

Novacret AG, Zürich, Schweiz

Verstärkung von Beton mit alkaliresistenten Glasfasern



Bild 2: Einmischen der alkaliresistenten Glasfasern in den Transportbetonmischer.

1. Fasern als Verstärkung

Keineswegs neu ist die Idee, spröde Baustoffe mit Fasern zu verstärken. So wurde dem rissigen Baustoff Lehm Stroh als sogenannte Langfaser beigemischt, um die infolge des Austrocknens entstehenden Risse (Schrumpfen des Materials) zu verhindern. Den Putzen wurden früher Tierhaare beigemischt, um ebenfalls die Risse durch Austrocknen und thermischen Spannungen zu verhindern.

Heutzutage bedient man sich für die Verstärkung von zementgebundenen Baustoffen technischer Fasern, um die gleichen Effekte zu erreichen, nämlich die Risse zu verhindern.

2. Anwendungsspektrum von Fasern

Nach heutigem Stand werden für Mörtel und Betone Stahl-, Kunststoff- und Glasfasern eingesetzt [Tabelle 1]. Das Anwendungsspektrum von Stahlfasern umfasst vorwiegend den Industriefussboden und den Spritzbeton insbesondere im Tunnelbau. Kunststofffasern werden weitgehend im Bereich des Estrichs und der Mör-

tel eingesetzt, um insbesondere die Frühwindrisse zu reduzieren. Die alkaliresistente Glasfaser wurde traditionell als statische Bewehrung im Bereich des Glasfaserbetons für dünnwandige Bauteile eingesetzt. Während für diese speziellen Anwendung hohe Dosiermengen 50 - 130 kg/m³ verwendet werden, zeigen neuere Untersuchungen, dass bereits eine geringere Dosierung im Normalbeton eine Verstärkung bewirkt. Demzufolge bietet sich für die Glasfaser ein weites Anwendungsfeld im Normalbeton, um entsprechende Materialeigenschaften des Festbetons zu verbessern.

Um den jeweiligen Einsatzbereich für die einzelnen Faserarten zu umreißen und gegenseitig abzugrenzen, bedarf es der Kenntnis hinsichtlich der Anforderungen an das Endprodukt einerseits, sowie der Leistungsfähigkeit der einzelnen Fasern andererseits.

3. Anforderungen an das Endprodukt - Leistungsfähigkeit der Fasern

Im Zusammenhang mit der Auswahl der Faserart stellt sich die Frage, zu welchem



Bild 1: Alkali-resistente Glasfasern und Stahlfasern.

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

Tabelle 1: Eigenschaften von Glas-, Kunststoff- und Stahlfasern.

Zweck eine Verstärkung mit Fasern gewählt wird. Ist aufgrund der Einwirkungen (aus Last und Zwängungen) zu erwarten, dass der Querschnitt reißen wird, kann nur eine Faser zum Einsatz kommen, die ein sogenanntes Nachrissverhalten ermöglicht. Das kann in aller Regel nur die Stahlfaser anbieten und im besonderen nur diejenige, die über eine entsprechende Ausbildung der Enden die Verankerung im Beton ermöglicht [Bild 1]. Im Gegensatz zum spröden Betonzugverhalten liefert das sogenannte Nachrissverhalten minimale Widerstände, die auch bei größeren Verformungen erhalten bleiben. Somit ist die gesamte Konstruktion in der Lage, Beanspruchungen durch entsprechende Verformungen umzulagern, und damit die gesamten Tragreserven der statisch unbestimmten Konstruktion zu nutzen.

Ist jedoch davon auszugehen, dass die Konstruktion infolge der Einwirkungen oder durch bewusst gewählte konstruktive Maßnahmen im homogenen Zustand verbleibt, muss eine entsprechende Verstärkungsfaser gewählt werden, die diesen homogenen Zustand dauerhaft sicherstellt. In einem solchen Fall ist eine große Anzahl an Fasern erforderlich, die den Zementleim gleichmäßig durchsetzen, um das Gefüge zu verstärken und dessen homogene Eigenschaften dauerhaft zu gewährleisten. Für diesen Fall sind viele, kurze Fasern gefragt, die eine große Oberfläche und einen hohen Elastizitätsmodul aufweisen. Die große Oberfläche dient dem Verbund zwischen Zementmatrix und Faser und nur der gegenüber dem Beton größere Elastizitätsmodul erweist sich als wirksame Verstärkung, wenn die Matrix sich verformt. Unter diesen Voraussetzungen erweist sich die Glasfaser als die bessere Verstärkungsfaser. Ihr Elastizitätsmodul ($\rho \approx 75'000 \text{ N/mm}^2$) ist bedeutend größer als derjenige der Kunststofffaser ($\rho \approx 8'000 \text{ N/mm}^2$) und somit eine echte Verstärkung in Form einer Bewehrung, wenn der Verbundbaustoff beansprucht wird. Die Wirkung der Kunststofffaser bleibt demzufolge ausschließlich auf den jungen Beton beschränkt, da dieser im jungen Alter ebenfalls nur einen geringen E-Modul aufweist. Um möglichst viele Fasern in das Betongemisch einzubringen, muss eine gute Verarbeitbarkeit, sprich Einmischbarkeit gegeben sein. Da für diesen Fall das spezifische Gewicht der Faser eine entscheidende Rolle spielt, besitzt die Glasfaser mit einem ($\rho = 2.7 \text{ kg/m}^3$) weitere Vorteile gegenüber der Kunststofffaser mit einem ($\rho \approx 1.0 \text{ kg/m}^3$). Infolge der Einmischbarkeit bleibt die maximale Dosierung der Kunststofffaser auf 2.0 kg/m^3 beschränkt, während sich bedeutend mehr Glasfasern einmischen und auch verarbeiten lassen [Bild 2].



Bild 4: Kombinierte Anwendung von alkaliresistenten Glasfasern als Gelege und Kurzfasern.



Bild 3: Glasfasergitter.

4. Eigenschaften der Glasfaser - Spektrum der Anwendbarkeit

Glasfasern sind sowohl als Kurz- als auch als Langfasern im Beton einsetzbar, um die homogenen Eigenschaften der Betonkonstruktion zu verbessern. Kurzfasern verbessern das Gefüge, steigern die Robustheit und vergrößern damit das homogene Verhalten. Der so erzielten Steigerung der Betoneigenschaften durch die Kurzfasern sind jedoch Grenzen gesetzt. Eine Steigerung des homogenen Verhaltens kann darüber hinaus durch eine textile Bewehrung in Form eines Glasfasergitters [Bild 3] erzielt werden. Oberflächennah eingelegt, steigert die textile Bewehrung das homogene Verhalten und bietet darüberhinaus einen Zugwiderstand nach der Rissbildung. Idealerweise wird die Kurzfasern mit der Langfasern in der Anwendung kombiniert, um die gewünschte Gefügeverbesserung und die Steige-

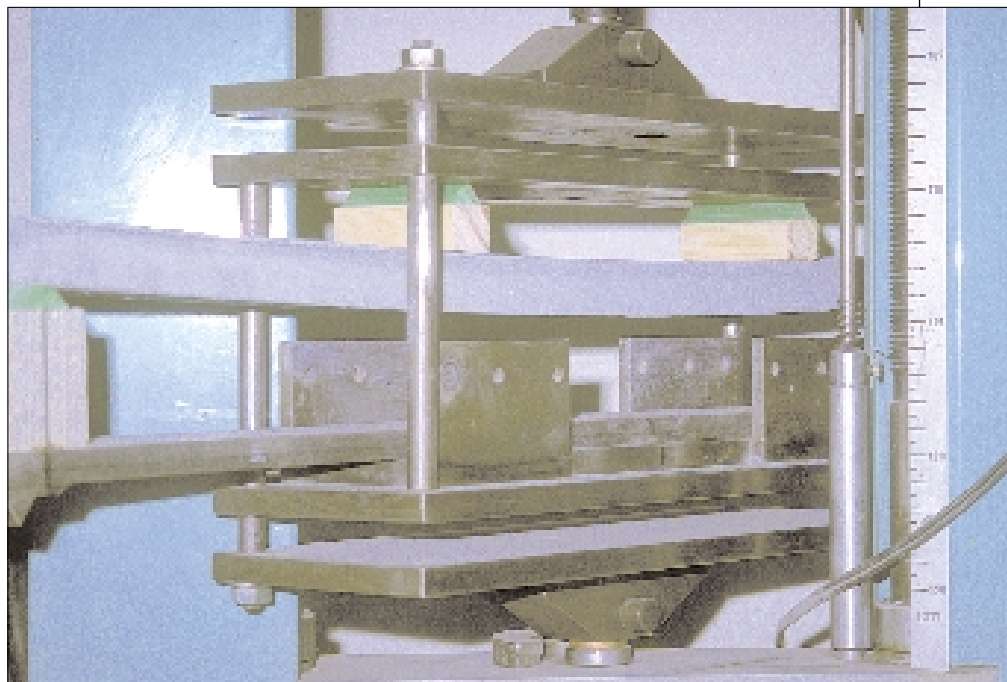


Bild 5: Biegeversuche an textilbewehrten Versuchs balken.

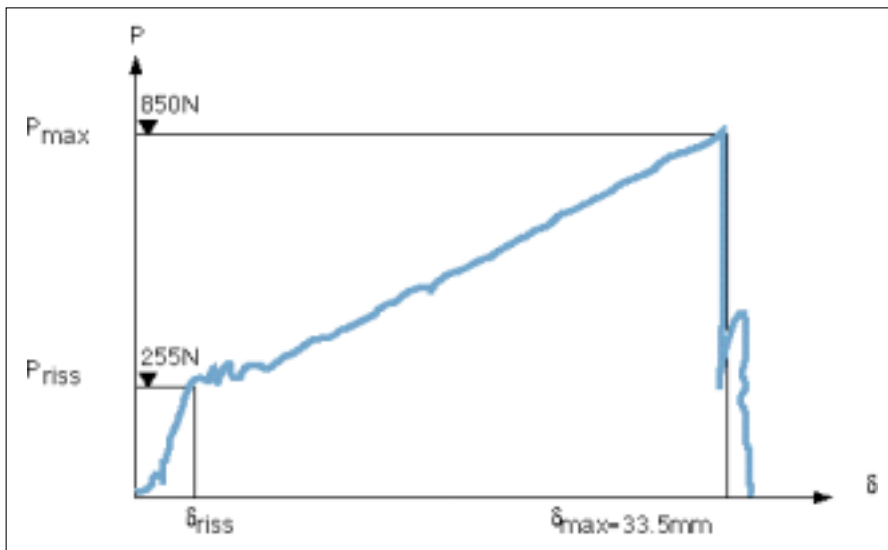


Bild 6: Lastverformungsdiagramm am Plattenstreifen.



Bild 7: Versuche an Betonplatten mit textiler Bewehrung

rung des homogenen Zugverhalten zu erreichen [Bild 4]. Diese einzelnen Effekte wurden in den verschiedenen, nachfolgend beschriebenen Versuchen nachgewiesen.

Damit steht ein breites Spektrum an Glasfasern zur Verfügung, um je nach Anforderung das gewünschte homogene Verhalten zu erreichen und zu gewährleisten.

5.0 Versuche mit Glasfaserverstärkung für Normalbeton

Um Anhaltspunkte für den Einsatz des jeweiligen Typs von Fasern zu ermitteln und Grundlagen für die Dimensionierung zu liefern, wurden verschiedene Versuche mit Glasfasern in Kurz- und Langform durchgeführt. Nachfolgend wird von diesen Untersuchungen detailliert berichtet.

5.1 Versuche an Balkenstreifen

Um die Wirkung einer Verstärkung mit Glasfaserrovings zu testen, wurden kleine Betonbalken mit einem Feinmörtel gefertigt. Die losen Glasfaserstränge wurden in den feuchten Beton eingedrückt und erhielten dadurch ihren Verbund mit dem Querschnitt. Die Balken wurden im Zweipunktbiegeversuch [Bild 5] auf ihre maximale Tragfähigkeit hin getestet. Zwei interessante Ergebnisse lassen sich anhand der Last-Verformungskurve feststellen. Der Querschnitt verbleibt sehr lange im homogenen Zustand, bis die ersten feinen Risse auftreten und der Balken an Steifigkeit verliert. Dem zur Risslast zugehörigen Moment [Bild 6] lässt sich am homogenen Querschnitt rechnerisch eine äquivalente Biegezugspannung zuordnen, die in der Größenordnung von ca. 10.0 N/mm² liegt. Das bedeutet eine

Bezeichnung	Nullbeton	Beton mit Fasergehalt von 3.0 kg/m ³	Platte mit Glasfasergitter g= 220 g/m ²
Last (kN)	0.60	0.75	3.00

Tabelle 2: Versuchsergebnisse von Plattenversuchen

beachtliche Steigerung des homogenen Zustandes durch gezielte Anordnung von gerichteten Fasern in Form von Rovingen gegenüber dem unbewehrten Querschnitt.

Eine weitere Laststeigerung über die Risslast hinaus ist bei reduzierter Steifigkeit möglich, verbunden mit großen Verformungen. Die Konstruktion verhält sich sehr duktil, erkennbar an der großen Verformung. Schlussendlich hat der Balken durch das Versagen der Betondruckzone seine maximale Tragfähigkeit erreicht.

5.2 Versuche an Platten

Als Ergänzung zu den Balkenversuchen wurden quadratischen Platten mit den Abmessungen im Grundriss von 60 x 60 cm getestet [Bild 7]. Die Dicke der Platten betrug 2.5 cm. Die Platten wurden allseitig aufgelegt und durch eine mittige Einzellast belastet. Die Einzellast wurde flächig (ø 7.0 cm) eingetragen.

Um die Unterschiede in der verschiedenen Anwendung von Glasfasern aufzuzeigen, wurden Platten getestet mit einem gleichmäßigen Kurzfasergehalt von 3.0 kg/m³ und solche mit einem oberflächennahen Glasfasergitter von ca. 220 g/m². Das Glasfasergitter wurde vorgängig auf die Schalung gelegt und die Betonmischung eingebracht.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammen-

getragen. Die geringe Menge an Kurzfasern bewirkt bereits eine Laststeigerung von ca. 25% von 0.60 kN auf 0.75 kN. Bemerkenswert ist die mit dem Glasfasergitter zu erzielende Steigerung von ca. 500%. Dabei verbleibt der Plattenquerschnitt analog den Versuchen am Balkenstreifen sehr lange im homogenen Zustand, bis zu einer Belastung von ca. 2.0 kN was etwa 65 % der Tragfähigkeit entspricht. Die weitere Laststeigerung geht einher mit einer großen Verformung. Der Verbund des oberflächennah eingelegten Glasfasergitters bleibt intakt. Die Platte versagt infolge Durchstanzen, wobei der Stanzzylinder von dem Glasfasergitter aufgefangen wird. Ergänzend wurde festgestellt, dass die Platten ohne jegliche Fasern sich sehr spröde verhalten, indem Teile und Ecken abgebrochen sind. Das konnte bei den faserbewehrten Elementen nicht festgestellt werden, was auf die Vergrößerung der Schlagzähigkeit zurückzuführen ist.

6. Anwendungen in der Praxis

Es gibt viele Betonelemente, bzw. -konstruktionen, die derart gering beansprucht sind, dass sie im homogenen, ungerissen Zustand verbleiben. Dazu gehören die meisten konstruktiven Betonelemente des Fertigteilsbaus, wie Wände, Fassaden und die meisten Betonwaren. Die meist konstruktiv eingelegte Bewehrung in Form



Bild 8: Bodenplatte: Betonieren auf die untere Glasfasergitterlage.



Bild 9: Bodenplatte: Einarbeiten der oberen Glasfasergitterbewehrung.

eines Stahlgewebes mit geringem Stahlquerschnitts übernimmt i.d.R. keinerlei statische Funktionen und kann entweder durch die Kurzfasern oder durch die oberflächennah eingelegte textile Bewehrung ersetzt werden.

6.1 Ersatz der Montagebewehrung von Deckenplatten

Einachsig gespannte Fertigdeckenplatten mit einer tragenden Stahlbewehrung in der unteren Lage brauchen für den Montagezustand eine geringfügige obere Bewehrung (z.B. Q131). Diese kann durch ein Glasfasergitter ersetzt werden, welches nach Erstellen der Platten in den feuchten Beton oberseitig eingerollt wird, und somit den Verbund mit dem Querschnitt herstellt.

Versuche an derart hergestellten Platten haben gezeigt, dass ein Glasfasergitter mit einem Flächengewicht von ca. 250 g/m² bereits ausreichend ist, die Platte unter grossen Einwirkungen im homogenen Zustand zu belassen. Sobald der Plattenquerschnitt reißt, wirkt die Glasfaser als Zuggurt und ist mit diesem Flächengewicht in der Lage, eine Stahlbewehrung in der Größenordnung von einer 1/2 Q131 zu ersetzen. Damit ist auch im Fall eines Risses das komplette Versagen der Platte ausgeschlossen.

6.2 Bodenplatten von ein- bis zweigeschossigen Hauskonstruktionen

Die Gründung von ein- bis zweigeschossigen Häusern lässt sich entweder über einzelne Streifenfundamente oder direkt

über eine tragende Bodenplatte vornehmen.

Eine durchgehende Bodenplatte stellt aus Sicht der Kosten und der Ausführungszeit eine echte Alternative dar.

Die Platte ist bei den geringen Lasten aus den Wänden eines zweigeschossigen Gebäudes nur gering beansprucht. I.d.R. reicht eine konstruktive Bewehrung in Form eines Bewehrungsnetzes aus, um den geforderten Widerstand zu sichern. Zudem verbleibt der Querschnitt infolge dieser geringen Beanspruchungen im ungerissenen Zustand. Somit ist alternativ zu einer in der Handhabung aufwendigen Stahlbewehrung die Verstärkung mit einem Glasfasergitter äußerst attraktiv.

Der Arbeitsgang für den Magerbeton, das Verlegen der oberen und unteren Bewehrung kann entfallen und somit 2 - 3 Tage eingespart werden. Die eingesparten Materialkosten für Magerbeton und Bewehrungsstahl sind etwa gleich den Kosten für die eingesetzten Glasfasern. Auf die abgezogene Aushubfläche wird eine PE-Folie ausgelegt, die seitliche Abschaltung gestellt und das untere Glasfasergitter ausgerollt [Bild 8]. Der mit Kurzfasern dosierte Beton wird eingebracht und eben abgezogen. Auf die Oberfläche des anziehenden Betons wird das obere Glasfasergitter abgerollt und leicht ange-drückt, so das es nach wenigen Arbeitsgängen in dem Zementleim verschwindet [Bild 9].

6.3 Werksteinplatten

Beton als Werkstein lässt sich beliebig

formen und mit den entsprechenden Oberflächen in der Farbe und Textur versehen. Nachteilig wirkt sich die geringe Zugfestigkeit und die fehlende Schlagzähigkeit aus. Daraus entstehen oftmals Schäden im Handling und beim Einbau. Dies kann abgestellt werden, indem die Platten unterseitig mit einem eingelegten Glasfasergitter versehen werden, wodurch die Tragfähigkeit gesteigert wird. Die eingearbeitete Kurzfaser mit einer Dosierung von ca. 3.0 kg/m³ vergrößert die Schlagzähigkeit und schützt die Kanten vor Beschädigung. Derart werden bereits verschieden große Platten gefertigt und ohne Schäden verlegt.

6.4 Weitere Anwendungen

Interessante neue Anwendungsbereiche eröffnen sich durch die Kombination von üblicher Stahlbewehrung mit einem Glasfasergitter und Kurzfasern. I.d.R. lassen sich somit Konstruktionen mit dünnen Abmessungen herstellen. Dabei übernimmt der meist mittig im Querschnitt verlegte Stahl die Zugkräfte und das oberflächennah eingelegte Glasfasergitter übernimmt die Beanspruchungen aus Biegung und reduziert zusätzlich die Rissbreiten. Versuche zu diesem Thema wurden bereits an verschiedenen Hochschulen durchgeführt.

Für Dichtflächen aus Beton ist diese Form des Aufbaus eine optimale Bewehrungsart. Die mittig angeordnete Stahlbewehrung verhindert klaffende Risse und die Oberflächenbewehrung reduziert diese auf ein unschädliches Maß. In Kombination mit den Kurzfasern entsteht ein zäher Werkstoff, der eine Verzahnung der



Stahl- und textiler Bewehrung einen dünnen Querschnitt, der allen Einwirkungen aus Zug und Biegung sicher widersteht.

7. Schlussbemerkungen

Die alkaliresistente Glasfaser erweist sich als echte Verstärkungsfasern für den spröden Baustoff Beton und verleiht ihm als Verbundwerkstoff duktile Eigenschaften. Die somit zu erzielenden Widerstände sind bei den meisten Betonbauteilen in der Lage, die geringen Einwirkungen aufzunehmen. Durch die Steigerung der homogenen Eigenschaften des Verbundwerkstoffes verbleibt der Querschnitt für die meisten Einwirkungen ungerissen.

BWI

Bild 10: Dichtfläche mit Glasfasergitter

Rissufer bewirkt und somit das Eindringen von Flüssigkeiten verhindert [Bild 10]. Behälter aus Beton (z. B. Rundbehälter

für Kleinkläranlagen, Auffangbecken) lassen sich auf analoge Weise konstruieren. Auch hier erlaubt die Kombination aus

✉	Novacret AG Eisengasse 9 CH-8032 Zürich
\$	++41/1/2669251
4	++41/1/2669261

INFORMATION

NOVACRET

Dichte Bauteile ohne Abdichtung dank alkaliresistenten Glasfasern.



Fugenloser Betonbelag:
Anlegestelle



Fugenlose Betonplatte:
Rampenbauwerk

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

NOVACRET AG
Eisengasse 9 · CH-8032 Zürich
Telefon ++41 1 266 92 51
Telefax ++41 1 266 92 61