Alkaliresistente Glasfasern als Betonzusatz zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Betonbauteilen. Untersuchungsergebnisse, ausgeführte Bauobjekte, Anwendungsspektrum

Th. Friedrich

Domostatik AG Zürich, Schweiz

Vortrag gehalten an der Fachveranstaltung "Faserbetone: Materialtechnologische Grundlagen und praktische Anwendungsmöglichkeiten"; Wildegg 24. Juni 1998

und veröffentlicht im Tagungsband " Faserbetone: Materialtechnologische Grundlagen und praktische Anwendungsmöglichkeiten "; Veranstaltung 4742/43
Herausgeber: Schulungszentrum TFB Wildegg, 1998

ALKALIRESISTENTE GLASFASERN ALS BETONZUSATZ ZUR VERBESSERUNG DER GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN VON BETONBAUTEILEN. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE, AUSGEFÜHRTE BAUOBJEKTE, ANWENDUNGSSPEKTRUM

Th. Friedrich

Domostatik AG Zürich, Schweiz

1. Einleitung

Die Anwendung von Fasern in Form von Haaren oder Pflanzenfasern in mineralischen Werkstoffen hat eine lange Tradition. Mit Stroh vermischter Lehm wurde zur Verfüllung der Zwischenräume von Holzfachwerken verwendet. Die Verstärkung des Lehmmaterials in Form von Stroh reduzierte die Rissbildung, welche durch die Austrocknung (Schwinden) des Lehms entsteht. Tierhaare wurden den Wandputzen beigemischt, um ebenfalls die Rissbildung zu begrenzen oder gänzlich zu vermeiden.
All diesen Überlegungen liegt das Prinzip zugrunde, durch Verformungen entstehende Risse zu verhindern oder in ihrer Grössenordnung zu begrenzen. Selbst bei einer nicht auszuschliessenden Rissbildung bleibt durch die Fasern der Zusammenhalt des Materials gewährleistet und somit die Gesamttragfähigkeit erhalten.

2. Fasern für zementgebundene Baustoffe

Zementgebundene Baustoffe (Beton, Mörtel, Putze, etc.) neigen aufgrund ihrer materialtechnischen Zusammensetzung ebenfalls zur Rissbildung während der Erstarrungsphase infolge schnellem Austrocknen, Wärmeabfluss durch Hydratation und Schwinden. Die Dauerhaftigkeit dieser Baustoffe wird entscheidend von einer ausreichenden Gebrauchstauglichkeit bestimmt. Diese wiederum wird massgeblich von der Rissbildung beeinflusst. Das Verhindern oder zumindest das Begrenzen der Risse ist das Ziel aller planerischen, material- und ausführungstechnischen Überlegungen. Entsprechend wurden in der jüngeren Vergangenheit grosse Anstrengungen unternommen, die Rissbildung in zementgebundenen Baustoffen zu begrenzen.
Der Einsatz von Fasern ist eine Möglichkeit, diese Problematik zu beherrschen. Entsprechend wurde mit verschiedenen Faserarten experimentiert und Erfahrungen gesammelt. Zu dem derzeiti-

Eigenschaft	Einheit	Polypropylene	Stahl	AR Glas
Zugfestigkeit	MN/m^2	500 - 750	1’100	3’500
E-Modul	MN/m^2	5’000 - 18’000	200’000	74’000
Bruchdehnung	%	50 - 150	5 - 35	2
Rohdichte	g/cm^3	1.0	7.85	2.7
Länge	mm	18	60	13 - 25
Durchmesser	mm	0.035	0.8	0.013
Oberfläche	m^2/kg	125	1.0	115
Anzahl Fasern	per g	63’000	22	215’000

Tab 1: Eigenschaften von Glas-, Kunststoff- und Stahlfasern

gen Spektrum an Fasern zählen Stahl-, Kunststoff und neuerdings alkaliresistente Glasfasern. Andere Faserarten haben sich bislang nicht durchgesetzt, sei es aus technischen und/oder wirtschaftlichen Gründen. Einen Überblick über die Eigenschaften der einzelnen Faserarten ist in Tabelle 1 aufgelistet.

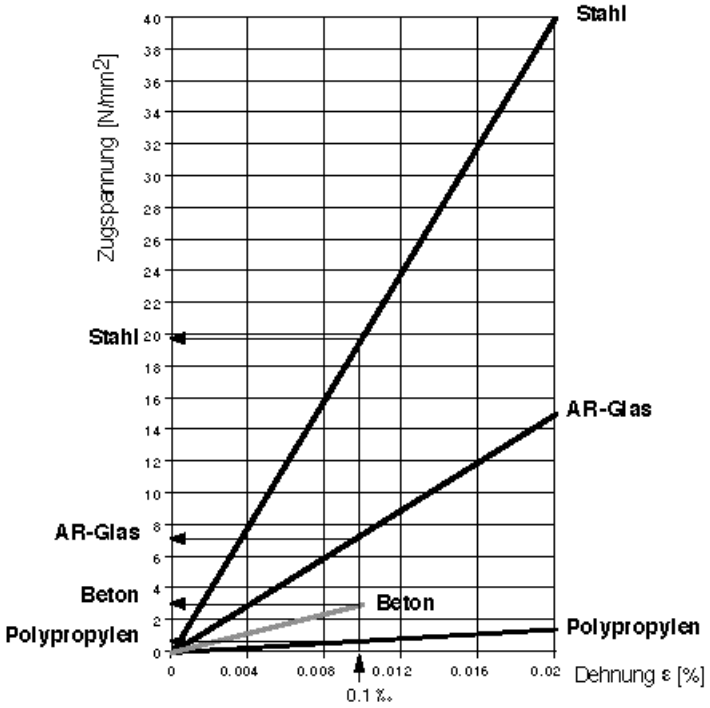

Bild 1: Vergleich der Elastizitätsmodule im ungerissenen Bereich

Stahlfasern sind für die Rissbegrenzung in den frühen Stunden ebensowenig geeignet wie eine massive Bewehrung. In den ersten Stunden der Erstarrung des zementgebundenen Baustoffs zeigt eine grobe Bewehrung in der Form von Stabstahl oder Stahlfasern jeglicher geometrischer Ausbildung keinerlei Wirkung. Im Gegenteil, die grobe Bewehrung erweist sich als Störung. Stahlfasern zeigen ihre Wirkung im sogenannten Nachrissbereich. Das spröde Verhalten des Betons auf Zug wird mit Hilfe der Faserbewehrung in ein duktiles Werkstoffverhalten umgewandelt.
Mehr Erfolg ist den Kunststoffasern beschieden. Die grosse Anzahl von Einzelfasern übernimmt innerhalb der Zementmatrix die Aufgabe einer Mikrobewehrung. Die grosse Oberfläche der Fasern bei entsprechender Dosierung ermöglicht einen guten Verbund zwischen Matrix und Faser und damit eine gute Krafteinleitung zur Mobilisierung der Faserbewehrung. Nachteilig wirkt sich die schlechte Verarbeitung aus. Aufgrund ihres geringen spezifischen Gewichtes lässt sich die Faser nur ungenügend einmischen und die Frischbetonoberfläche nur schlecht bearbeiten (herausstehende Fasern). Die Wirkung der Fasern im ungerissenen Beton bleibt sehr begrenzt, aufgrund des gegenüber dem Beton um den Faktor 4 - 5 geringeren Elastizitätsmoduls [Bild 1]. Vereinfacht ausgedrückt, kann die Kunststoffaser erst bei einer Rissbildung mit der Aktivierung einer grossen Dehnung Wirkung zeigen.

Glasfasern weisen die vorgenannten Nachteile (Verarbeitbarkeit, zu geringer Elastizitätsmodul) nicht mehr auf. Ein dem Beton vergleichbares spezifischen Raumgewicht von ca. $\rho \approx 2.6$ g/cm^3 ermöglicht die Einmischbarkeit auch bei höheren Dosierungen. Der hohe Elastizitätsmodul von ca. 75´000 N/mm^2 ermöglicht die Wirksamkeit der Fasern auch im ungerissenen Bereich. Die der Kunststoffaser vergleichbare grosse Oberfläche ermöglicht die Krafteinleitung und der hohe Elastizitätsmodul bewirkt die Aktivierung der Faser als Mikrobewehrung. Aufgrund der verbesserten Eigenschaften bleibt die Glasfaser als Mikrobewehrung der Kunststoffaser überlegen.

3. Alkaliresistente Glasfasern

Für die Verwendung in zementgebundenen Baustoffen ist eine spezielle Glasfaser erforderlich. Die alkalische Umgebung greift die gängigen Gläser an und zerstört innerhalb einer kurzen Zeitspanne die gesamte Faser durch Auflösung. Erste Anwendungen mit E-Glasfasern in den Anfängen der Verwendung von Glasfasern in zementgebundenen Baustoffen haben die Unwirksamkeit der Glasfaserbewehrung aufgezeigt. Daraufhin wurden spezielle Glasfasern mit einem hohen Zirkongehalt entwickelt, die innerhalb des alkalischen Milieus ausreichende Beständigkeit aufweisen. Die Glasfasern werden in einem kontinuierlichen Prozess als Einzelfilament mit einem Durchmesser von 13µm gezogen und in der Weiterverarbeitung zu einem Strang von mehreren Filamenten (ca. 50 - 800) zusammengefasst. Je nach Verarbeitungsverfahren unterscheidet man noch zwischen wasserdispersiblen und integralen Fasern. Während die dispersiblen sich im Wasser oder Mischprozess in ihre Einzelfilamente auflösen, bleiben die integralen als Strang in der Matrix erhalten. Je nach Verarbeitungsmöglichkeit und zu erzielender Wirkung wird der jeweilige Typ empfohlen. Die Glasfasern weisen einen hohen Elastizitätsmodul und bei grosser Dehnung eine entsprechend hohe Festigkeit auf [Bild 2]. Das Bruchverhalten ist spröd, da gegenüber dem Stahl kein ausgeprägtes Fliessverhalten vorhanden ist. Für die An-

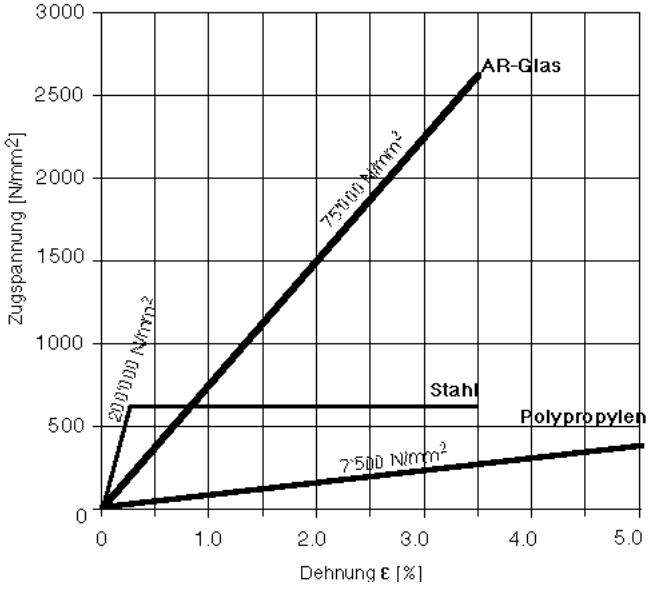

Bild 2: Spannungs-Dehnungs-Diagramme für verschiedene Bewehrungsmaterialien

wendungen im Bauwesen als Verbundbaustoff sind derart grosse Dehnungen nicht denkbar. Entsprechend bleiben die Anwendungen unter der möglichen Festigkeitsgrenze, weshalb das spröde Tragverhalten des Glaswerkstoffes keinerlei Auswirkungen auf die Planung und Konzeption der Bauteile hat.

4. Vom Glasfaserbeton (GFB) zum fasermodifizierten Beton (FMB)

Die alkaliresistente Glasfaser ist bekannt und erprobt als statische Bewehrung für Bauteile aus Glasfaserbeton. Dünnwandige Elemente mit nahezu beliebiger Geometrie lassen sich aus Glasfaserbeton herstellen. Hohe Faseranteile (≤ 5.0 Vol.%) und eine spezielle Matrix ermöglichen duktiles Werkstoffverhalten mit definierten Eigenschaften im ungerissenen und gerissenen Bereich. Die Verwendung von Glasfaserbeton bleibt jedoch aufgrund der wirtschaftlichen Randbedingungen auf vereinzelte Anwendungsgebiete beschränkt.
Im Vergleich zum Glasfaserbeton wirkt eine deutlich geringere Faserdosierung (0.05 - 0.3 Vol %) im Normalbeton auf andere Art. Sie kann nicht als statische Bewehrung eingesetzt werden. Ihre Wirkung konzentriert sich somit nur darauf, die Frührissbildung zu begrenzen, bzw. zu vermeiden. Die sonst übliche konstruktive Bewehrung kann bei entsprechender Faserdosierung entfallen. Die Fasern werden dem Normalbeton in kleinen Mengen als Betonzusatz beigegeben. Bei dieser Form der Anwendung handelt es sich um einen fasermodifizierten Beton (FMB).

Um das Anwendungsgebiet des fasermodifizierten Betons zu definieren und abzugrenzen, wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Die dabei festgestellten Eigenschaften bei verschiedenen Glasfaserarten und Abmessungen dienen dazu, Empfehlungen für den jeweiligen Anwendungsbereich zu formulieren. Entsprechende Anwendungen wurden an Grossprojekten durchgeführt und die dabei gewonnen Erfahrungen haben die Ergebnisse aus den Versuchen besttigt.

5. Versuche zur Begrenzung der Rissbildung an Oberflächen von Betonen

Ausgehend von dem Ziel, die Rissbildung im jungen Beton infolge Austrocknung, Wärmeabfluss und Schwinden zu begrenzen, wurden erste Versuche an definierten Betonplatten unternommen. Um die Wirkung der Glasfaser als Mikrobewehrung gegenüber den konventionellen Methoden unter Beweis zu stellen, wurden vergleichende Versuche durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden in ihren Abmessungen und materialtechnischen Zusammensetzung definierte [1] Plattenstreifen gefertigt und anschliessend deren Oberfläche einer schnellen Austrocknung durch Zugluft ausgesetzt. Die Platte ohne Bewehrung als auch diejenige mit Bewehrung zeigten die typischen Rissbilder an der Oberfläche. Die Platte mit einer geringen Dosierung an Glasfasern weist jedoch ein rissfreies Erscheinungsbild auf. Die Ergebnisse der drei untersuchten Plattentypen ist in Bild 3 zu sehen.

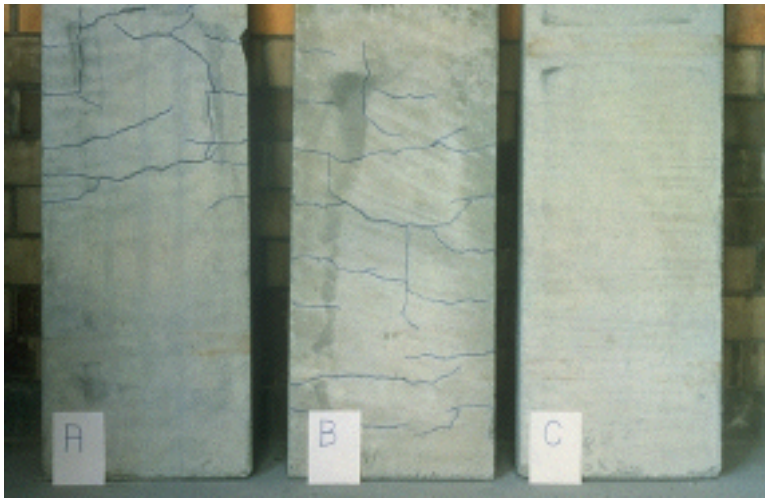

Bild 3: Rissbilder an Versuchsplatten

A= unbewehrte Estrich-Platte (Kontrolle)
B= Estrich-Platte mit Betonstahlmatten Q131
C= Estrich-Platte mit 1 kg/ m^3 AR Glasfasern NEG ACS13S-453

Aufgrund dieser ausserordentlich guten Ergebnisse mit geringen Fasermengen ist deren Anwendung für Betonböden aller Art vorgesehen. Betonböden trocknen bei nicht vorhandener und nicht ausreichend langer Nachbehandlung auf ihrer Oberfläche sehr schnell aus und zeigen das bekannte Rissbild [Bild 4]. Abhilfe bietet eine geringe Dosierung an Glasfasern als Zusatz zum Normalbeton. Estriche und Industrieböden sind mit Zusatz von Glasfasern zu erstellen, wenn eine Rissbildung ausgeschlossen werden soll.

Um Anhaltspunkte über die erforderlichen Dosierungsmengen an Glasfasern für derartige Anwendungen zu erhalten, wurden weitergehende Schwindrinnenversuche durchgeführt [2]. Im Vergleich zum Nullbeton (ohne Faserverstärkung) wurden bei verschiedenen Dosierungsmengen die Risssummen ermittelt. Bereits geringe Fasermengen bewirken eine massive Reduktion der Risssummen [Bild 5].

Bild 4: Oberflächenrissbildung durch schnelles Austrocknen

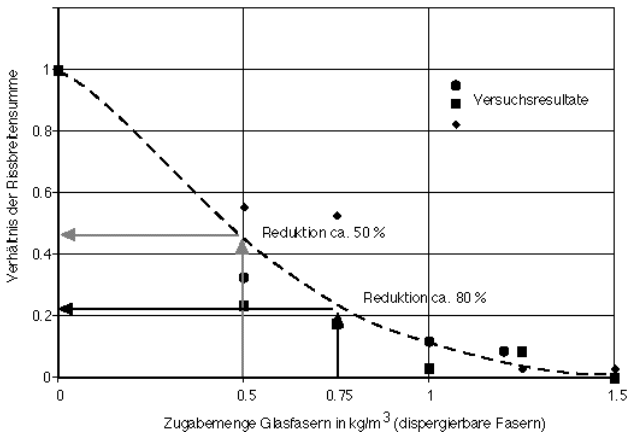

Bild 5: Rissummenreduktion in Funktion der Dosiermenge

Um Risse weitgehend auszuschliessen, bedarf es einer Mindestdosierung. Neben der Fasermenge geht die Faserlänge als weiterer Parameter ein. Je nach Grösse der Zuschlagkörner wird bei kleinem Grösstkorndurchmesser ($ø_{max}$ < 8 mm) eine lange Faser (25 mm) und bei grossem Korndurchmesser ($ø_{max}$ < 32 mm) eine kurze Faser (13 mm) empfohlen. Untersuchungen zeigen, dass die längeren gegenüber den kürzeren Fasern bei gleicher Dosiermenge die besseren Ergebnisse aufweisen [Bild 6]. Für Estriche ist demzufolge aufgrund der kleinen Korndurchmesser in den Zuschlagstoffen eine lange Faser zu empfehlen.

6. Festigkeitsuntersuchungen

In Kenntnis der vorgenannten Untersuchungen an Platten und Plattenstreifen wurden weitere Versuche zur Beurteilung der Festigkeitsentwicklungen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden unter Berücksichtigung verschiedener Parameter wie Fasermenge, Faserlänge, Zementgehalt und Zuschlagmaterial Festigkeiten am Zylinder im Alter von 12h, 24h, 72h und 28d untersucht [3]. Dabei zeigt sich sehr deutlich, dass die Festigkeiten des fasermodifzierten Betons gegen-

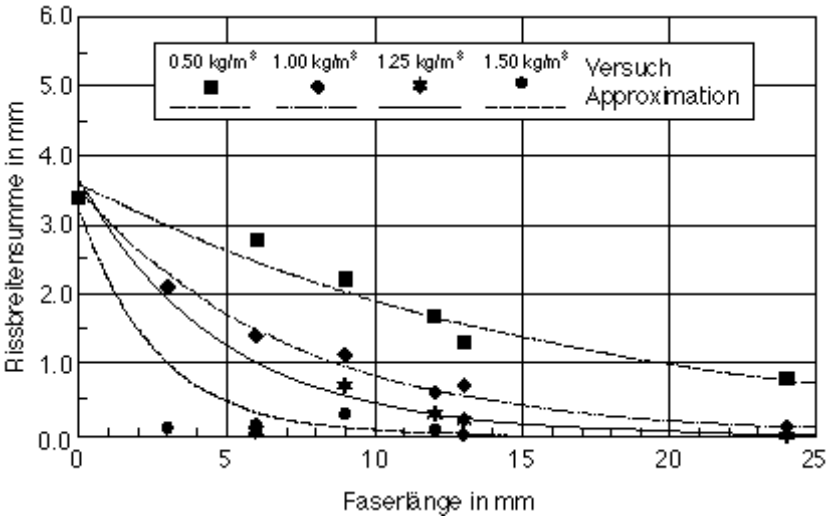

Bild 6: Einfluss der Faserlänge auf die Rissummenreduktion

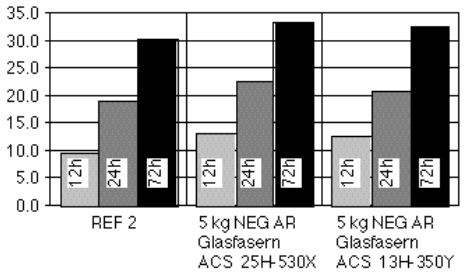

Bild 7: Entwicklung der Druckfestigkeiten im Vergleich zum Nullbeton

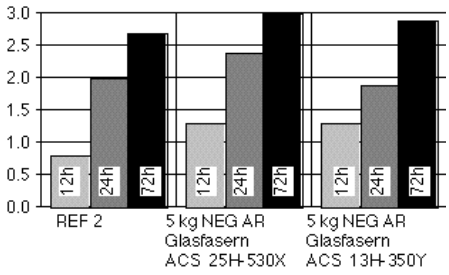

Bild 8: Entwicklung der Spaltzugfestigkeiten im Vergleich zum Nullbeton

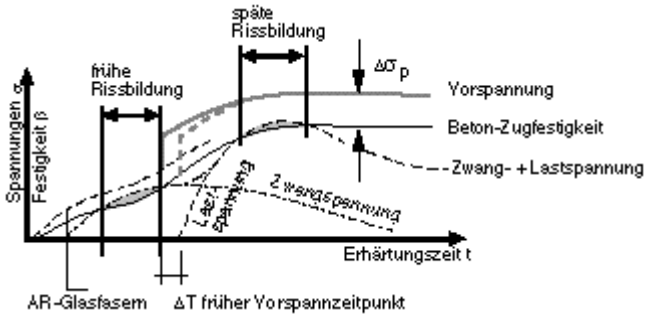

Bild 9: Erhöhung des Zugwiderstands durch Glasfaserzusätze und Vorspannung im frühen und späten Betonalter

über dem Normalbeton in den frühen Stunden deutlich höher ausfallen. Der Unterschied ist in den frühen Stunden bedeutend grösser und nimmt im späteren Alter allmählich ab. In Bild 7 ist der Vergleich der Druckfestigkeitengegenübergestellt und im Bild 8 ist das Ergebnis für die Spaltzugfestigkeiten dargestellt.

Die Steigerung der Festigkeiten im frühen Alter macht die Verwendung des fasermodifizierten Betons für spezielle Einsatzgebiete des Betonbau interessant, wo Rissfreiheit und Dichtigkeit gefragt sind. In Kombination mit der Vorspannung bieten sich hierbei neue Anwendungsgebiete an. Risse entstehen im frühen Alter infolge Zwangsbeanspruchungen durch aufgezwungene Verformungen aus Temperaturveränderungen und aus Schwinden. Im erhärteten Beton verursachen weitere Zwangbeanspruchungen und die Überlagerung mit Lasteinwirkungen weitere Rissbildungen [Bild 9]. Die kombinierte Verwendung von Glasfasern für die Festigkeitssteigerung in der frühen Phase und Vorspannung für die späte Phase ermöglicht eine lückenlose Kontrolle der Rissbildung durch vergrösserte Widerstände. Der Vorzug der Glasfaser, neben der Zugfestigkeit auch die Druckfestigkeit zu steigern, bietet den weiteren Vorteil, die Vorspannkraft zu einem früheren Zeitpunkt in das Bauteil eintragen zu können. Diese Wirkung hat man sich bei der Planung und Ausführung der beiden folgenden Projekte zu Nutze gemacht. Für das Parkdeck und die zugehörigen Rampen „Mr. Wash“ in Hamburg hat man sich entschieden, auf eine Abdichtung der Oberfläche zu verzichten. Insbesondere auf Rampen beschädigen die treibenden Kräfte der Reifen eine zusätzlich aufge-

Bild 10: Rampenkonstruktion „Mr Wash - Hamburg“

Bild 11: Ansicht der verschiedenen Becken Bosch Testgelände Boxberg

brachte Beschichtung. Laufende Schäden sind die Folge und andauerende Sanierungen die Konsequenzen. Deshalb wurde entschieden, der Betonkonstruktion sowohl die tragende als auch die dichtende Funktion zu zuweisen. Die Konstruktion darf demzufolge keinerlei Risse aufweisen. Dieses Ziel wurde mit Hilfe der zuvorbeschreibenen Kombination von Glasfasern zur Vermeidung der Frührisse und einer Vorspannung zur Vermeidung der Spätrisse erreicht. Die Flächen wurden ohne Dehnungsfugen erstellt. Die Oberfläche wurde abgeglättet und zur Erzielung einer Griffigkeit mit einem Besenstrich versehen. Die Erfahrungen mit dieser Bauweise sind gut, und haben die gewünschten Zielvorstellungen - Rissefreiheit der Flächen - bestätigt [Bild 10].

Eine analoge Aufgabenstellung war bei den beiden Becken auf dem Testgelände der Bosch GmbH in Boxberg gegeben. Fugenlose und rissefrei Becken mit Längen von 42.0 m und 120.0 m waren gefordert [Bild 11]. Die grossen Flächen der Bodenplatten und die nachträglich aufgesetzten Wände verursachen meistens eine unkontrollierte Rissbildung. Die erfolgreiche kombinierte Verwendung von Glasfasern und Vorspannung hat auch bei diesem Bauvorhaben zu dem gewünschten Ziel geführt. Insbesondere das leidige Problem der Rissbildung in der Wandscheibe durch die behinderte Verformung aus der bereits betonierten Bodenplatte konnte erfolgreich gelöst werden.
Weitere Anwendungen sind im Bereich der „Weissen Wannen“ und der flüssigkeitsdichten Konstruktionen zum Schutz wassergefährdender Stoffe zu sehen. Fugenlose und dichte Bauteile in Form von Bodenplatten, runde oder rechteckige Wannen oder Behälter lassen sich mit diesem Verfahren zuverlässig herstellen.

7. Steigerung der Schlagzähigkeit

Von der Anwendung im Glasfaserbeton ist bekannt, dass die Glasfasern eine deutliche Verbesserung der Schlagzähigkeit bewirken. Dieses Erkenntnisse lassen sich auch auf den fasermodifzierten Beton übertragen. Versuche an Normalbeton in England [4] mit einer oberflächennahen konzentrierten Anordnung der Glasfasern (Chopped-Strand-Mat) haben interessante Ergebnisse geliefert. Die Oberfläche eines mit einer Glasfasermatte bewehrten Plattenstreifens wurde einer wiederholten Beanspruchung durch einen aus einer Höhe von 3.0 m fallenden Stahlkugel mit dem Gewicht von 3.3 kg ausgesetzt. Nach jeder Beanspruchung wurden die abgelösten Teile gesammelt und gewogen. Das Ergebnis ist in dem Diagram [Bild 12] festgehalten. Das mit der Glasfasermatte versehene Muster zeigt gegenüber der Platte ohne Glasfa-

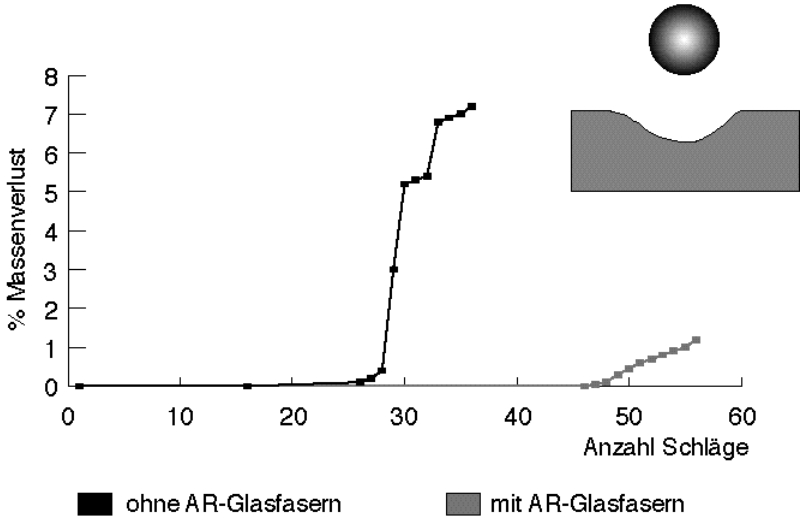

Bild 12: Einfluss der Glasfasern auf die Schlagzähigkeit

sern Verbesserungen in der Beanspruchung als auch in der Grösse der sich ablösenden Teile. Erst bei einer nahezu Verdoppelung der Beanspruchung lösen sich einzelne Teile an der Oberfläche. Bei weiterer Beanspruchung lösen sich zudem nur kleine Partikel. Die Ergebnisse deuten auf eine überaus verbesserte Schlagzähigkeit des Normalbeton hin, sobald an der Oberfläche Glasfasern als Zulage angeordnet werden.

Derartige Verstärkungen mit Glasfasern sind angebracht, wenn Betonkanten geschützt werden müssen. Eine klassische Anwendung ist die Treppe in Beton, deren Kanten durch ständige Beanspruchungen geschädigt werden. Nach einiger Zeit zeigt sich dann ein geschädigtes Erscheinungsbild [Bild 13]. Reparaturen in Form von Ausbesserungen mit Spezialmörtel sind die Konsequenzen.

Werden Betonoberflächen reliefartig gestaltet, so muss der Beton allein die Beanspruchungen aus der filigranen Oberflächenstruktur übernehmen. In Duisburg wurden die tragenden und nichttragenden Wände eines Glockenturms [5] mit einem derartigen Relief versehen. Um den Beton in der aufgrund der Reliefstrukturen grossen Überdeckung schlagzäh und mit einer entsprechenden Festigkeit zu versehen, wurde der Beton mit einem Zusatz von 3.0 kg/m^3 Glasfasern eingebaut. Der Erfolg dieser Massnahme zeigt sich einerseits in der Ausbildung der scharfen Betonkanten, und andererseits in deren langlebigen unverändertem Verhalten [Bild 14].

Bild 13: Kantenbeschädigung von Treppen

Bild 14: Reliefstruktur in der Glockenturmwand

8. Reduktion der Karbonatisierungstiefe

Dauerhafte Betonbauwerke ist das Ziel sämtlicher Anstrengungen. Eine ausreichende und unbeschädigte Überdeckung zum Schutz der metallischen Bewehrung ist eine wichtige Voraussetzung. Ein dichtes Betongefüge ist ausserdem erforderlich, um die Depassivierung der Aussenschicht durch eindringende Medien zu verhindern. Ein Mass dafür ist die Karbonatisierungstiefe. Die bereits erwähnten Versuche in England [4] zur Untersuchung des Einfluss einer oberflächennahen Bewehrung in Form von Glasfasern auf die Dauerhaftigkeit von Normalbeton haben auch in dieser Hinsicht vielversprechende Ergebnisse geliefert. Luftgetrocknete Proben wurden einer mit Karbondioxid angereicherten Atmosphäre ausgesetzt. Anschliessend wurde die Eindringtiefe gemessen [Bild 15]. Dabei zeigt sich, dass ein dichtes Betongefüge die Eindringtiefe verringern kann. Mit der Glasbewehrung lässt sich die Eindringtiefe jedoch gänzlich reduzieren unabhängig von dem dichten Gefüge des Ausgangsbeton.

Damit eröffnen sich dem traditionellen Stahlbeton neue Möglichkeiten, mit Hilfe des Einsatzes von Glasfasern die Dauerhaftigkeit der Betonelemente zu verbessern. Die leidigen Schäden an schlanken Betonbauteile in Form von abgesprengter Überdeckung infolge von korrodiertem Betonstahl [Bild 16] können somit verhindert werden. Mit dem Zusatz von Glasfasern kann Einfluss genommen werden auf die Grösse der Überdeckung unabhängig von der Qualität des Betongefüges.

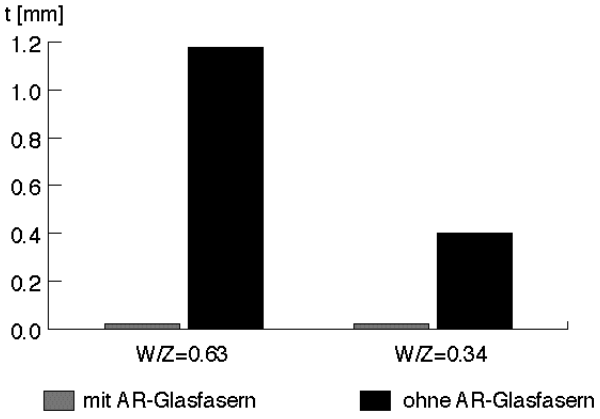

Bild 15: Einfluss der Glasfasern auf die Karbonatisierungstiefe

Bild 16: Beschädigte Betonoberfläche infolge abgesprengter Überdeckung

9. Verhalten des Frischbetons mit Glasfaserzusatz

Glasfasern weisen aufgrund ihres geringen Durchmessers schon bei kleinen Dosiermengen eine grosse Oberfläche auf. Entsprechend ist deren Wasseranspruch in dem Frischbetongemisch. Das Binden von Wasser an der Oberfläche macht sich in der steiferen Konsistenz des Betons bemerkbar. Im Gegensatz zu Betonen mit anderen Fasern wie Stahl oder Kunststoff muss für eine gute Verarbeitung kein zusätzliches Wasser oder Verflüssiger beigefügt werden. Denn sobald Verdichtungsenergie dem Frischbeton zugefügt wird, verhält sich das Material wieder entsprechend flüssig. Beton mit Glasfasern verhält sich wie eine tixotrope Flüssigkeit, sie ist flüssig oder fest je nach der Zuführung von Bewegungsenergie.
Dieses Materialverhalten kann für verschiedene Verarbeitungsprozess optimal genutzt werden. Das Material fliesst dank Verdichtungsenergie in die verschiedenen Ecken und Kanten, um dort dauerhaft am Ort zu bleiben. Die Gefahr von auslaufender Zementmilch und damit die Ausbildung von Kiesnestern ist somit nicht gegeben. Scharfe Kanten in der Schalung werden zuverlässig und vollständig gefüllt und zeigen ein hochstehendes Erscheinungsbild. Die Verwendung von fasermodifiziertem Beton für Sichtbetonstrukturen ist aufgrund des geschilderten Materialverhalten absolut notwendig.

Bild 17: Vordach in Sichtbeton

Bild 18: Fassadenkonstruktion mit Stützen und Träger in Sichtbeton

Die beiden folgenden Ausführungen zeigen derartige Anwendungen auf. Der mit einem schlanken Betondach gedeckte Eingangsbereich wurde in Sichtbeton erstellt. Die relativ dünnen Ränder sollten scharfe Kanten aufweisen. Bild 17 zeigt die leichte Dachkonstruktion aus Beton.
Die grosszügige Fassadenkonstruktion aus Glas für ein Kaufhaus wird von Betonstützen und einer Trägerkonstruktion in Sichtbeton getragen. Um die anspruchsvollen Anforderungen des Architekten zu erfüllen, wurden die Betonfertigteile für die Stützen und die Träger mit Glasfaserzusatz gefertigt. Der weitgespannte Träger wurde zusätzlich vorgespannt, um die Rissefreiheit zu gewährleisten [Bild 18].

Das zuvor geschilderte Materialverhalten kann in weiteren Verarbeitungsprozessen optimal genutzt werden. Die Verbesserung der Grünstandsfestigkeit wird in unterschiedlichen Formungsprozessen genutzt. Mit dem Einbringen des Betons in die Schalung bleibt dieser formtreu stehen, worauf die Schalung unmittelbar entfernt werden kann. In der Produktion von Abflussrinnen und Rohren wird dieser Materialvorteil genutzt. In der Geometrie aufwendige mit Gleitfertigern erstellte Formen bauen ebenfalls auf das tixotrope Materialverhalten von fasermodifiziertem Beton.

Im Bereich des Spritzbetons lassen sich diese Eigenschaften ebenso optimal nutzen. Gefragt ist ein zähe zusammenhängende Betonmasse, die mit dem Aufprall in ihrer endgültigen Form bleibt. Der Einsatz in einem Projekt zur Sanierung von Abwasserkanälen mit Spritzbeton hat diese guten Eigenschaften bestätigt. Der Beton mit Faserzusatz wurde auf engem Raum [Bild 19] angespritzt und anschliessend sofort abgeglättet. Das angespritzte Material erwies sich als äusserst standfest. Der Rückprall war gering und die direkt angeschlossene Nachbearbeitung - auch über Kopf - konnte problemlos durchgeführt werden [Bild 20].

Bild 19: Spritzbeton für Kanalsanierung

Bild 20: Nachbearbeitung des Spritzbetons

10. Verarbeitbarkeit

Die Glasfasern werden dem fertig gemischten Beton zugeführt und in einem weiteren Mischvorgang vollständig und klumpenfrei untergemischt. Die Zugabe kann dem Beton bereits im Werk oder auf der Baustelle in den Fahrmischer [Bild 21] beigeführt werden. Die Ausgangsrezepturen für den einzusetzenden Beton müssen nicht angepasst werden. Die steifere Konsistenz ist kein Grund für eine Zusatzdosierung an Wasser oder Verflüssiger, da der Frischbeton unter Zuhilfenahme von Verdichtungsenergie seine Ausgangskonsistenz wieder erlangt.

Der Beton bleibt pumpfähig und verursacht keine Durchflussprobleme, im Gegenteil Erfahrungen mit weiten Pumpenstrecken haben eine bessere Pumpbarkeit gezeigt.
Der Einbau des Betons bleibt in seinem Vorgang unverändert. Die Bearbeitung der Oberflächen durch Abziehen, manuelles oder maschinelles Glätten [Bild 22] ist ebenso unproblematisch zu handhaben. Die Fasern schwimmen dank ihres zum Beton idealen Raumgewichtes im Frischbeton nicht auf. Sie konzentrieren sich nicht an der Oberfläche, stehen nicht vor und bleiben ansonsten wenig sichtbar. Die Bearbeitung der Oberfläche mit einem Besenstrich ist ebenfalls denkbar.

Bild 21: Zugabe von Glasfasern in den Transportmischer

Bild 22: Bearbeitung der Betonoberfläche

11. Textile Bewehrungsformen

Bislang werden Glasfasern weitgehend nur als geschnittene Fasern eingesetzt. Im Herstellungsprozess werden Glasfasern in Endlosform als Roving gefertigt, der dann durch Schneiden auf die geforderten Längen in einzelne Fasern weiterverarbeitet wird. Neuste Entwicklungen ermöglichen eine wirtschaftliche Verarbeitung der Endlosroving zu Gewebe oder Gelegen [Bild 23]. Als sogenannte textile Bewehrung [6] wird die Glasfaser in konzentrierter Form an den Stellen des Bauteils eingesetzt, wo der meiste Nutzen zu erzielen ist. Versuche mit derartigen Bewehrungen zeigen die deutliche Überlegenheit gegenüber dem Einsatz von geschnittenen Fasern bei gleichzeitiger Kostenreduktion. Denkbar sind oberflächennahe Bewehrungsnetze aus Glasfasern, die Risse minimieren oder begrenzen können.
Die einzelnen Glasfaserstränge lassen sich auch zu weiteren Einheiten wie Bändern oder Kordeln [Bild 24] verarbeiten, um dann als konzentrierte und geometrisch flexible Bewehrung eingesetzt zu werden. Für die Anwendung von Betonpontons in agressiver Meerwasserumgebung ist die Verwendung derartiger Bewehrungselemente vorgesehen.

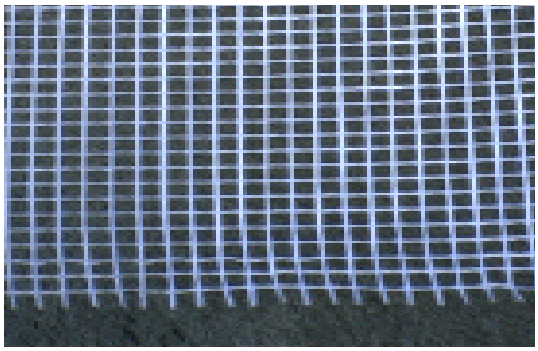

Bild 23: Bewehrung in Form von Netzen aus Glasfasern

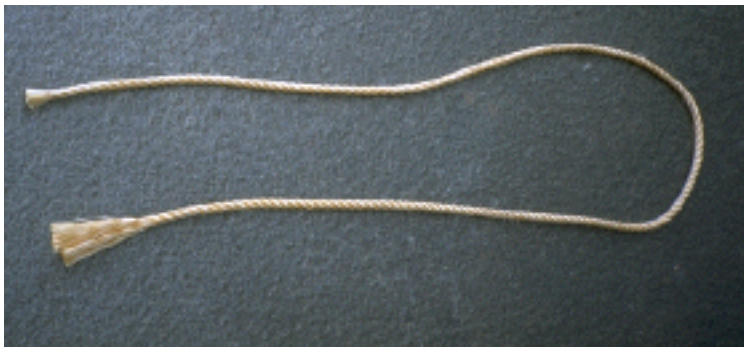

Bild 24: Bewehrung in Form von Kordel/Seil aus mehreren Glasfasersträngen

12. Zusammenfassung

Alkaliresistente Glasfasern verbessern, bereits in geringen Dosiermengen dem Normalbeton zugesetzt, verschiedene Eigenschaften. Sie wirken nicht als statische Bewehrung, können jedoch als Mikrobewehrung eine konstruktive Bewehrung ersetzen, wenn es darum geht, die Rissbildung zu kontrollieren. Die Frührissbildung durch Austrocken, Wärmeabfluss und Schwinden kann zuverlässig kontrolliert werden. Darüber hinaus wird die Druck- und Spaltzugfestigkeit in den frühen Stunden gesteigert. Diese Eigenschaften lassen sich im Zusammenhang mit der Beherrschung der Zwangsrissbildung in den frühen Stunden gewinnbringend einsetzen. Die sonst übliche massive Rissbewehrung kann dann reduziert werden, wie verschiedene Anwendungen gezeigt haben.
Darüber hinaus steigert der Zusatz an Glasfasern die Gebrauchstauglichkeit und damit die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen. Die Erhöhung der Schlagzähigkeit und die Reduktion der Karbonatisierungstiefe verbessern die Eigenschaften des Festbetons.
Die Veränderung der Frischbetoneigenschaften durch Glasfaserzusatz macht sich positiv hinsichtlich verschiedener Verarbeitungsprozesse bemerkbar. Die hohe Grünstandfestigkeit erlaubt standfeste Formprozesse ohne Schalung oder ein frühzeitiges Entschalen. Das zähe Frischbetonverhalten wird auch im Spritzbeton erfolgversprechend eingesetzt. Hinsichtlich der Verarbeitung weisen Glasfasern keinerlei Besonderheiten auf. Das Einmischen in die Frischbetonmatrix gestaltet sich ebenso einfach, wie das Einbringen und die Bearbeitung der Frischbetonoberflächen.
Verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Glasfasern als geschnittene Faser oder verarbeitet als Endlosroving zu Geweben eröffnen in der Zukunft ein weiteres Spektrum an Einsatzmöglichkeiten. Mit Hilfe von Gewebe und Matten werden die Glasfasern in noch konzentrierterer Form eingesetzt werden können. Diese erst am Anfang stehende Entwicklung wird zum optimierten Einsatz hinsichtlich Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Glasfasern im Normalbeton beitragen.
Glasfasern werden die Stahlbewehrung nicht ersetzen. Als Ergänzung zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften und damit zur Steigerung der Dauerhaftigkeit werden sie sich ihren Markanteil erobern.

Literatur

[1] G. Wischers, W. Manns: “Ursachen für das Entstehen von Rissen im jungen Beton“, beton 4/73 und 5/73
[2] M. Bayer, “Zum Einfluss von AR-Glasfasern auf die Widerstandsfähigkeit von Estrich/Beton gegenüber Frühschwindrissbildung“, Rheinstetten, 30. September 1997
[3] Prof. P. Schiessl, RWTH Aachen, “Gutacherliche Stellungnahme zu Untersuchungen zum Einfluss von Glasfaserzusätzen auf die Frühfestigkeit von Beton“, September 1997
[4] P.A. Claisse, P.C. Monypenny: “The Use of Glass Fibre Mat in the surface of concrete“, International Congress GRC 98, Cambridge, April 1998
[5] G. Becker et al.: “Symbiose von Beton und Kunst beim Bau eines Kirchturms“, Beton-Information, Heft 6, 1996
[6] M. Curbach et al.: “Neuer Baustoff Textilbeton - erster Sachstandsbericht zur aktuellen technischen Entwicklung“, Bauen mit Textilien Heft 2/1998