Faserlänge, mind. 100 mm Innendurchmesser). Für spezielle Anwendungen (hohe Dosierungen, lange oder komplizierte Förderwege) sollten mit abgestimmter Rezeptur (Mehlkorn, Konsistenz, Größtkorn) Pumpversuche durchgeführt werden.

Der Einbau, das Verdichten und die Nachbehandlung von Faserbeton müssen nach den Regelungen der ÖN B4710-1 durchgeführt werden.

Stahlfasern neigen, auch bei fließfähigen Betonen (z. B. Aaton®) nicht zum Absetzen bzw. Entmischen. Bei Platten richten sich oberflächennahe Fasern durch den Abziehvorgang horizontal aus. Beim Einbau und der Verdichtung entsteht bei genügend Zementleimgehalt über den Fasern eine feinteilreiche Schicht, welche die Fasern überdeckt und daher auch einen guten Schutz vor Korrosion bietet.

Bild 3: Zum Teil fertig gestellte Reihenhäuser  
Foto: Lieferbeton GmbH





Bild 4: Einbringen von Stahlfaserbeton mittels Betonpumpe

Foto: Lieferbeton GmbH

### Reihenhausanlage in Eisenstadt

Der praktische Einsatz soll an dem Beispiel einer ausgeführten Reihenhausanlage verdeutlicht werden.

Fünf Keller mit ca. 8 x 10 m Grundrissfläche befinden sich in einem Gebiet mit hohem Grundwasserspiegel und wurden gemäß dem Nachweis der Rissbreitenbegrenzung als wasserundurchlässige Bauwerke ausgeführt. Der Nachweis der rechnerischen Rissbreite  $< 0,25$  mm erfolgte gemäß den deutschen Regelwerken des DBV. Wesentliches Kriterium war die Verwendung von herkömmlicher Mattenbewehrung in Kombination mit Stahlfaserbeton.

Für die Rissbreitenbegrenzung bei den 30 cm dicken Bauteilen ist eine erforderliche Mindestbewehrung nach Richtlinie Weiße Wannen Konstruktionsklasse 2 (Kon2:  $< 0,25$  mm je Lage von  $7,54 \text{ cm}^2/\text{m}$  [ $\varnothing 12$  mm alle 15 cm]) vorgesehen (zentrischer Zwang, Frührisbildung).

Diese Bewehrung konnte durch den Ansatz einer Nachrisszugfestigkeit von  $0,88 \text{ N/mm}^2$  (Klasse TG 5) bei gleicher rechnerischer Rissbreite auf eine Baustahlgitter-Matte  $5,28 \text{ cm}^2/\text{m}$  reduziert werden. Es konnte daher auf eine aufwändige Stabstahlbewehrung verzichtet werden. Dies brachte durch den geringeren Zeitaufwand beim Einbau der Bewehrungsmatten einen zeitlichen und wirtschaftlichen Vorteil.

**Betonsorte:** Readyfibre® C25/30 B2 FaB T3/BZ 4,5/TG5 GK22 F45

**Transportbetonwerk:** Lieferbeton, Werk Eisenstadt

**Bauträger & Planer:** Fa. Eurofertighaus, Donnerskirchen

**Bauunternehmer:** Fa. Gindl & Wurzenberger GmbH, Purgstall

**Ausführung:** Juni – Juli 2005

### Literatur

- [1] Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen, ÖVBB Dezember 2002.
- [2] Winterberg, R.: Einfluss von Stahlfasern auf die Durchlässigkeit von Beton, Heft 483, DAfStb, 1997.
- [3] Schnütgen, B.: Stahlfaserbeton für den Umweltschutz, Fachbeitrag zum Heft 142 des iBMB der TU Braunschweig, 1999.
- [4] Merkblatt Stahlfaserbeton, DBV, Fassung Oktober 2001.
- [5] prEN 1992-1-1 EC 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau, Ausgabe Juli 2002.
- [6] Richtlinie Faserbeton, ÖVBB, Ausgabe März 2002.