

Glasfaserverstärkung von Zementstrich und Beton

B. Hauenstein

Domostatik AG Zürich, Schweiz

Vortrag gehalten an der Veranstaltung: "Beton Seminare '98" - Bundesverband der Deutschen Zementindustrie E.V. ; Bauberatung Zement Wiesbaden; Februar 1997

und veröffentlicht in den Tagungsunterlagen "Informationen der Bauberatung Zement"
Bundesverband der Deutschen Zementindustrie E.V.

GLASFASERVERSTÄRKUNG VON ZEMENTESTRICH UND BETON

B. Hauenstein

Domostatik AG Zürich, Schweiz

1.0 Einleitung

In der Vergangenheit hatte sich gezeigt, dass mit einer Mattenbewehrung des Estrichs nur Teilerfolge erzielt werden konnten. Eine Stahlbewehrung kann, wie G. Lohmeyer in verschiedenen Artikeln zeigt, die Rissbildung im jungen Beton nicht verhindern. Die Bewehrungsmatten werden in der Regel auf eine erste Lage Estrich verlegt, d.h. sie liegt im fertigen Estrich mittig. Um Biegespannungen aus Belastungen aufnehmen zu können, müsste die Bewehrung aber jeweils unten und oben liegen. Durch die Matten kann es auch zu Gefügestörungen im Estrich kommen, mit daraus resultierenden Querschnittschwächungen und folgender Rissbildung. Die einzige Wirkung der Matten besteht schlussendlich in der Verhinderung eines Versatzes der Rissufer bei Trennrissen. Aus diesen Erkenntnissen wuchs der Gedanke, dem Estrich Fasern beizumischen. Bei Experimenten mit Stahl-, Kunststoff- und AR-Glasfasern zeigte sich, dass die Glasfaser eine optimale Faser für Verarbeitung und Wirkung im Estrich ist.

2.0 Beanspruchung

Der Estrich durchläuft während seiner Lebensdauer verschiedene Beanspruchungszustände. Kurz nach dem Herstellen des Estrichs beginnt die Hydratation des Zementes. Sie ist mit Wärmeentwicklung und einer Volumenveränderung des Zementes verbunden.

Durch Abfliessen der Wärme an der Oberfläche entsteht ein Wärmefluss und dadurch eine ungleichmässige Temperaturverteilung über den Querschnitt. Gleichzeitig entwickelt sich die Festigkeit des Estrichs. Wenn die Hydratation abgeschlossen ist und damit die Wärmeentwicklung beendet ist, führt die Abkühlung zu einer Verkürzung des Estrichs. Bei einer Verformungsbehinderung können Zwangsspannungen entstehen. Ungleichmässige Temperaturverteilungen über den Querschnitt führen immer zu Eigenspannungszuständen und bei Überschreitung der Zugfestigkeit des Estrichs zu Rissen.

Die Reaktionsprodukte aus dem Hydratationsprozess beanspruchen zusammen rund 8% weniger Raum als die Ausgangsstoffe. Sobald der Estrich eine gewisse Festigkeit erreicht hat, kann die Volumenverkleinerung nicht mehr unbehindert erfolgen. Es entstehen im Zementgel Mikrorisse von wenigen μm Breite, welche wahrscheinlich Ursache für die im Vergleich zur Druckfestigkeit 10 mal geringere Zugfestigkeit der zementgebundenen Baustoffe sind.

Durch Feuchtigkeitsverlust an der Oberfläche kann es zu starkem Schwinden und damit verbundenen netzartigen Rissen kommen. Infolge ungleichmässigem Schwinden über die Querschnittshöhe hebt sich der Rand eines Estrichfeldes von der Unterlage ab. Durch das aktivierte Eigengewicht entstehen Wölbspennungen im Querschnitt, welche bei Überschreiten der Zugfestigkeit zu Biegerissen führen. Ein analoges Verhalten stellt sich ein, wenn Platten zu früh auf dem Estrich verlegt werden. Durch die behinderte Verkürzung der Oberseite wölbt sich der Estrich im Innenbereich auf und beim Überschreiten der Zugfestigkeit entstehen Biegerisse. Schäden aufgrund solcher Ursachen können auch erst nach Monaten oder Jahren auftreten.

4.0 Verschiedene Faserarten

Fasertyp	Querschnitt	Dichte	Anzahl pro gr
AR-Glasfasern	13.5 µm	2.7 g/cm ³	200'000
Stahlfasern	100-500 µm	7.8 g/cm ³	30
Polypropylenfasern	20-200 µm	0.98 g/cm ³	60'000

Bild 3: Kennwerte verschiedener Faserarten



Bild 4: AR-Glasfasern und Stahlfasern

Die heute üblicherweise verwendeten Fasern, Stahl-, Polypropylen- und Glasfasern, unterscheiden sich jedoch in der Wirkungsweise und in der Verarbeitbarkeit. Stahlfasern und Glasfasern weisen eine höhere Dichte als Polypropylenfasern auf. Die Neigung der Polypropylenfaser zum Aufschwimmen resultiert aus dieser geringen Dichte von ca. 1 g/cm³ [Bild 3, 4]. Die hohe Anzahl von Fasern bei der AR-Glasfaser erzielt eine gut verteilte Wirkung im Baustoffgemisch.

Im Hinblick auf eine Wirkung als Mikrobewehrung gegen Risse im jungen Estrich / Beton zeigt sich in Auswertungen verschiedener Versuche, dass die Oberfläche, die Länge und der Elastizitätsmodul der Faser als wichtigste Merkmale gelten.

4.1 Eigenschaften der Fasern

Werden die drei Faserarten bei der Zugbruchdehnung des Betons von $\epsilon = 0.1\%$ verglichen, kann eine Stahlfaser eine etwa 2.6 mal höhere Zugkraft aufnehmen als eine Glasfaser. Eine Polypropylenfaser hingegen nur ein zehntel derjenigen der Glasfaser [Bild 5].

Bei den Oberflächenverhältnissen stehen die Glasfasern und Polypropylenfasern etwa gleichauf. Die Stahlfasern weisen dagegen pro kg Fasern nur etwa ein Hundertstel der Oberfläche der Glas- bzw. Polypropylenfasern auf [Bild 6].

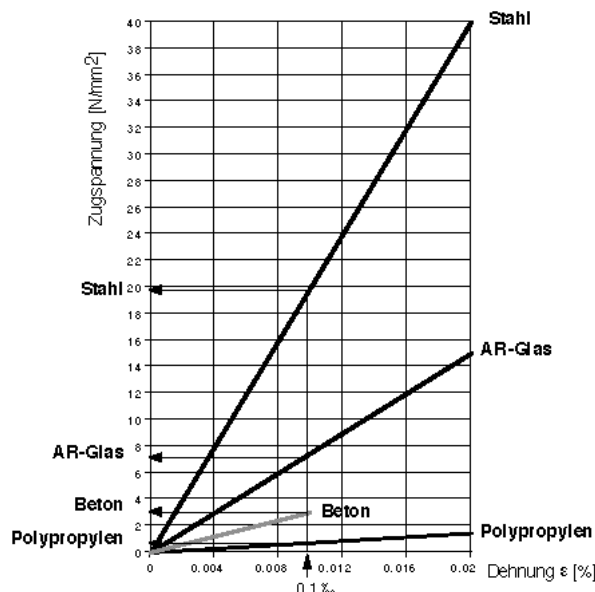


Bild 5: Spannungs-Dehnungsbeziehung

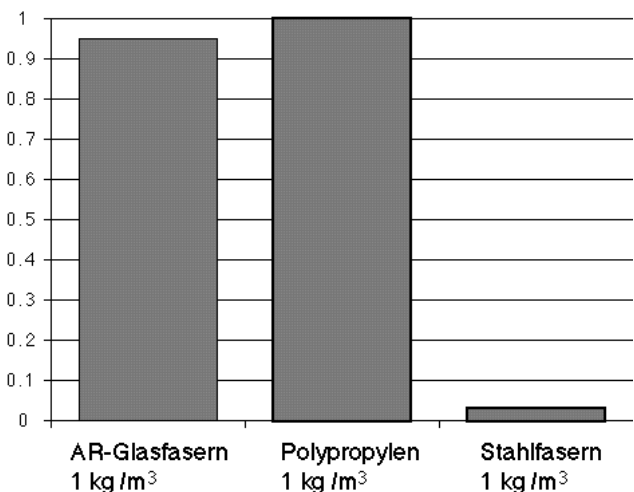


Bild 6: Verhältnis der Oberflächen

die grössere Oberfläche können, bei geringeren Verbundkräften zwischen Faser und Zementleim, höhere Zugkräfte von der Faser aufgenommen werden. Auch im Bereich der üblichen Dosierung der Stahlfaser von 30 kg/m^3 erreicht die Oberfläche erst etwa ein Drittel derjenigen von Glasfasern.

5.0 Verbesserung von Eigenschaften durch AR-Glasfasern

Die Zugabe von AR-Glasfasern zu zementgebundenen Baustoffen verbessert, wie aus Versuchsergebnissen ersichtlich wird, die folgend aufgezeigten Werkstoffeigenschaften.

5.1 Steigerung der Festigkeiten durch AR-Glasfasern

Die Druckfestigkeit nach 28 Tagen kann durch unterschiedliche Faserzugabe um etwa 20 - 80 % gesteigert werden. Die Biegezugfestigkeitssteigerung liegt bei etwa 20 - 50 % gegenüber dem unmodifizierten Estrich [Bild 7, 8]. Bei der zeitlichen Entwicklung der Festigkeiten zeigt sich, dass sich bei fasermodifiziertem Estrich oder Beton ein früherer Anstieg der Festigkeit einstellt. Dieses Verhalten ist besonders bei vorgespannten Betonplatten von grossem Nutzen, da es ein früheres Aufbringen der Vorspannung erlaubt.

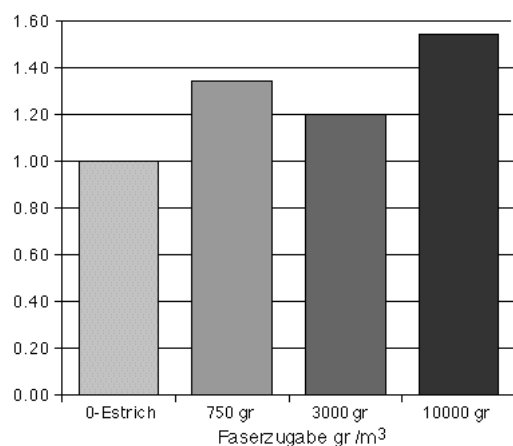


Bild 7: Verhältnis der Zugfestigkeitszunahme bei unterschiedlicher Dosierung

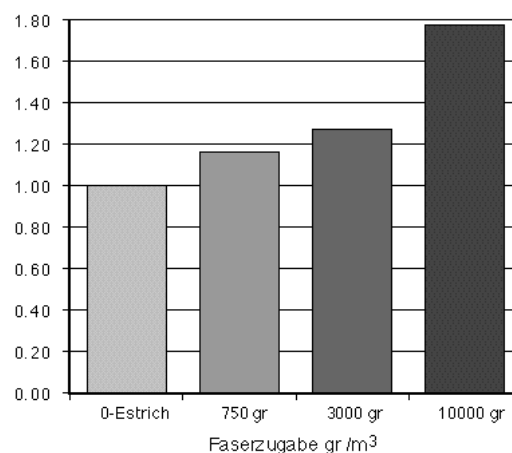


Bild 8: Verhältnis der Druckfestigkeitszunahme bei unterschiedlicher Dosierung

5.2 Günstige Beeinflussung des Schwindrissverhaltens durch AR-Glasfasern

In einer gross angelegten Versuchsreihe wurde der Einfluss verschiedener Glasfaserzugaben auf das Schwindrissverhalten bei jungem Estrich untersucht. Die Auswertung zeigte deutlich, dass sich die AR-Glasfasern günstig auf die Reduktion der Schwindrisse auswirken.

Für die Schwindrinnenversuche wurden Betone, mit den Estrichmischungen entsprechendem Kies-Sand-Gemisch, einem Verhältnis Zement zu Zuschlag von 1:2 und einem Wasserzementwert von 0.5 verwendet. Dieser Beton wies eine deutliche Neigung zur Rissbildung auf. Es wurden verschiedenste alkaliresistent Glasfasertypen (AR-Glasfasern) mit verschiedenen Längen und Dosierungen getestet.

Die Resultate zeigen, dass bei Dosierungen von 500 gr/m^3 die Rissbreitensummen um 50 % gegenüber dem unmodifizierten Beton reduziert werden kann. Eine Zugabe von 750 gr/m^3 ergab eine Reduktion um 80% [Bild 9]. Diese Werte wurden mit Fasern erreicht, welche sich beim Mischen in ihre Filamente vereinzeln. Bei integralen Fasern, also Fasern bei denen die Filamente als Strang bestehen bleiben, liegt die Dosierung etwa beim doppelten Wert.

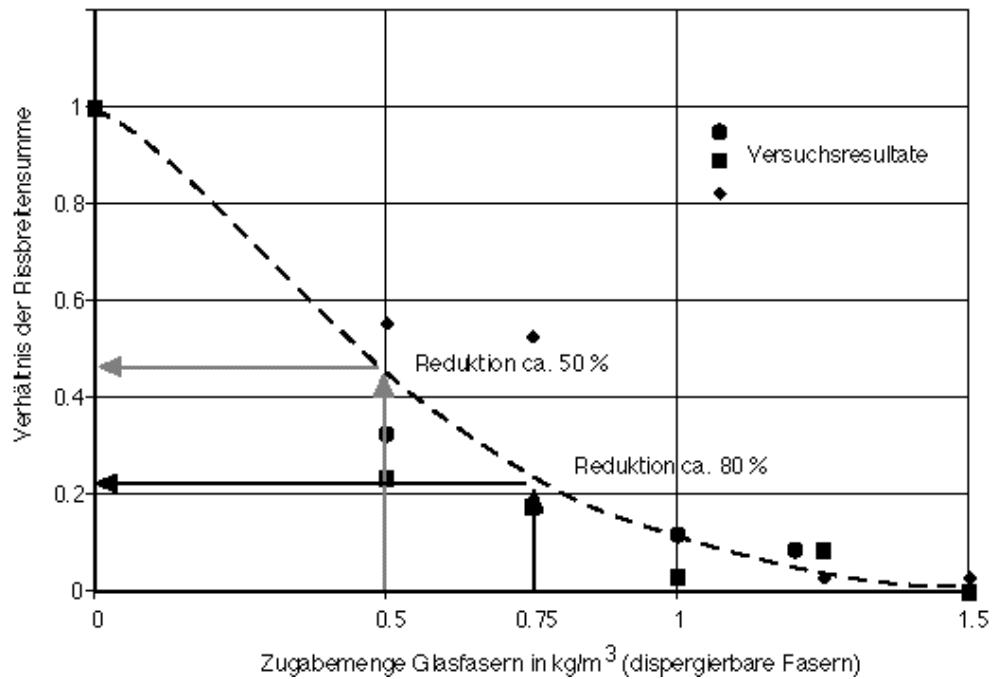


Bild 9: Reduktion der Rissbreitensumme bei unterschiedlicher Dosierung von AR-Glasfasern

Es zeigte sich auch, dass Fasern mit Längen um 20 - 25 mm schon bei geringerer Dosierung ihre günstige Wirkung auf das Schwindrissverhalten entwickeln. Mit 500 gr/m³ einer 24 mm langen Faser wird die gleiche Rissbreitensumme, wie mit der doppelten Menge einer 12 mm langen Faser erreicht [Bild 10].

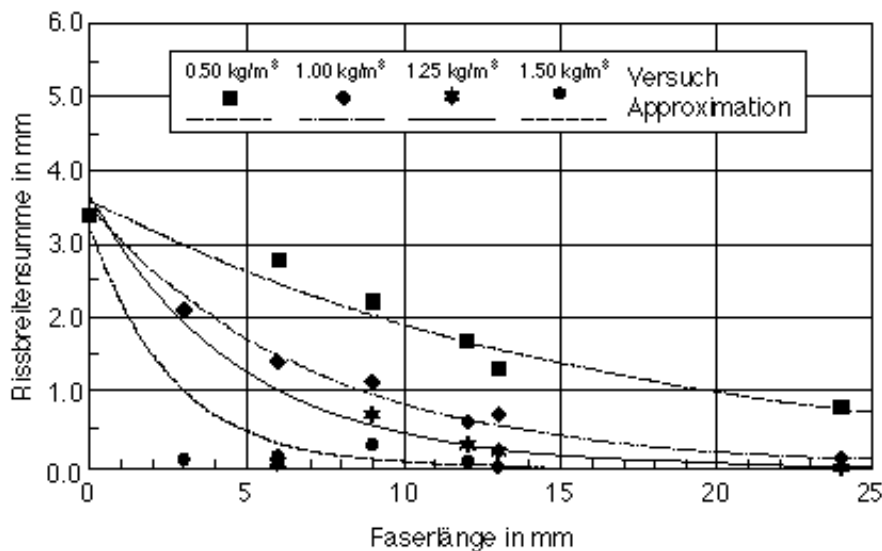


Bild 10: Reduktion der Rissbreitensumme bei verschiedenen Faserlängen

6.0 Beständigkeit der Fasern in zementgebundenen Stoffen

Die C- und E-Glasfasern zeigen in der alkalischen Umgebung des Betons einen rapiden Gewichtsverlust und damit verbunden einen Festigkeitsverlust. Die Beständigkeit von Glasfasern kann aber über den Zirkongehalt gesteuert werden. Die alkaliresistenten Glasfasern (AR-Glasfasern) enthalten ca. 20 % Zirkonoxyd.

Mit verschiedenen Versuchen kann die Beständigkeit der Fasern geprüft werden. Aus der Faserbetontechnologie ist der SIC-Test (strand in cement test) und dessen Resultate bekannt. Die Fasern werden in einem Zementblock eingebettet einer beschleunigten Alterung bei Temperaturen von 80 °C unterworfen [Bild 11]. Nach bestimmten Zeiten werden die jeweiligen Reißfestigkeiten gemessen.

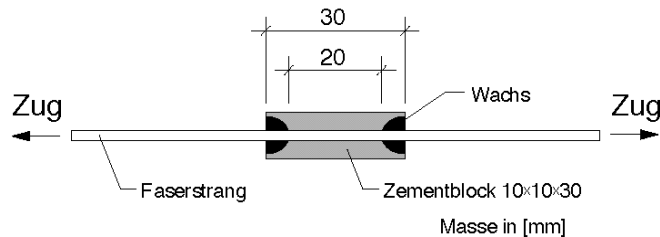


Bild 11: Probekörper für den SIC-Test

Als nicht zu unterschreitender Wert wird eine Restfestigkeit nach 96 Std. bei 80 °C Lagerung von mindestens 400 N/mm² gefordert. Die AR-Glasfasern liegen deutlich über diesem Grenzwert [Bild 12]. Für die Verwendung der Glasfaser in zementgebundenen Baustoffen ist deshalb nur eine Faser erlaubt, die den Test bestanden hat und über eine entsprechende Zulassung verfügt.

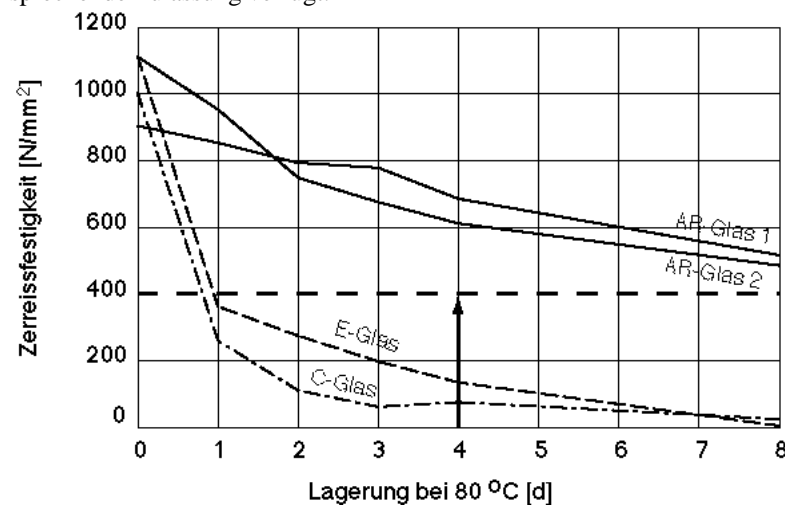


Bild 12: Zerreißfestigkeiten bei beschleunigter Alterung (SIC-Test)

7.0 Verarbeitung

In verschiedenen Anwendungen unter Baustellen Bedingungen erwiesen sich die AR-Glasfasern als äusserst einfach in der Anwendung. Sie werden in der letzten Minute des Mischens dem Estrich zugegeben. Aufgrund ihrer Dichte von 2.7 gr/cm³ neigt die Faser nicht zum Aufschwimmen und lässt sich gut in den Estrich einmischen. Eine Igelbildung, wie sie etwa bei Polypropylenfasern beobachtet wird, entsteht bei AR-Glasfasern auch bei hoher Dosierung nicht. Bei unter Laborbedingungen hergestellten Proben konnte eine Reduktion des Ausbreitmasses von ca. 8 % bei Faserdosierungen von 10 kg/m³ festgestellt werden. Bei den im Estrich üblichen Dosierungen um 1 kg/m³ wurde keine Veränderung des Ausbreitmasses festgestellt.

Die AR-Glasfasern zeigen keinen Wasseranspruch. Eine vermehrte Wasserzugabe, wie bei der Verwendung von Polypropylen üblich, ist bei der Verwendung von AR-Glasfasern unnötig. Der Estrich bleibt in seiner Rezeptur bis auf die Faserzugabe gleich. Die AR-Glasfasern werden in erdfeuchten Gemischen und in Zementfließestrichen erfolgreich eingesetzt.



Bild 13: Einbau von erdfeuchtem Estrich

Der Einbau und die Verarbeitung des Estrichs erfolgt ohne Mehraufwand. Ein Aufstehen von Fasern an der Oberfläche oder eine Pelzbildung entsteht bei AR-Glasfasern nicht. Ein Abflammen der Oberfläche, wie nach der Verwendung von Polypropylenfasern, ist nicht notwendig.

8.0 Mehrkosten

Je nach Estrichdicke werden ca. 35 bis 50 gr AR-Glasfasern pro m^2 verwendet. Die Mehrkosten dafür betragen ca. 60 Pf pro m^2 . Bezogen auf den Preis von 15 bis 20 DEM pro m^2 des fertig eingebauten Estrichs, sind das etwa 3 bis 4% an Mehrkosten. Die Polypropylenfasern werden etwas höher dosiert, haben aber einen etwas tieferen Preis pro kg, was aber etwa die gleichen Mehrkosten ergibt.