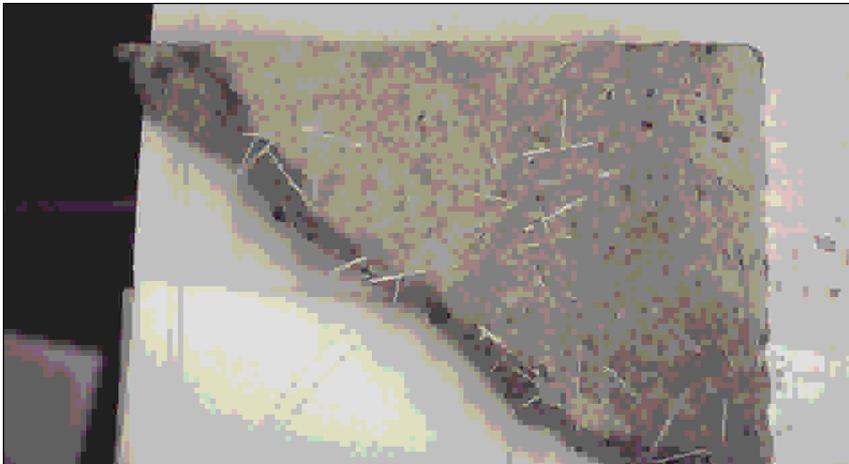


Fasermodifizierter Beton: Geringe Dosierung – große Wirkung

VON DIPL.-ING. THOMAS FRIEDRICH

BETONTECHNIK



1 Bruchverhalten bei Verwendung von diskreten Fasern

1. Einleitung

Die Verwendung von Fasern in spröden Baustoffen hat eine lange Tradition. In früheren Zeiten wurden und heutzutage erneut werden Lehmbauteile mit der Faser "Stroh" angemischt, um die durch die Austrocknung entstehenden Schrumpfrisse zu begrenzen und somit schlussendlich den fertigen Baustoff zusammenzuhalten. Putze wurden in der Vergangenheit mit der Faser "Haar" angemischt, um der Rissbildung durch Austrocknung entgegenzuwirken.

Heutzutage werden andere als die seinerzeitigen Fasern "Stroh" und "Haare" verwendet, jedoch mit dem gleichen Ziel, nämlich die spröden Baustoffe zu verstärken und sie somit zu einem zähen Werkstoff zu machen. Insbesondere die Begrenzung der Riss-

bildung steht im Vordergrund, wenn industrielle Fasern aus Kunststoff, Stahl und Glas eingesetzt werden. In der Anwendung ist ein regelrechter Boom in der Verwendung von Fasern festzustellen. Entsprechende Normungsbestrebungen signalisieren die steigende Bedeutung der Fasertechnik. Richtlinien und Merkblätter versuchen die anzustrebende Qualität in der Anwendungstechnik zu gewährleisten. Während derzeit fast alle Typen von Fasern in entsprechend hoher Dosierung als ausgesprochene Verstärkung der spröden Baumaterialien eingesetzt werden, eröffnen sich neue Anwendungsmöglichkeiten selbst bei geringer Dosierung. Bei den geringen Faserdosierungen spricht man von einem fasermodifizierten Beton, im Gegensatz zu einem faserverstärkten Beton bei den hohen Dosierungen. Während die Faserverstärkung die Tragfähigkeit ver-

bessert, hat die Fasermodifikation Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeit, bzw. auf die Dauerhaftigkeit. Geringe Faserdosierungen beeinflussen verschiedene Feststoffeigenschaften des Betons und verleihen der Matrix damit Eigenschaften, die die Dauerhaftigkeit des Verbundbaustoffes Stahlbeton bzw. Spannbeton verbessern.

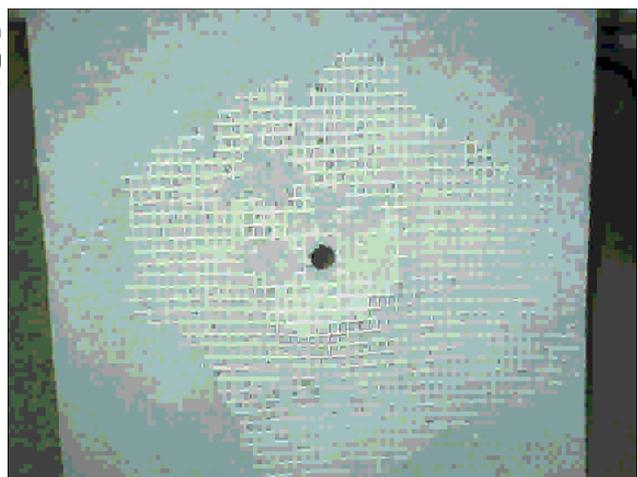
2. Faserverstärkung - Einfluss auf das Tragverhalten.

Einzelne, kurze Fasern, gleichmäßig im Beton verteilt [Bild 1], können dem Verbundwerkstoff Beton nicht die Zugfestigkeit verleihen, die ein kontinuierlicher Bewehrungsstrang an günstiger Stelle im Querschnitt angeordnet, gewährleistet. Die Verwendung eines kontinuierlichen Stranges ist bedeutend effizienter als die dreidimensionale Verteilung einzelner diskreter Fasern. Analog dazu ist die Verwendung eines Glasfasergeleges, oberflächennah [Bild 2] eingebaut, weitaus wirkungsvoller als die gleiche Menge an kurzen Glasfasern im Beton gleichmäßig zu verteilen.

Die Wirkung der kurzen Fasern beschränkt sich somit darauf, aus einem spröden einen verformungsfähigen Baustoff zu machen. Das wiederum ist bereits eine beachtliche Verbesserung.

Denn ein spröder Baustoff zerbricht schlagartig bei entsprechend hoher Beanspruchung, während ein verformungsfähiger, duktiler Baustoff die vorhandene Beanspruchung weiterhin aufnehmen kann bei gleichzeitigem Nachgeben in Form von Verformungen. Ein

2 Bruchverhalten bei Verwendung von Glasfasergitter

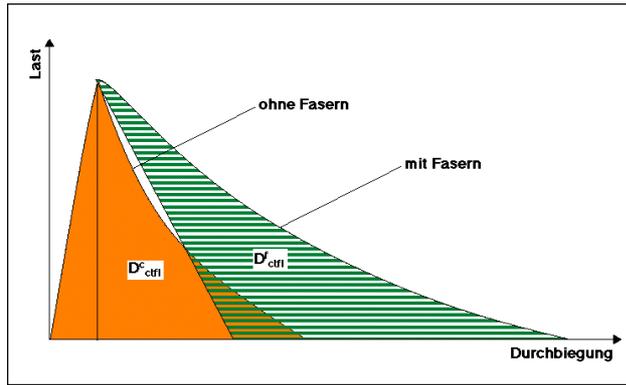


Fasertyp	übliche Dosierungen	Anzahl Fasern
Stahlfaser	20.0 kg	ca. 440
Glasfaser*	3.0 kg	ca. 6.000.000

(* integraler Fasertyp mit 100 Filamenten)

Tabelle 1: Anzahl der Fasern bei üblicher Dosierung

3
Nachrissverhalten von glasfasermodifiziertem Beton



schlagartiges oder sogar explosionsartiges Versagen ist dann ausgeschlossen.

Der Erfolg der Stahlfasern beruht auf diesem Mechanismus. Das zähe Materialverhalten lässt sich überall dort vorteilhaft nutzen, wo sekundäre Bauteile geringen Beanspruchungen widerstehen müssen, ohne dass sie direkt vollständig versagen. Das Nachrissverhalten von faserbewehrtem Beton ist ein Maß für die Verformungsfähigkeit des Baustoffs. Stahlfasern zeigen je nach Formgebung und Ausbildung der Faserenden ein mehr oder weniger ausgeprägtes Nachrissverhalten und damit eine entsprechende Verformungsfähigkeit des Gesamtwerkstoffs.

Dank der im Vergleich zu der üblichen Stahlfasermenge grossen An-

zahl an einzelnen Fasern [Tabelle 1] und dank des hohen Elastizitätsmoduls sind auch Glasfasern in der Lage, ein deutliches Nachrissverhalten auszuweisen. Die zu der großen Anzahl an Einzelfasern gehörige Oberfläche stellt den Verbund zur Betonmatrix her und regelt damit die Aufnahme einer Kraftkomponente. Diese wird dank des hohen Elastizitätsmoduls der Glasfaser zuverlässig weitergeleitet. Versuche [A1] an mit Glasfasern bewehrten Proben zeigen das auch bei den Stahlfasern bekannte Nachrissverhalten [Bild 3]. Somit ist auch die Glasfaser analog zur Stahlfaser in der Lage, das spröde Verhalten des Betons zu vermindern, um somit neue Anwendungsmöglichkeiten zu eröffnen, die bislang nur dem Stahlfaserbeton vorbehalten waren.

3. Fasermodifikation - Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit

AR-Glasfasern in geringer Dosierung verbessern die Gebrauchstauglichkeit und steigern damit die Dauerhaftigkeit der Stahlbetonkonstruktion. Nach

den negativen Erfahrungen der vergangenen Jahre wird der Dauerhaftigkeit heutzutage eine grosse Bedeutung zugemessen. Schäden am Beton durch Korrosion der Bewehrung [Bild 4] gilt es zu vermeiden. Hohe Werte für die Überdeckung, ein dichter Beton und die Begrenzung der Risse in Abstand und Breite dienen dazu, die Stahleinlagen zuverlässig zu schützen und somit die Schäden zu vermeiden. Diese Ziele lassen sich mit den materialtechnologischen und konstruktiven Maßnahmen nur schwerlich in vollem Umfang erfüllen. Abhilfe bieten die Glasfasern. Schon während der Erstarrungsphase kann mit der Glasfaser Einfluss auf das Gefüge und damit auf eine stabile, zukünftige Betonmatrix genommen werden.

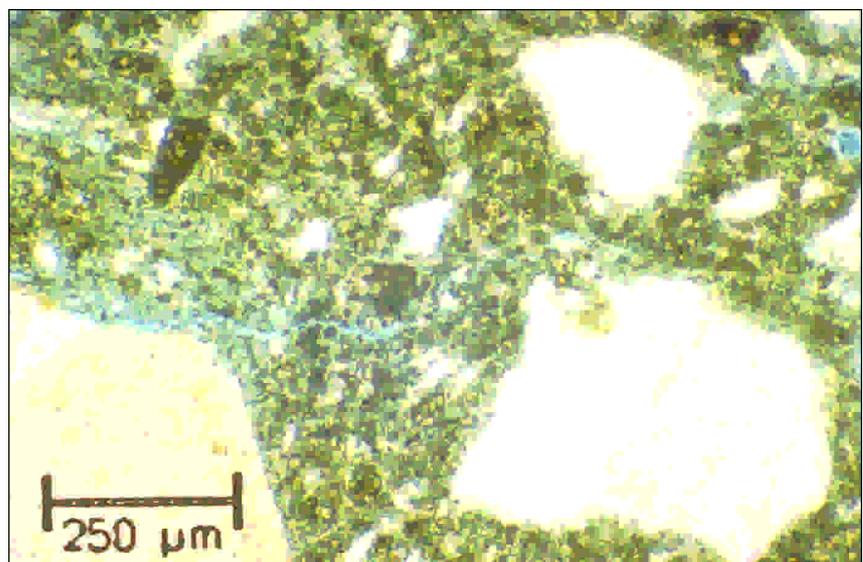
3.1 Verhinderung der Mikrorissbildung im Gefüge

Die schon bei geringer Dosierung sehr große Anzahl an einzelnen Fasern beeinflusst die Betonsteinmatrix während ihrer Entstehung. Dabei wirken die Glasfasern einerseits als Verstärkungsfasern in der erhärtenden Matrix (im jungen und erhärteten Beton) und andererseits in Form einer Nachbehandlung. Denn die große spezifische Oberfläche der Glasfasern bindet Wasser und gibt diese während des Erhärtungsvorgangs wieder ab.

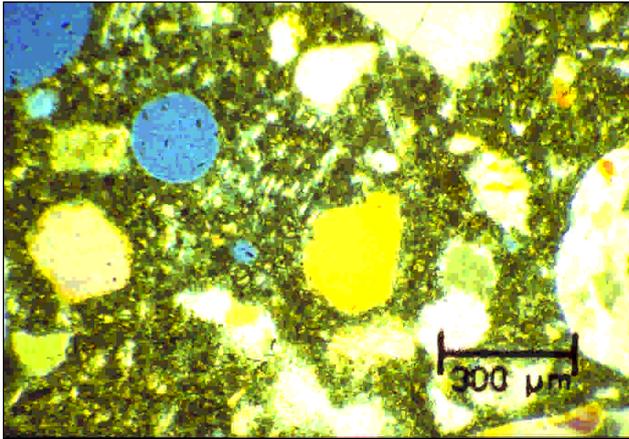
Während der Erhärtung bilden sich i.d.R. Mikrorisse, die entlang den Zuschlagkörnern verlaufen [Bild 5]. Dank des Selbstheilungseffektes schließen sich diese Mikrorisse wieder, stellen jedoch bereits eine Gefügestörung dar. Untersuchungen [A2] haben gezeigt,



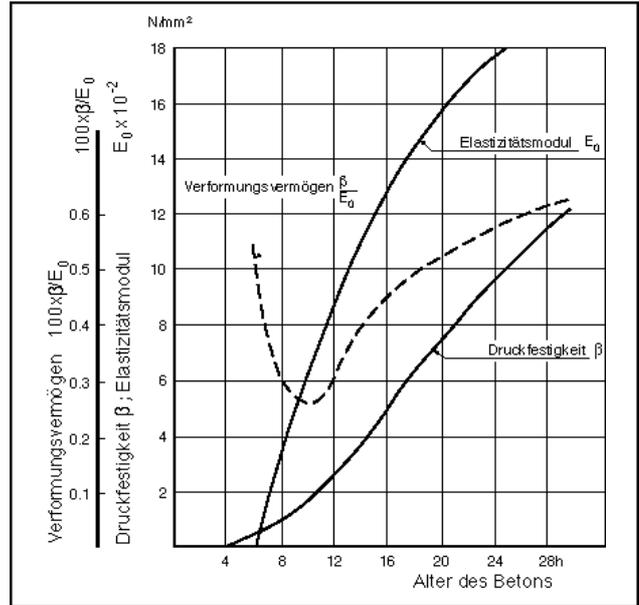
4 Korrosionsschäden an Stahlbetonbauteilen



5 Gestörtes Betongefüge durch Mikrorissbildung



6 Ungestörtes Betongefüge mit Hilfe von AR-Glasfasern



7 Festigkeitsentwicklung von Beton

dass diese Mikrorisse bei der Verwendung von Glasfasern in geringer Dosierung nicht auftreten [Bild 6]. Das lässt darauf schließen, dass das Vorhandensein von Glasfasern die Bildung von Mikrorissen verhindert und damit zu einem ungeschädigten Betongefüge beiträgt.

3.2 Reduktion der Rissbildung im jungen Beton

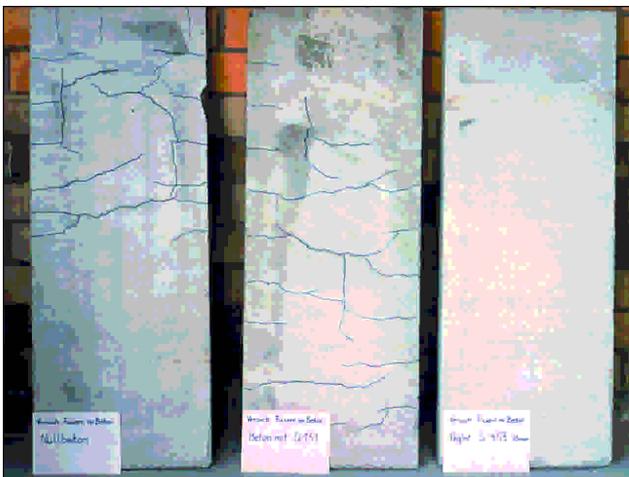
Im erhärtenden Beton entwickelt sich die Festigkeit (insbesondere die Zugfestigkeit) erst allmählich. In diesen frühen Stunden der Erhärtung entstehen bereits die Einwirkungen infolge Zwangsbeanspruchung, verursacht durch einerseits Schwinden und andererseits Abfließen der Hydratationswärme. Sobald die Einwirkungen größer werden als der vorhandene Zugwiderstand, bilden sich die ersten Risse [Bild 7]. Zu diesem Zeitpunkt, wenn der Beton noch sehr

"grün" ist, vermag eine eingelegte Bewehrung noch keine Wirkung zu entfalten, da noch kein ausreichender Verbund zwischen Betonmatrix und Stahl vorhanden ist. Um die Risse dennoch zuverlässig zu verhindern, kann man entweder die Beanspruchungen reduzieren oder den Betonwiderstand vergrößern. Durch geeignete Zementarten und/oder durch eine ausreichende Nachbehandlung lassen sich die Beanspruchungen in der frühen Phase reduzieren. Durch die Zugabe von Fasern (geeignet sind nur Kunststoff- oder Glasfasern) kann der Widerstand erheblich gesteigert werden. Untersuchungen an Plattenstreifen [Bild 8], die einer schnellen Austrocknung unterworfen wurden, haben gezeigt, dass eine geringe Bewehrung in Form von Glasfasern bereits wirkungsvoll die Rissbildung im frühen Stadium verhindern kann. Wie erwähnt weisen die Plattenstreifen mit einer Stahlbewehrung

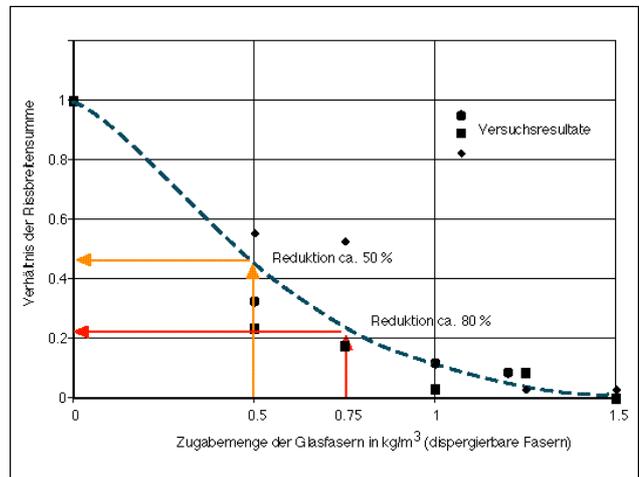
ebenso Risse auf, wie diejenige ohne jegliche Bewehrung. Zuverlässig ließen sich die Risse in der Platte nur mit einer Faserbewehrung aus AR-Glasfasern verhindern. Weitere Untersuchungen an Schwindrinnen [A3] haben ergeben, dass bereits eine geringe Dosierung an Fasern ausreicht, die Rissbreitensumme zu reduzieren oder Risse gänzlich zu verhindern [Bild 9].

3.3 Dichte Betonbauteile - Begrenzung der Eindringtiefe

Je nach Anforderungen aus der Nutzung sind heutzutage dichte Betonkonstruktionen gefragt, um z.B. Flüssigkeiten zu lagern oder die Umgebung vor dem Eindringen von umweltgefährdenden Flüssigkeiten zu schützen [Bild 10]. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen einerseits die Risse in der Betonkonstruktion begrenzt werden und andererseits ist der Beton selbst



8 Rissbilder an Versuchsplatten mit verschiedenen Bewehrungskonzepten



9 Risssummenreduktion in Funktion der Dosiermenge



10 Flüssigkeitsdichte Betonbecken

ausreichend dicht auszuführen. Ein Maß für die Dichtheit des Betons ist die Eindringtiefe. Im Rahmen der Untersuchung von Belagkonstruktionen aus Beton wurden verschiedene Betonrezepturen auf ihr Wassereindringverhalten getestet. Das Ergebnis dieser Untersuchung [Bild 11] zeigt deutlich auf, dass der Beton ausreichend dicht ausgeführt werden kann mit Hilfe der Verwendung von AR-Glasfasern in geringer Dosierung. Die Verbesserung der Eindringtiefe einer Normalrezeptur

kann bereits geringfügig durch den Einsatz von Steinkohlenflugasche anstelle der üblichen Zementdosierungen erreicht werden. Weit markanter fällt die Reduktion der Eindringtiefe durch die Verwendung von AR-Glasfasern aus.

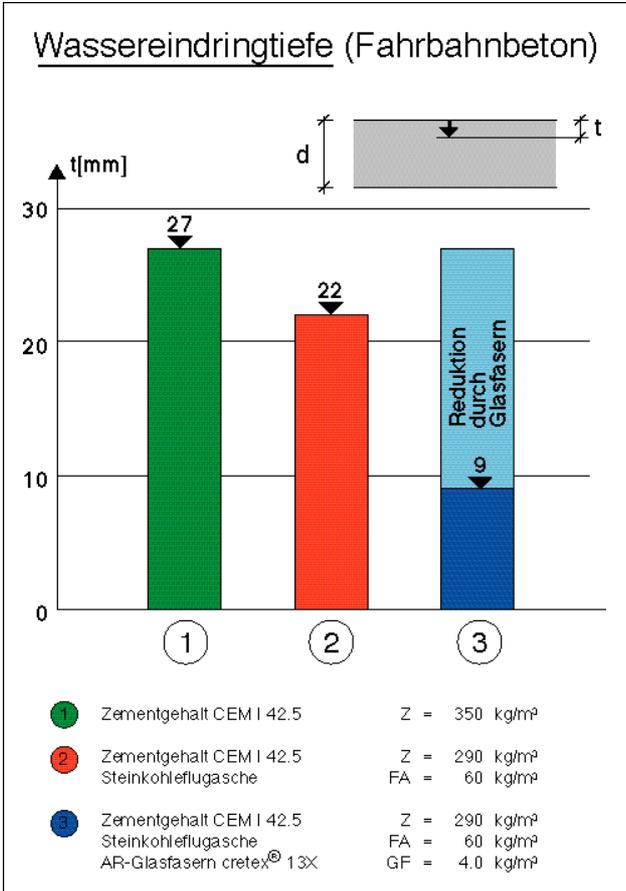
Das Ergebnis dieser Untersuchungen hat u.a. dazu geführt, Belagkonstruktionen aus Beton unter Verwendung von Glasfasern auszuführen. Mittlerweile wurden Straßenbeläge für Stra-

ßenfahrbahnen und großflächige Belagsarbeiten in Beton unter Verwendung von AR-Glasfasern ausgeführt.

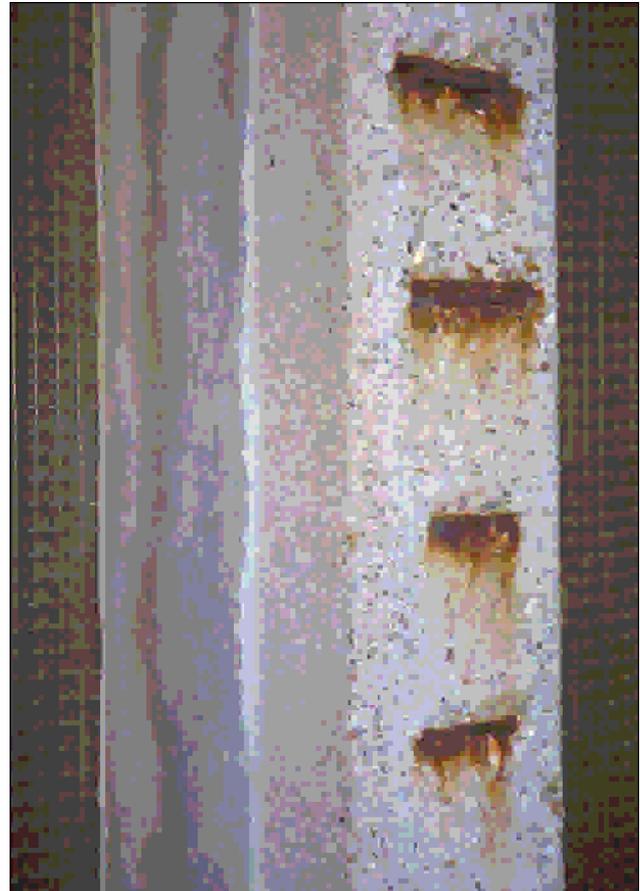
3.4 Einfluss auf das Karbonatisierungsverhalten

Bekanntlich schützt das alkalische Milieu des Betons die Stahleinlagen vor Korrosion. Eine ausreichende große Überdeckung vorausgesetzt, ist der Schutz der Bewehrung auf lange Zeit gesichert. Zudem muss das Betongefüge der Überdeckung ausreichend dicht sein, um das Eindringen von Stoffen aus der Umwelt zu verhindern oder zu begrenzen. Insbesondere die CO₂-Gase der Atmosphäre dringen jedoch in das Betongefüge ein und heben mit der Zeit die für den Stahl schützende Betonumgebung auf. Man spricht in diesem Zusammenhang von der Karbonatisierung des Betons. Sobald die Karbonatisierungsfront den Stahl erreicht hat, ist die passive Schutzschicht des Stahls aufgehoben und er beginnt zu korrodieren. Das Ergebnis sind abgeplatzte Betonoberflächen, blankliegende Stahleinlagen und Rostfahnen [Bild 12].

Abhilfe bietet eine ausreichend gro-

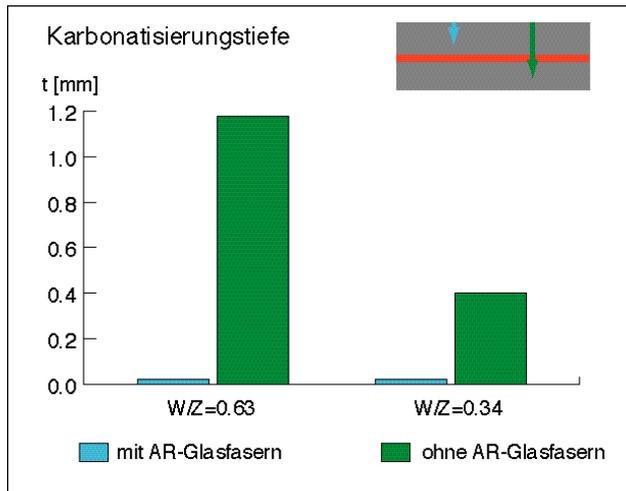


11 Wassereindringtiefe für verschiedene Betonrezepturen



12 Beschädigte Betonoberfläche infolge Korrosion

13
Einfluss der AR-Glasfasern auf die Karbonatisierungstiefe



Bei Betonüberdeckung oder die Verwendung von AR-Glasfasern in der Betonmatrix. Versuche [A4] haben gezeigt, dass der Einsatz von AR-Glasfasern die Eindringtiefe für die Karbonatisierung maßgeblich reduzieren kann. Im direkten Vergleich mit luftgetrockneten Betonproben weisen solche mit Glasfasern nur eine geringe Eindringtiefe auf [Bild 13]. Der Einfluss der Glasfasern auf die Karbonatisierungstiefe ist um so größer, je konzentrierter die Glasfasern an der Oberfläche des Betonkörpers angeordnet sind.

3.5 Einfluss auf die Schlagzähigkeit

Fasern steigern die Zähigkeit von Beton. Betonkonstruktionen, die Stoss- und Schlagbeanspruchungen ausgesetzt sind, sollten sinnvollerweise mit Fasern bewehrt werden. Scharfe Kanten von Ort beton- oder Fertigteilbauteilen wie z.B. Treppen oder Stützen sind großen Schlagbeanspruchungen ausgesetzt. Insbesondere Fertigteilbauteile sind durch den Transport und die Montage oftmals größeren Schlagbeanspruchungen ausgesetzt. Das Er-

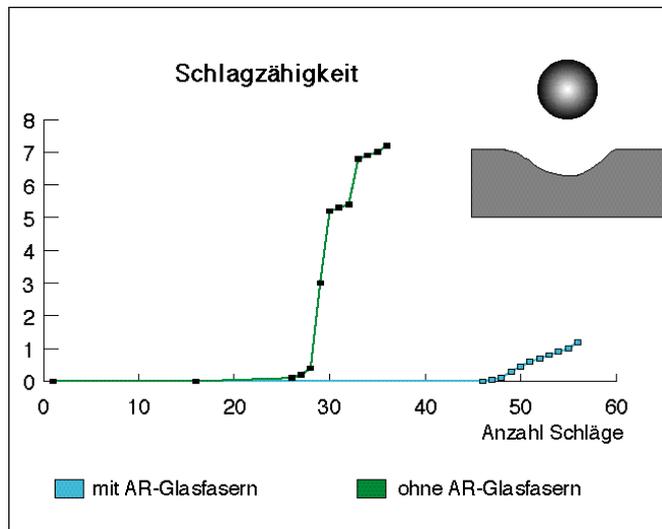
ziert werden, wenn AR-Glasfasern verwendet werden.

3.6 Sichtbeton

Die Anforderungen an den Sichtbeton verlangen eine gleichmäßige Struktur und eine porenfreie Oberfläche. Die Betonrezeptur, die Verarbeitung und die Schalungsoberfläche sind aufeinander abzustimmen, um diesem Ziel nahe zu kommen. AR-Glasfasern helfen mit, dieses Ziel zuverlässig zu erreichen. Das spezifische Gewicht der Glasfasern entspricht demjenigen des Betons, wodurch eine gute Einmischung und Verteilung gesichert ist. Die Glasfasern lassen sich vollständig in die Betonmatrix einarbeiten und bleiben an der Oberfläche unsichtbar für den Betrachter und stören somit das Erscheinungsbild nicht. Beim Einmischen der Glasfasern steift die Mischung leicht an. Die relativ große Oberfläche der Glasfasern bindet Wasser und Feinbestandteile, und macht die Betonmischung zäher [Bild 16]. Beim Einbau des Betongemisches bei gleichzeitiger Verwendung von Verdichtungsenergie wird die Mischung jedoch wieder flüssig. Frischbeton mit AR-Glasfasern verhält sich wie eine thixotrope Flüssigkeit [Bild 17]. Diese Eigenschaft ist jedoch von großem Vorteil für die



14 Kantenbeschädigung durch Schlagbeanspruchung



15
Einfluss der AR-Glasfasern auf die Schlagzähigkeit

gebnis einer ungenügenden Schlagzähigkeit von Betonstrukturen sind abgeplatze Kanten und Ecken [Bild 14]. Diesem Mangel üblicher Betonkonstruktionen kann abgeholfen werden, indem AR-Glasfasern der Betonmatrix beigefügt werden. Das Ergebnis einer Untersuchung [A4] zeigt deutlich auf, dass die sich durch eine Schlagbeanspruchung ablösenden Betonteile [Bild 15] an der Oberfläche markant redu-

Herstellung von Sichtbeton. Die zähe, zusammenhängende Betonmasse wird verflüssigt und somit gleichmäßig eingebracht, um nach der Verdichtung in zäher Form in der eingebauten Form zu erstarren. Betonmilch und Feinbestandteile verbleiben dank dem zähen Verhalten bei der Betonmatrix und schädigen somit die Oberflächenstruktur nicht durch Auslaufen. Das Ergebnis sind gleichmäßige Betonoberflächen,



16 angesteifte Betonmischung durch Beimischung von Glasfasern



17 thixotropes Verhalten einer glasfasermodifizierten Betonmischung

scharfe Kanten selbst bei gestoßenen Schalungseinheiten [Bild 18,19].

4. Zusammenfassung

Fasern dienen nicht nur der Steigerung des Nachrissverhaltens und damit der Veränderung des Tragverhaltens. Während die Stahlfaser diese Verbesserung zum Ziel hat, eröffnen sich der AR-Glasfaser dank ihrer gegenüber der Stahlfaser andersartigen Eigenschaften weitere Anwendungsbereiche. Von großer Bedeutung für diese Anwendung ist die Wirkung der AR-Glasfaser bereits in geringen Dosierungen, als so genannter fasermodifizierter Beton. Selbst in geringer Do-

sierung liegen die einzelnen Glasfasern in einer großen Menge in der Betonmatrix vor (vergleiche Tab. 1). Das hat zur Folge, dass vielerlei Eigenschaften des Frischbetons, des jungen und des erhärtenden Betons sowie die Festbetoneigenschaften sich gezielt verbessern lassen. Diese Verbesserungen wirken sich insbesondere auf die Gebrauchseigenschaften und auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen aus. Da Fasern, gleich welcher Art, die Stahleinlagen nicht ersetzen können, geht es darum, die Eigenschaften des Betons so zu verbessern, dass der Verbundwerkstoff Stahlbeton höherwertige Eigenschaften aufweist. In diesem Sinne wirkt die gering dosierte AR-Glasfaser, indem unter anderem die Eindringtiefe, das Karbonatisierungsverhalten, die Schlagzähigkeit etc. verbessert werden und damit dem Stahlbeton neue Anwendungsgebiete erschlossen werden.

Literatur

[A1] Oliver Koock, TU Braunschweig, "Bruchmechanische Untersuchungen glasfasermodifizierten Betons", Diplomarbeit April 1999

[A2] Prof. P. Schiessl, RWTH Aachen, "Gutachterliche Stellungnahme zu Untersuchungen zum Einfluss von Glasfaserzusätzen auf die Frühfestigkeit von Beton", September 1997

[A3] M. Bayer, "Zum Einfluss von AR-Glasfasern auf die Widerstandsfähigkeit von Estrich/Beton gegenüber Frühschwindrissbildung", Rheinstetten, 30. September 1997

[A4] P.A. Claisse, P.C. Monypenny, "The Use of Glass Fibre Mat in the surface of concrete", International Congress GRC 98, Cambridge, April 1998



18 Scharfkantigkeit bei Sichtbetonbauteilen



19 Sichtbeton von Betonfertigteilelementen (Stützen, Träger)

Weitere Informationen:

für Deutschland:

NOVACRET

Novacret Faserbaustoff-Technik GmbH
Postfach 1270 – Balduinstrasse 1A
D-54462 Bernkastel-Kues
Tel ++49 6531 96 82 41
Fax ++49 6531 96 82 42
info@novacret.com
www.novacret.com

für die Schweiz:

Novacret AG
Postfach – Eisengasse 9
CH-8032 Zürich
Tel ++41 1 266 92 51
Fax ++ 41 1 266 92 61
info@novacret.com
www.novacret.com