

ESTRICHTECHNIK

FACHMAGAZIN FÜR ESTRICH, INDUSTRIEFUSSBODEN, BELAG.

Hinweis: Die Diagramme, Fotos und Tabellen aus der Veröffentlichung werden in Kürze erneut eingefügt.

Dr.-Ing. Owe-Karsten Lorenz

Was Sie über Glasfasern zur Verstärkung von Estrichen wissen sollten

Einleitung

Seit über einem halben Jahrhundert finden Glasfasern vielfältige Anwendung als Verstärkung in organischen Verbundwerkstoffen, wie beispielsweise zur Konstruktion hochbelasteter Karosserieteile, Bootsrümpfe sowie Flug- und Sportgeräte. Die hochfesten Glasfasern erfüllen hier die Aufgabe, die verhältnismäßig weichen und verformbaren Kunststoffgrundmassen zu versteifen und deren Festigkeit zu erhöhen. Glasfasern sind jedoch wegen ihres hohen Elastizitätsmoduls und ihrer hohen Zugfestigkeit auch zur Verstärkung von spröden, rißempfindlichen Grundmassen hervorragend geeignet. Mit der Entwicklung alkaliresistenter AR-Glasfasern wurde eine passende Lösung gefunden, um zementgebundene Baustoffe wirkungsvoll und dauerhaft zu verstärken. Wegen ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften und Verarbeitungsfreundlichkeit werden diese AR-Glasfasern in zunehmendem Maße zur Verstärkung von Estrichen eingesetzt. Die nunmehr 30-jährige Erfahrung mit Erzeugnissen aus Glasfaserbeton im In- und Ausland hat aber gezeigt, daß nur die mit einem erheblichen Gehalt an Zirkoniumoxid >15 M.-% hergestellten AR-Glasfasern dem korrosiven Angriff der alkalischen Porenlösung von Zementstein standhalten.

Führende Hersteller textiler Glasfasern zur Verstärkung von Kunststoffen haben den Vorteil der alkalibeständigen AR-Glasfasern auf der Basis Zirkoniumoxid-Silikatglas für den Baustoffbereich erkannt. In Europa hat sich die zur Saint Gobain Gruppe gehörende Firma Vetrotex in den 80er Jahren die Technologie zur Herstellung der in England entwickelten CEM-FIL® AR-Glasfasern gesichert. Sie ist bereits seit 1950 kompetenter Anbieter von Glasfasern und gilt heute als einer der 3 weltweit größten Produzenten textiler Glasfaserprodukte (E-, C-Glas u.a.). Aufgrund des global steigenden Bedarfs nach Erzeugnissen aus Glasfaserbeton (GFB) wurde in der spanischen Produktionsstätte in Alcala de Henares bei Madrid parallel zur E-Glasproduktion eine gesonderte Schmelzwanne mit einer Kapazität von über 10.000 t für Cem-Fil AR-Glas in Betrieb genommen. Sie deckt in Europa zur Zeit einen Bedarf von ca. 6000 t AR-Glasfasern. Nach jüngster Firmeninformation ist inzwischen die Produktion von diesen Glasfasern auch in einem chinesischen Werk aufgenommen worden.

Herstellung und Arten von AR-Glasfasern

Die AR-Glasfasern werden aus einer bis zu 1.400 °C heißen Zirkonium-Silikat-Glasschmelze gezogen, die nach ihrem Austritt aus feinen Düsen zu endlosen Einzelfäden, sog. Filamente erstarren. Diese auch als Glasseide bezeichneten Filamente besitzen je nach Durchmesser der Düsen eine sehr gleichbleibende Dicke von mindestens 0,014 mm. Sofort nach dem Erstarren werden die Filamente mit einer sog. Schlichte versehen, die speziell auf den Einsatz in Zementstein angepaßt ist. Diese hauchdünne Schlichte umhüllt die einzelnen Filamente, bevor sie zu Spinnfäden, sog. Strands zusammengeführt werden. Die Spinnfäden werden, je nach ihrem Einsatzgebiet, entweder direkt auf zylinderförmige Spulen, sog. Rovings, gewickelt oder zu Spinnkuchen, sog. Cakes, aufgespult, die aus

unterschiedlicher Anzahl von Strands bestehen. Vom Spinnkuchen werden die Strands zur Kurzfasern, sog. Chopped Strands in Längen zwischen 3 und 50 mm geschnitten.

Die Kurzfasern werden mit Längen bis zu 24 mm als lose Ware ausgeliefert und werden zur Herstellung von AR-glasfaserverstärkten Mörteln im Premix-Verfahren verwendet. In den Längen von 12 und 18 mm eignen sie sich besonders für die Verstärkung von Estrichen. Es werden integrale, filamentisierende und dispersible AR-Glasfasertypen angeboten. Die integralen AR-Glasfasern bestehen aus jeweils 102 Filamenten, die selbst bei intensivstem Mischen im Estrichmörtel zusammenhalten und nicht zerspleißen. 1 kg der 12 mm langen Fasertypen besteht aus nahezu 2 Millionen Fasern, die eine Gesamtoberfläche von 15,3 m² besitzen. Die filamentisierenden Fasertypen spalten sich an ihren Enden auf. Demgegenüber vereinzeln sich die Filamente der wasserdispersiblen AR-Glasfasern beim Kontakt zum Anmachwasser sofort und vollkommen, so daß 1 kg ca. 202 Millionen Filamente freisetzt, die eine Gesamtoberfläche von 107 m² haben.

Längere Schnittware wird z.B. zu CS-Matten weiterverarbeitet, in denen die Glasfasern ungerichtet verteilt liegen und mit einem wasserlöslichen Binder verklebt sind, der auf Zementmörtel abgestimmt ist. Diese Matten dienen zur gezielten Positionierung der Faserarmierung in Zugspannungsbereichen des zu verstärkenden Betonbauteils bzw. der Estrichplatte. Da sich die Fasern bei Befeuchtung der CS-Matte voneinander lösen, ist eine Anpassung an die Geometrie des Bauteils ohne Zuschnitt möglich. Die einzelnen Fasern werden vom Mörtel gut umschlossen und gewährleisten somit eine perfekte Verbundwirkung. Die CS-Matten eignen sich u.a. auch zur Verstärkung von Spachtel- und Ausgleichsmassen.

Was sind 'alkaliresistente' AR-Glasfasern?

Planer und Ausführende haben in letzter Zeit die vorteilhaften physikalischen Eigenschaften von Glasfasern erkannt, so daß sie zunehmend zur Mikroarmierung von Estrichen und Betonböden eingesetzt werden. Offenbar in Unkenntnis über das chemische Verhalten der verfügbaren Glasfasererzeugnisse, werden hierfür jedoch verschiedentlich auch E- oder C-Glasfasern angeboten, die keine ausreichende Alkalibeständigkeit in Zementstein besitzen. Diese für die Kunststoffverstärkung entwickelten E-Glasfasern sind nicht 'chemisch gesehen nichts anderes als geschmolzener Sand', wie erst kürzlich in einem Fachbeitrag im Fachmagazin EstrichTechnik behauptet wurde. Während Quarzsand vergleichsweise alkaliresistent ist, wie die Dauerhaftigkeit von Beton beweist, bestehen E-Glasfasern aus Bor-Silikatglas, das in Zementstein innerhalb von Tagen seine festigkeitsgebende Struktur verliert. Das bei der Reaktion des Zementes mit Wasser freigesetzte Kalkhydrat (Ca(OH)₂) sowie die Alkalihydroxyde (NaOH und KOH) zersetzen die Bor-Silikatglasfasern korrosiv. Diese alkalische Glaskorrosion ist auch nicht durch spezielle Schichten zu verhindern, weil sie keinen geschlossenen Film auf den Glasfasern bilden. Entsprechende Erfahrungen mußten die Entwickler von GFB-Erzeugnissen bereits vor Jahrzehnten machen, als noch kein Zirkonium-Silikatglas ausreichender Qualität verfügbar war.

Im Auftrag der Fachvereinigung Faserbeton e.V. ist die Zerstörung von E- und C-Glasfasern durch Zementporenflüssigkeit jüngst vom Institut für Faserbaustoffe Berlin e.V. (IFB) untersucht worden. /1/ Der Prozeß der Faserzerstörung ist in mikroskopischen Aufnahmen dokumentiert, die in den Abbildungen 1 a-i wiedergegeben sind. Es werden die Zustände von E-, C- und AR-Glasfasern jeweils bei der Anlieferung, nach 7tägiger und 28tägiger Lagerung gezeigt. Die mikroskopischen Aufnahmen verdeutlichen, daß AR-Glas in Zementsteinlauge optisch keine Veränderungen zeigt, während die Bor-Silikatgläser bereits nach 7 Tagen Korrosionserscheinungen mit Querschnittsminderungen aufweisen, die nach 21 (C-Glas) bzw. 28 Tagen (E-Glas) in ihrer Verkürzung und völligen Auflösung gipfeln.

Die Veränderungen in der Glasstruktur machen sich auch in einem schnellen Festigkeitsabfall bemerkbar, der im sog. SIC-Test (stand-in-cement-test) feststellbar ist. Dieses Prüfverfahren wird als ein internationaler Standard zur Beurteilung der Alkalibeständigkeit von Glasfaserbewehrung auch vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) als Kriterium für die Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung herangezogen. Der SIC-Test schreibt vor, daß ein Glasfaserstrang, der über 4 Tage bei 80 °C in feuchtem Zementstein eingebettet wurde, eine Zerreißfestigkeit von >400 N/mm² aufweisen muß, um als statische Bewehrung zugelassen zu werden. Nach den vom IFB ermittelten Ergebnissen erfüllen ausschließlich zirkoniumhaltige AR-Glasfasern diese Anforderung.

Wie die Ergebnisse der Zugfestigkeitsveränderungen im SIC-Test in der Abbildung 2 verdeutlichen, erfahren auch die AR-Glasfasern einen deutlichen Abfall ihrer Zugfestigkeit, der jedoch selbst bei der hohen Temperatur weniger als 20 % beträgt. Demgegenüber verlieren die Bor-Silikatglasfasern Typ E und C ihre Festigkeit innerhalb einer Woche vollkommen. Dieser rasche Festigkeitsverfall der E- und C-Glasfasern erfolgt auch bei einer Lagerungstemperatur von 40 °C, die als Vorlauftemperatur beim Ausheizen von Heizestrichen auftritt. Die alkaliresistente AR-Glasfaser zeigt demgegenüber bei 40 °C sogar einen anfänglichen Festigkeitszuwachs. Da von einer echten Verstärkungsfaser eine langfristige Wirksamkeit erwartet werden darf und nicht nur eine einige Stunden oder Tage währende Existenz, ist lediglich die Verwendung von AR-Glasfasern zu empfehlen.

Die Mechanismen der Glasfaserverstärkung

Bei der Glasfaserverstärkung von Baustoffen ist zwischen der sog. Modifizierung von Beton bzw. Estrich mit bis zu 0,4 Vol.-% AR-Glasfasern (entspr. 10 kg/m³) und der statischen Bewehrung von Glasfaserbeton zu unterscheiden. Glasfaserbeton besitzt einen mehr als 10fach höheren Fasergehalt, der die Tragfähigkeit des Bauteils auch im gerissenen Zustand gewährleisten kann. Das hohe AR-Glasfaservolumen von 2,5 bis 5 Vol.-% übernimmt im herkömmlichen GFB also statische Funktion, während die Verstärkung beim glasfasermodifizierten Beton auf plastische und bruchmechanische Mechanismen zurückzuführen ist.

Zum Verständnis der verstärkenden Wirkung der Glasfasermodifizierung sind drei Zeitabschnitte zu unterscheiden, die jeder Beton- bzw. Estrich nach seiner Platzierung durchläuft. In der ersten, plastischen Anfangsphase, die je nach Abbindeverhalten bis zu zwei Tage dauern kann, nimmt das Verformungsvermögen des Estrichs beim Übergang vom plastischen in den festen Zustand ab. Die Minderung der Verformbarkeit des jungen Betons wird u.a. von Wierig /2/ beschrieben und ist in der Abbildung 3 beispielhaft dargestellt. In dieser kritischen Zeit kommt es aufgrund der Wasserverdunstung aus der Estrichoberfläche sowie der thermischen Schwindung beim Abfließen der Hydratationswärme - meistens überlagert durch die nächtliche Abkühlung - zu einer Volumenminderung, die die Bruchdehnung des Estrichs überschreiten kann. Nach Untersuchungen von Manns und Zeus /3/ ist der 'grüne' Estrich in dem Zeitraum zwischen dem Mattwerden der Oberfläche und dem Erstarrungsende (sog. Liegezeit) gegenüber der Bildung von Frühschwindrissen empfindlich, so daß gerade die wenig Wasser absetzenden und mit verzögernden Zusätzen versehenen Estriche besonders rißgefährdet sind. Wegen der geringen Anfangsfestigkeit der Zementleimgrundmasse, vermögen bereits sehr geringe Mengen an AR-Glasfasern die Entstehung von Rissen während der plastischen Phase zu verhindern. Immerhin liegt bei einer Zugabe von 1 kg/m³ in einem Estrich ZE 20, der ungefähr 350 Liter/m³ Feinmörtel (Zement + Anmachwasser + Feinstsand <0,25 mm) enthält, eine Bewehrungsdichte von 6 Fasern je Kubikzentimeter im Feinmörtel vor. So werden die durch Bluten oder raschen Wasserverlust entstehenden Gefügedefekte im weichen Feinmörtel durch die dicht gelagerten AR-Glasfasern in Anzahl und Größe unterdrückt.

Aus Untersuchungen zur Rißeempfindlichkeit von schwindintensiven Zementmörteln ist bekannt, daß die rißverhindernde Wirkung mit dem Streckungsgrad der AR-Glasfaser zunimmt. /4/ Aus diesem Grund hemmen bei gleicher Länge die wesentlich dünneren und oberflächenreicheren Einzelfilamente der wasserdispersiblen AR-Glasfaser die Rißbildung in der plastischen Schwindphase noch effizienter. Bei einer empfehlenswerten Zugabe von 350 g/m³ liegt eine Bewehrungsdichte von ca. 600 Filamente pro Kubikzentimeter Feinmörtel vor. Die durch die Modifizierung mit AR-Glasfasern erhöhte Standfestigkeit und Verformbarkeit führt dazu, daß der grüne Zementestrich seinen Volumenverlust ohne die Bildung klaffender Frühschwindrisse überstehen kann. /5/

Im Anschluß an seine Liegezeit gewinnt der junge Estrich in der Erhärtungsphase wieder an elastischer Verformbarkeit. Während das Betonteil an Festigkeit zunimmt, schwindet es aufgrund der Austrocknung weiter, so daß in ihm Zwängspannungen wirksam werden können, wenn die Verformung des Bauteils durch Reibung oder Einspannung behindert wird. Die Zwängzugspannungen können die Zugfestigkeit des Estrichs überschreiten, wobei der Zeitpunkt der Rißbildung im wesentlichen von den Bauteilsabmessungen sowie von der mechanischen Belastung abhängig ist. Die AR-Glasfasern behindern in dieser Erhärtungsphase das Wachsen von Mikrodefekten und Feinstrissen, so daß sie sich nicht zur trennrißauslösenden Größe ausweiten.

Die Voraussetzung für eine wirkungsvolle Verstärkung auch während der Wochen dauernden Erhärtungsphase ist die Gegenwart sehr feiner und gleichmäßig verteilter Fasern, die einen hohen Elastizitäts-Modul besitzen und mittels geeigneter Schlichte einen guten Verbund zur Zementsteinmatrix aufbauen, damit eine effektive Kraftübertragung auf die Fasern dauerhaft möglich ist. Der Vergleich der Eigenschaften von Fasern in der Tabelle 1 verdeutlicht, daß sehr erhebliche Unterschiede in ihren mechanischen Eigenschaften und Abmessungen existieren. So besitzen Stahlfasern zwar eine hohe Zugfestigkeit und einen hohen E-Modul, jedoch erlauben ihre relativ großen Abmessungen nur eine niedrige Bewehrungsdichte und bieten daher keine effektive Kraftübertragung im jungen Estrich. Bei der oben genannten Fasermodifizierung von 1 kg/m³ errechnet sich für die Stahlfasertypen, die in der Tabelle 1 aufgeführt ist, eine Dichte der Bewehrung von nur 23 Fasern pro 1.000 Kubikzentimeter Estrich (entspr. 0,0013 Vol.-%). Diese Faseranzahl ist zu gering, um die Aufgabe der Schwindrißverhinderung wahrnehmen zu können. Fasern aus Polypropylen oder anderen Kunststoffen sind zwar sehr fein, aber auch wesentlich weicher als Zementstein, dessen Elastizitäts-Module bei Estrichen zwischen 20.000 bis 45.000 N/mm² liegen. Die Spannungsübertragung auf diese weichen Kunststofffasern versagt mit zunehmender Festigkeitsentwicklung des Zementsteins. Sie können als weicher Zusatzstoff die Zugfestigkeit des Estrichs bei einer Dosierung über 2 kg/m³ sogar merklich mindern.

In der dritten Phase weist der nahezu vollständig erhärtete Zementstein praktisch keine plastische Verformbarkeit mehr auf. Die Verstärkungswirkung der steifen AR-Glasfasern ist im wesentlichen auf bruchmechanische Vorgänge zurückzuführen, bei denen die vielfältigen Wechselwirkungen der spröden Zementsteinmatrix mit den Fasern in der Nähe bereits vorhandener Risswurzeln eine Rolle spielen. Mit einer Bruchdehnung von nur 0,2 % stellt der erhärtete Estrich eine sehr spröde Matrix dar. Ein

vorhandener Riß im unbewehrten Zementstein oder ein Gefügedefekt, kann ohne viel zusätzlich aufgebrachte Spannung wachsen. In der Gegenwart der AR-Glasfasern wird die notwendige Energie für das Aufreißen der Rißufer durch verschiedene Mechanismen gesteigert, so daß die Belastbarkeit des gegenüber Rissen ungeduldigen Estrichs höher sein kann. Die vor der scharfen Rißfront wirkende Spannungsüberhöhung wird durch die Lastübertragung auf die steifen Fasern erniedrigt. Die auf die Fasern auftreffende Rißfront kann aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt werden oder verzweigen. Dadurch werden die Rißflanken rau, so daß mehr Bruchenergie verzehrt und eine höhere Bauteilbelastung ermöglicht wird. Das Ablösen und das Herausziehen der Fasern aus den Rißflanken hinter der Rißfront verbraucht zudem wesentliche Bruchenergie. Insgesamt bewirken diese Prozesse eine Steigerung des Bruchwiderstandes, so daß eine verbesserte Schlag- und Verschleißzähigkeit schon an glasfasermodifizierten Betonen mit Fasergehalten unter 0,3 Vol.-% meßbar ist. Die Abbildung 4 zeigt bei der ETH Zürich durchgeführte Biegezugprüfungen an glasfasermodifiziertem Beton und Stahlfaserbeton im Vergleich /6/. Durch die Beimengung von 20 kg/m³ Stahlfasern wird das Arbeitsvermögen des Betons ein wenig verbessert, wobei die Bruchfestigkeit nicht gesteigert wird. Sie erhöht sich erst bei einer dreifach höheren Stahlfaserdosierung von 60 kg/m³ nachweisbar. Dagegen wurde bereits mit einer Modifikation mit 7,5 kg/m³ AR-Glasfasern eine Steigerung der Biegezugfestigkeit um 30 % gegenüber dem unverstärkten Beton B 55 erzielt, wobei keine Nachrißfestigkeit festgestellt wurde. Die Glasfasermodifizierung kann also die Festigkeit des ungerissenen Bauteils erhöhen und somit das Entstehen von Rissen verhindern, während die Stahlfaserverstärkung das Arbeitsvermögen nach dem Versagen der Betonmatrix verbessert und die Rißbreiten begrenzt, sofern die Faserdosierung ausreichend hoch ist.

Rißverhalten von glasfasermodifiziertem Estrich

Daß eine verhältnismäßig geringe Beimengung von 2 kg/m³ an 12 mm langen, integralen AR-Glasfasern ebenfalls eine verstärkende Wirkung haben kann, verdeutlicht die Abbildung 5, die die Spannungsentwicklungen in einem AR-glasfasermodifizierten und in einem unverstärkten Zementfließestrich zeigt. Die Messungen erfolgten bei der Heidelberger Zement AG in zwei sog. Temperatur-Spannungsprüfrahmen, in denen die eingeschalteten Estrichprüfkörper vollkommen starr eingespannt sind. Über ihre Oberseite konnten die 5 cm dicken Estrichbalken bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte frei austrocknen. Die Temperatur der beiden Prüfrahmen wurde über einen Zeitraum von 4 Tagen auf 20 °C konstant gehalten, um am 5. Tag mit 8,3 K/Std. erhitzt zu werden. Sofort nach dem Erreichen der Maximaltemperatur von 40 °C wurde am 6. Tag die Rahmentemperatur sprungartig wieder auf die Ausgangstemperatur von 20 °C abgesenkt. Nach einem anfänglichen Druckanstieg, der aus der thermischen Dehnung beim Freiwerden der Hydratationswärme resultierte, kam es bis zum 4. Tag in beiden Estrichbalken zu einem anhaltenden Anstieg der Zugspannung, die im wesentlichen aus dem Schwinden beim Austrocknen resultierte. Durch die Wärmedehnung während des Aufheizens baut sich eine starke Druckspannung auf, die während der folgenden Abkühlungsphase rasch absinkt, so daß beide Estrichbalken schnell unter hohe Zugspannung geraten. Diese absichtlich extrem gewählte Versuchsführung läßt den faserfreien Vergleichsestrich reißen, während der AR-glasfasermodifizierte Zementfließestrich intakt bleibt.

AR-Glasfasern zur Verstärkung von Zementestrichen

Die gesamten Vorteile der Glasfasermodifizierung lassen sich nur nutzen, wenn alkaliresistente AR-Glasfasern zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zu anderen Fasern können die AR-Glasfasern nicht nur die Rißbildung in der plastischen Phase des frisch verlegten Estrichs verhindern, sondern das Risiko der Rißbildung noch Wochen über die Erhärtungsphase hinaus senken. Daß insbesondere gut verdichtete und nachbehandelte Zementestriche hoher Qualität ein ausgeprägtes Speichervermögen für überschüssiges Anmachwasser besitzen und daher zu einem länger dauernden Trocknungsschwinden neigen, zeigen beispielhaft die folgenden Ergebnisse zum Trocknungs- und Verformungsverhalten eines Zementfließestrichs.

Die Abbildung 6 stellt den zeitlichen und räumlichen Verlauf der Austrocknung zweier 40 mm starker Zementestrichplatten derselben Zusammensetzung und guter Verdichtung über einen Zeitraum von 160 Tagen dreidimensional dar. Die Verteilung der Restfeuchte, also des nicht in den Zementhydratphasen fest gebundenen Porenwassers, wurde zerstörungsfrei mit Hilfe kernmagnetischer Resonanzanregung gemessen. Diese Messungen wurden im Auftrag der Heidelberger Zement AG am Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren in Saarbrücken durchgeführt /7/. Die Restfeuchte ist - nach Farbtönen unterschieden - senkrecht aufgetragen, die Estrichplattentiefe von links nach rechts und die Zeitachse ragt aus der Bildebene heraus. Die rote Färbung entspricht etwa der Ausgleichsfeuchte des Zementestrichs, die nach Abschluß der Messung mit 2,8 M-% bestimmt wurde. Beide Estrichplatten konnten nur über ihre Oberseite austrocknen, wobei die eine durch eine Folienabdeckung gut nachbehandelt wurde. Diese Nachbehandlung entspricht in der Baupraxis einer mehrtägigen, hohen Luftfeuchtigkeit nach dem Estricheinbau. Es ist deutlich zu erkennen, daß der Restfeuchtegehalt der nachbehandelten Estrichplatte insgesamt höher liegt als der des unbehandelten Estrichs und daß insbesondere die Estrichunterseite der

ersteren über den gesamten Meßzeitraum von 5 Monaten kaum an Überschußfeuchte verliert. Es handelt sich hierbei um nicht gebundenes Wasser, das nur sehr langsam durch das kapillarporenarme Zementsteingefüge an die Estrichoberfläche gelangt. Es bleibt ein starker Feuchteunterschied über die Höhe der nachbehandelten Estrichplatte erhalten, der die Ursache für ungleichmäßiges Trocknungsschwinden ist und in der Regel ein Aufschüsseln der Estrichränder hervorruft /8/. Im Laufe der Zeit wird sich der Feuchtegehalt auch in der nachbehandelten Estrichplatte langsam ausgleichen, so daß weiterhin Zwängspannungen im Estrich wirken, die nach sehr langer Zeit, nicht selten sogar erst bei der Nutzung, Risse verursachen können. Erwähnenswert ist die in der Abbildung 7 ersichtliche Feststellung, daß die Erhöhung des Luftporengehaltes das Aufschüsseln deutlich mindern kann. Während das freie Schwinden und das Aufschüsseln nach Beendigung einer zeitweiligen Nachbehandlung verstärkt wird, erniedrigt eine Erhöhung des Luftporengehaltes das Aufschüsseln desselben Zementfließestrichs deutlich.

Zusammenfassung

Nur alkaliresistente AR-Glasfasern können dem korrosiven Angriff des bei der Zementreaktion freigesetzten Kalkhydrats ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ohne Festigkeitsverlust dauerhaft standhalten und sind daher in der Lage, praktisch unbegrenzt lange verstärkend zu wirken. AR-Glasfasern können selbst unter extremen Bedingungen Beton dauerhaft verstärken und sind deshalb als statische Bewehrung vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zugelassen worden. Ihre Dauerhaftigkeit haben die AR-Glasfasern als Bewehrung selbst in stark bewitterten Glasfaserbetonbauteilen bewiesen. Die Eignung gegenwärtig angebotener Glasfaserprodukte für zementgebundene Baustoffe wird durch die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt zugesichert, so daß deren Nachweis im Zweifelsfall die Diskussionen mit Prüfstellen und Planern überflüssig macht. Obwohl die AR-Glasfasern in Estrichen keine statische Funktion übernehmen müssen, gereicht ihre Dauerhaftigkeit auch Betonböden und Estrichen zum Vorteil, weil sie die Rißbildung über die Erhärtungsphase hinaus auch bei der Austrocknung verhindern können. Die Trocknung von Zement-estrichen wird durch ein Schwinden begleitet, das je nach Bauklima, Nachbehandlung und Estrichdicke, mehrere Wochen dauern kann. Neben den planbaren, konstruktiven Maßnahmen zur Begrenzung der Rißgefahr, gibt der Einsatz dauerhaft verstärkender AR-Glasfasern zusätzliche Sicherheit vor Schäden, deren vielfältige, meist klimatische Ursachen schwer voraussehbar sind. Die AR-Glasfaserverstärkung verbessert die Gebrauchseigenschaften von Estrichen. Bereits eine geringe Beimengung bis zu 3 kg/m^3 erhöht die Schlag- und Bruchzähigkeit des Estrichs. Bei Zement-estrichen hat sich ein AR-Glasfasergehalt von $1,5 \text{ kg/m}^3$ zur Verhinderung von Trocknungsschwindrissen bewährt. Um die Biegezugfestigkeit nachweisbar zu erhöhen, ist der AR-Glasfasergehalt auf ungefähr 7 kg/m^3 zu erhöhen. In Bereichen, in denen Estriche nur in minderer Dicke ausführbar sind, ist eine statische Bewehrung durch den zusätzlichen Einsatz von AR-Glasfasermatten möglich.

Literatur:

- {1} Winkler, J., Friedrich, J., Peter, D. und Masthoff, R.: Vergleichende Untersuchungen des Verhaltens verschiedener textiler Glasfasern bei der Bewehrung zementgebundener Baustoffe. Zur Veröffentlichung vorbereiteter Bericht des Instituts für Faserbaustoffe Berlin e.V. (1998).
- {2} Wierig, H.-J.: Frischbeton und Bauwerksqualität, beton 5 (1983), 175-179.
- {3} Manns, W. und Zeus, K.: Einfluß von Zusatzmitteln auf den Widerstand von jungem Beton gegen Rißbildung bei scharfem Austrocknen. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 302 (1979).
- {4} Hauenstein, B.: Glasfaserverstärkung von Zementestrich und Beton. In: Information der Bauberatung Zement des Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (1997).
- {5} Friedrich, Th.: Risskontrolle durch Vorspannung und Glasfaserzusätze. In: Falkner, H. und Teutsch, M.: Braunschweiger Bauseminar 13.-14.11.1997 'Innovatives Bauen' (1997), Heft 136.
- {6} Hardmeier, S.: AR-Glasfasern als Mikrobewehrung zur Rißbreitenbeschränkung und Festigkeitssteigerung von Estrich und Beton. In: Proc. Of the Asia-Pacific Speciality Conference on Fibre Reinforced Concrete, Singapore 28.-29.8.1997.
- {7} Wolter, B. u.a.: Kontrastierende $^1\text{H-NMR}$ -Messungen in Aufsatztechnik zur Bestimmung von Feuchtehalten in Zementestrichen und Holz. Feuchtetag '97 in Berlin, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (1997) 218-229.
- {8} Lorenz, O.-K. und Schmidt, M.: Aufschüsseln auf Trennschicht verlegter Zementestriche. EstrichTechnik 1 (1998) 3-13.