

Fertiggaragen mit Betonfaserbewehrung aus AR-Glasfasern

Von Dipl.-Ing. Thomas Friedrich

1. Einleitung

Die Stahlbeton-Fertiggarage ist das klassische Betonfertigteil schlechthin, wenn auch komplexer als die üblichen Fertigteile. Dank der Vorfabrikation gelingt es, die Abmessungen präzise herzustellen und entsprechend zu optimieren. Aus Gewichtsgründen sind dünne Querschnitte erwünscht, andererseits werden größere Querschnitte für einen entsprechenden Widerstand zur Aufnahme der Beanspruchungen gewünscht.

Obwohl die Beanspruchungen am Tragsystem und somit am Querschnitt gering ausfallen, ist zur Gewährleistung der Tragfähigkeit eine Stahlbewehrung erforderlich. Und genau dort liegt das Problem, denn je dünner der Querschnitt, umso geringer ist die Wirkung einer Stahleinlage, da der innere Hebelarm durch die geforderte Überdeckung vergleichsweise stark reduziert wird [Bild 1].

Neben der Gewährleistung einer Tragsicherheit werden große Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit gestellt. Insbesondere Risse beeinträchtigen das Erscheinungsbild der Fertiggarage. Die Beanspruchungen infolge Lasten sind gering und führen i. d. R. nicht zu Rissen. Rechnerisch lassen sich die Einwirkungen aus aufgezogenen und behinderten Verformungen nicht vollständig erfassen. In Kombination mit den Einwirkungen aus Lasten besteht die Gefahr einer unkontrollierten Rissbildung. Diese aufgezogenen Ver-

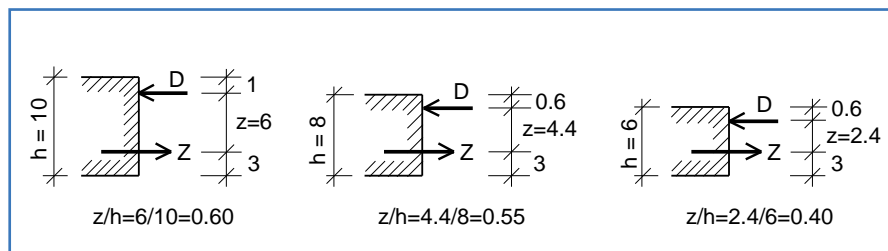


Bild 1: Reduktion des inneren Hebelarms bei dünnen Stahlbetonquerschnitten

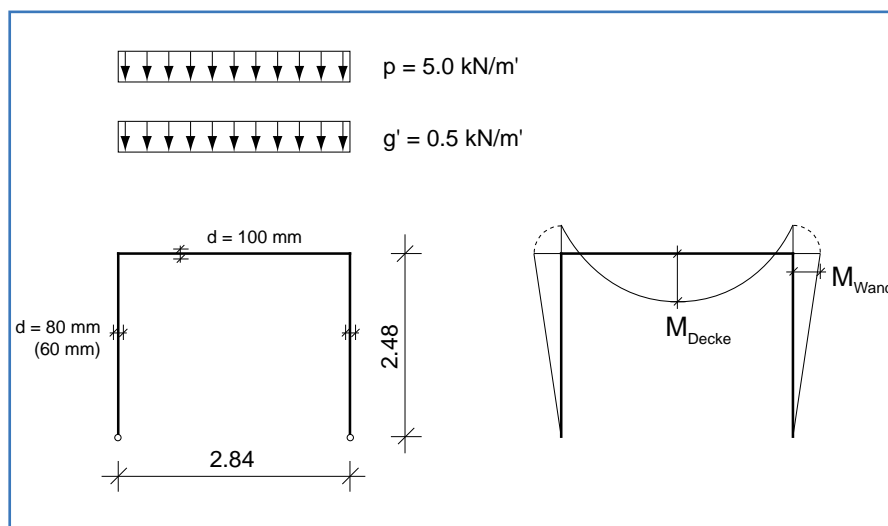


Bild 2: Rahmensystem der Garage mit Belastung und Momenten

formungen treten bereits im jungen Betonalter auf durch Verformungen infolge Temperatur und durch Zwängungen beim Ausschalen. Zu diesem Zeitpunkt hat eine Stahlbewehrung nur wenig Einfluss, da ihre Wirkung im jungen Beton mangels ausreichender Verbundspannungen des weichen Betons nahezu wirkungslos bleibt. Au-

ßerdem beeinflusst eine Stahleinlage nur unbedeutend den Querschnittswiderstand im homogenen Zustand. Die Wirkung einer Stahleinlage entfaltet sich nur im gerissenen Zustand, demjenigen also, den es primär zu verhindern gilt.

Um dem Ziel eines homogenen Querschnitts näher zu kommen, ist eine Faserbewehrung weit wirkungsvoller, indem der Beton von Erstarrungsbeginn an zusammengehalten wird und somit zäh und verformungsfähig wird und über die Dauer auch bleibt.

2. Beanspruchungen von Fertiggaragen

Die Einwirkungen auf das Tragsystem der Garage setzen sich zusammen aus dem Eigengewicht, den Verkehrslasten infolge Schnee auf dem Dach und allen-

	Decke h = 10 cm Wand h = 8 cm	Decke h = 10 cm Wand h = 6 cm
M_{Wand} [kNm]	2.75	1.60
M_{Decke} [kNm]	5.90	7.00
σ_{Wand} [N/mm ²]	2.60	2.70
σ_{Decke} [N/mm ²]	3.50	4.20
erf $A_{s(Wand)}$ [cm ²]	2.10	2.05
erf $A_{s(Decke)}$ [cm ²]	3.20	3.80

Bild 3: Beanspruchungen in ausgewählten Querschnitten

falls aus Erddruck infolge einer seitlichen Anschüttung. Der Einfachheit halber soll nur der Einfluss der Eigenlasten und der Verkehrslast auf dem Dach diskutiert werden. Als statisches System soll vereinfachend nur die Rahmenkonstruktion untersucht werden. Der Einfluss der Platten- und Scheibenwirkung der Gesamtkonstruktion wirkt sich nur günstiger auf die Schnittkraftverteilung aus. Wird der Garagenboden erst nachträglich eingebaut, was bei den meisten Produktionsverfahren der Fall ist, wird das statische System aus einem zweistieligen Rahmen gebildet [Bild 2]. Der Boden wirkt als Zugband zwischen den Rahmenstielen und wird selbst als Einfeldsystem mit den gelenkigen Auflagern am Fuß der beiden Wände beansprucht. Im Hinblick auf eine Optimierung der Querschnittsabmessungen werden nachfolgend die Beanspruchungen in der Wand und der Decke für zwei unterschiedlich dicke Wandquerschnitte ($d = 8 \text{ cm}$, bzw. $d = 6 \text{ cm}$) dargestellt.

Bei der Zusammenstellung der Ergebnisse für die Beanspruchungen an den ausgezeichneten Stellen in Feldmitte der Decke und in der Wand am Rahmeneck zeigt sich, dass die Beanspruchungen i. d. R. relativ gering ausfal-

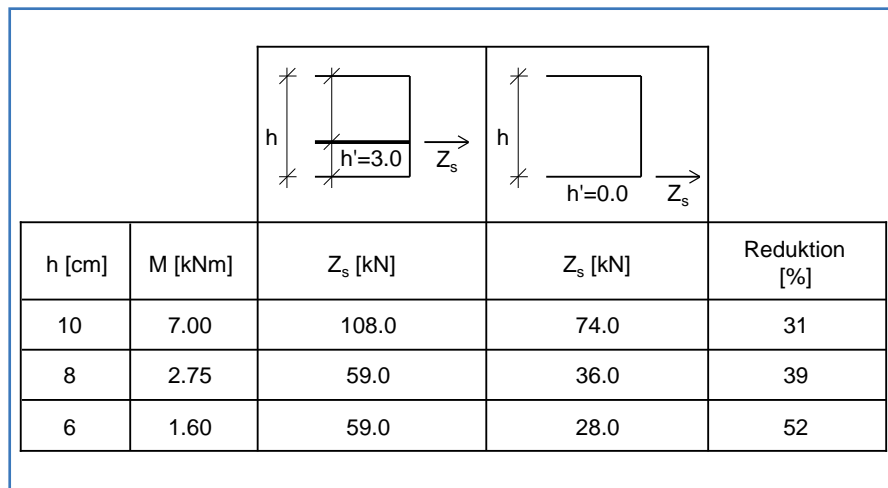


Bild 4: Wirkung einer oberflächennahen Bewehrung

len. Die Biegegrandspannungen verbleiben unterhalb der zulässigen Betonzugspannung [Bild 3]. Über die Steifigkeit der Wand lässt sich die Momentenverteilung zwischen Decke und Wand entsprechend beeinflussen und damit Beanspruchungen umlagern, z. B. in Bereiche, wo eine entsprechende Bewehrung besser einzubauen ist. Die Normalkraft in den Wänden ist vernachlässigbar gering.

3. Querschnittswiderstände

Die Ermittlung des Widerstandes kann sowohl am homogenen, ungerissenen Querschnitt als auch am Verbundquerschnitt erfolgen. Während die Beanspruchungen zu relativ geringen Biegezugspannungen in den Querschnitten führen, wird über die Querschnittsbemessung am gerissenen Querschnitt dennoch eine vergleichsweise größere Bewehrung ermittelt. Das liegt unter anderem an den unökonomischen Geometrieverhältnissen der eingelegten Bewehrung bei dünnen Querschnitten. Die geforderte Überdeckung des Bewehrungsstahls nimmt bereits einen hohen Anteil des gesamten Querschnitts ein, und reduziert somit den Hebelarm für die inneren Kräfte bestehend aus Betondruckkraft und Stahleinlage.

Als Alternative dazu wurde untersucht, um wie viel die Zugkraft sich reduziert, wenn diese in Form einer textilen Bewehrung direkt an der Oberfläche eingelegt werden kann. Eine korrosionsunempfindliche Bewehrung aus z. B. AR-Glasfasern in Form eines textilen Gitters ließe sich direkt an der Oberfläche im Verbund mit dem Betonquerschnitt anbringen. Die Überdeckung wird zu null und damit steht ein für den dünnen Querschnitt bedeutend größerer innerer Hebelarm

zur Verfügung. Für die verwendeten Querschnitte der Fertiggarage mit den rechnerisch ermittelten Beanspruchungen reduziert sich die Zugkraft in der Größenordnung von 30% bis 50% [Bild 4]. Der Gewinn allein durch die Vergrößerung des inneren Hebelarms führt zu stark reduzierten Bewehrungsquerschnitten, die dann problemlos mit einem leichten textilen Gitter aufgenommen werden können.

4. Grenzen des Stahlbetons und Abhilfe durch eine Betonfaserbewehrung

Anhand der vorab aufgezeigten Beanspruchungen am homogenen und gerissenen Querschnitt kann klar geschlossen werden, dass der klassische Stahlbetonbau bei dünnen Querschnitten deutlich an seinen Grenzen angelangt ist. Optimierungen in den Querschnittsabmessungen lassen sich nicht mehr realisieren mit der klassischen Stahleinlage. Es muss vielmehr darum gehen, den Beton so ausreichend zäh und verformungsfähig zu machen, dass sich infolge Last- und Zwangsbeanspruchungen keine Risse bilden. Die Beanspruchungen am homogenen Querschnitt sind derart gering, dass die Sicherstellung einer üblichen Betonzugspannung ausreicht, den Querschnitt im homogenen ungerissenen Zustand zu belassen. Um dieses Ziel zu erreichen, bietet sich die Betonfasertechnik an. Idealerweise sind jedoch diejenigen Betonfasern einzusetzen, die als Mikrobewehrung im jungen Beton bereits dazu beitragen, keine Risse entstehen zu lassen. Gegenüber der Stahlfaser hat die AR-Glasfaser den Vorzug, dass sie bereits im Erstarrungszustand die Mikrorissbildung verhindert und damit ein deutlich festeres Gefüge

Beton-fertigteile



Bild 5: Restliche Stahlbewehrung für die Fertiggarage mit Betonfasern aus AR-Glas



Bild 6:
Deckenbewehrung und bewehrungsfreie Wand

entstehen lässt [A1]. Im Gegensatz dazu beginnt die Wirkung der Stahlfasern erst mit der Rissbildung, indem die entstehenden Rissufer ausreichend miteinander verbunden werden, um weiterhin Zugbeanspruchungen übertragen zu können. Es gilt jedoch, den dünnen Querschnitt im homogenen Zustand zu belassen. Entsprechend ist die AR-Glasfaser wirkungsvoller als die Stahlfaser.

Für die meisten Abschnitte der Fertigarage (z. B. die Wände) ist eine Faserbewehrung mit Kurzfasern bereits ausreichend. In den höher beanspruchten Bereichen, wo die Betonzugspannungen überschritten werden können, bietet sich jedoch die Verwendung einer oberflächennahen textilen Bewehrung an, um wie vorgängig erwähnt, den optimalen Nutzen bei derart dünnem Querschnitt zu erhalten. Die mit einer textilen Bewehrung laminierte Oberfläche bleibt zudem länger im homogenen Zustand, bevor sich erste, fein verteilte und nahezu unsichtbare Risse entwickeln. Gemäß den Beanspruchungen ist für den Boden und für die Decke der Fertigarage

sinnvollerweise eine textile Bewehrung vorzusehen.

5. Erste Untersuchungen mit einer Betonfaserbewehrung aus AR-Glasfasern

Aufgrund der vorgenannten Empfehlungen wurde ein erster Test vorgenommen, indem die Wandbewehrung vollständig ersetzt wurde durch eine Betonfaserbewehrung aus AR-Glasfasern. Zudem wurde die Wandstärke um 2 cm von 8 cm auf 6 cm reduziert. Die durch die Querschnittsreduktion der Wände erfolgte Momentenumlagerung führt zu Vergrößerungen der Momente in der Decke und zu Reduktionen in den Wänden. Während die Wände ausschließlich mit einer Betonfaserbewehrung [Bild 5] ausgeführt wurden, erfolgte die Deckenbewehrung noch mit einer klassischen Stahleinlage in Form einer Baustahlgewebematte. Das Stahlgewebe ist zum Auflager hin aufgebogen. Dadurch wird erreicht, dass dieselbe



Bild 7:
Bandagenbewehrung aus AR-Glasfasergitter

Matte entsprechend dem Momentenverlauf in Deckenmitte als untere und zum Rand hin in der Rahmenecke als obere Bewehrung genutzt wird. Ein Teil der Matte wird als Anschluss noch über die Rahmenecke hinaus in den oberen Abschnitt der Wand geführt [Bild 6].

Die Stahlbewehrung der Decke wird in einem zweiten Schritt durch eine textile Bewehrung aus AR-Glasfasern ersetzt.

Mit diesem Test sollte der Einfluss der Kurzfasern aus AR-Glas auf das Rissverhalten getestet werden. Wie bekannt, sind besonders die geometrischen Zwangspunkte wie Öffnungen und einspringende Ecken extrem rissanfällig. Entsprechend wurde eine Seitenwand mit einer größeren und die hintere Garagenwand mit einer kleineren Öffnung versehen.

Um die Entstehung eines Risses in der einspringenden Ecke einer Öffnung im Ansatz zu unterdrücken, wurden die Leibungen der Öffnungen mit einer Bandage versehen. Die Bandage be-



Bild 8: Textile Bewehrung aus AR-Glasfasern an einspringenden Ecken

steht aus einem mehrlagigen multi-axialen Gelege, welches sich innerhalb der Wandbreite entlang der Leibung optimal anpasst [Bild 7,8].

6. Betonfaserbewehrung aus AR-Glasfasern

Der gesamte Beton der Garage (Boden, Wände und Decke) wurde als fasermodifizierter Beton eingebaut. Verwendet wurden AR-Glasfasern Cretex® 25X in einer Dosierung von 4.0 kg/m³. Beim Typ Cretex® 25X handelt es sich um eine integrale Faser mit einem robusten Bündel von 200 Filamenten. Die Faserlänge beträgt 25 mm. Die AR-Glasfasern wurden in der Mischstation der fertigen Betonmischung beigefügt und gleichmäßig innerhalb der Matrix verteilt [Bild 9]. Durch die hohe Zahl der Einzelfasern ist bereits die Frischbetonmatrix sehr zähflüssig und der Zementleim mit dem Zuschlag wird gut zusammengehalten [Bild 10]. Die zähe Masse wird jedoch analog dem Verhalten einer thixotropen Flüssigkeit



Bild 9: Beimischung der Kurzfasern aus AR-Glas

durch die Verdichtungsenergie wiederum sehr fließfähig und verteilt sich über die Decke gut in die dünnen Wandabschnitte [Bild 11]. Da die Wände frei von einer störenden Bewehrung sind, kann der Frischbeton sich gut innerhalb des dünnen Querschnitts verteilen. Kiesnester oder größere Poren konnten später in der fertigen Wand nicht festgestellt werden.

7. Separate Herstellung des Garagenbodens

Der Boden wird in einem separaten Vorgang hergestellt. Analog der Bewehrung aus Stahl für die Decke wurde für den ersten Versuch auch hier noch eine Stahlmatte in unterer Lage eingebaut. Der Beton wurde jedoch ebenfalls mit Betonfasern eingebracht. Die Verwendung der AR-Glasfasern dient unter anderem dazu, ein dichtes und damit robustes Gefüge herzustellen, um den üblichen Anforderungen gewachsen zu sein. Die Beanspruchungen der Bodenplatte durch

mechanische Einwirkungen und durch Frost-Tausalzwechsel sind hoch und mit einem dichten Beton mit einer hohen Schlagfestigkeit zu begegnen.

Der Boden mit einer konstanten Stärke von 8 cm wird innerhalb der Garage mit einem Längsgefälle von ca. 1% eingebaut. Da die Wände ringsherum konstante Höhe aufweisen, muss die Bodenplatte entsprechend dem Gefälle mit Distanz zu dem Wandfuß eingebaut werden. Um den Zusammenbau von Bodenplatte und Garagenteil zu erleichtern, erfolgte die Seitenabschaltung der Bodenplatte mit einem L-förmigen Winkel aus Glasfaserbeton [Bild 12]. Der seitliche Schenkel des Winkels entspricht exakt der Wandstärke, während der anderer Schenkel die variable Höhe gemäß dem Neigungswinkel abbildet. Nach dem Fertigen und anschließenden Aushärten der Bodenplatte, wird diese gewendet und auf Lagerholz aufgelegt. Die Wände werden dann passgenau in die entlang den Rändern der Bodenplatte verlaufenden Winkel eingefahren [Bild 13]. Als Verbindungsmittel dient ein



Bild 10: Zäher Beton mit AR-Glasfasern

Betonkleber, der die Unterseite des Wandfußes mit dem Winkel verbindet, und damit die Rahmenverbindung von der Decke über die Wände zur Bodenplatte sicherstellt.

Für den Transportzustand hängt der Boden an den seitlichen Wänden. Diese wiederum sind in der Decke eingespannt. Für die Montage und den Transport wird die gesamte Garage entweder an den in den Wänden eingelassenen Transportankern oder über unter der Decke angreifende Druckstempel angehoben [Bild 14]. Im Endzustand lagern die Wandfüße auf Fundamentblöcken oder -streifen auf. Die Bodenplatte hängt dann über den vorgeschriebenen Glasfaserbetonwinkeln an der Wand fest. Die dünnen mit AR-Glasfasern bewehrten Winkel sind



Bild 11: Thixotropes Verhalten eines fasermodifizierten Betons

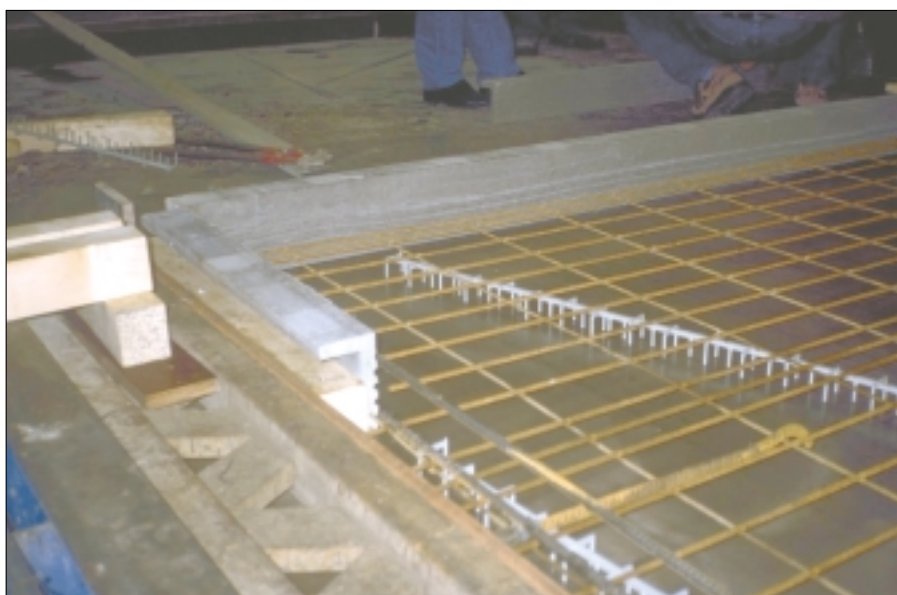


Bild 12: Winkelförmige Randabschalung aus Glasfaserbeton für die Bodenplatte

in der Lage, die Zugbeanspruchungen zwischen Bodenplatte und Wandfuß zu übertragen.

8. Erfahrungen aus dem Versuch und Fazit

Es konnten bislang keine durchgehenden Risse in den Wänden oder der Deckenplatte festgestellt werden. Die größten Beanspruchungen der Garage aus dem Transportzustand wurden schadlos überstanden.

Die gering beanspruchten Wände lassen sich sicher zukünftig ohne Stahlbewehrung und nur mit einer Betonfaserbewehrung in Form von AR-Glasfasern herstellen. Dank den stahlbewehrungsfreien Wänden konnten diese

mit einem dünneren Querschnitt (6 cm anstelle 8 cm) ausgeführt werden. Für den getesteten Garagentyp führt die Wandstärkenreduktion zu einer Betonvolumeneinsparung von ca. 0.75 m^3 , was mit einer Gewichtseinsparung von ca. 1.85 t verbunden ist. Bezogen auf das Gesamtgewicht der Garage beläuft sich die Einsparung auf ca. 12%.

Neben der Reduktion des Aufwandes für den Einbau der Bewehrung, stehen zudem Material- und Gewichtsreduktion zu Buche.

In einem nächsten Schritt wird die restliche Stahlbewehrung in der Decke durch eine oberflächennah eingebaute textile Bewehrung ersetzt werden. Die optimale Ausnutzung der Konstruktionsstärke bei dünnen Querschnitten führt zwangsläufig zu einer ober-



Bild 13: Anschluss des Garagenoberteils an die Bodenplatte über den Glasfaserbetonwinkel



Bild 14: Betonfaserbewehrte Fertiggarage während des Transportes

flächennah eingebauten korrosionsfreien Bewehrung in Form eines textilen Gitters aus AR-Glasfasern [A2].

Für die Wände, die einer seitlichen Beanspruchung aus Erddruck ausgesetzt sind, empfiehlt sich ebenso wie bei der Decke und dem Boden die Verwendung einer textilen Bewehrung direkt an der beanspruchten Oberfläche.

Damit wird man dem Ziel einer Fertiggarage aus Beton mit minimierten Querschnitten und rissefreien Oberflächen näher kommen. Die Grenzen des klassischen Stahlbetons sind bei dieser Konstruktion deutlich erkennbar. Fortschritte lassen sich somit nur mit einer neuen und innovativen Bewehrung wie einer textilen Bewehrung aus AR-Glasfasern erzielen.

Betonfertigteile lassen sich auch in Teilen herstellen und können dann mit einer innovativen Klebetechnik zu einem größeren Gesamten zusammengefügt werden. Das wiederum eröffnet dem Betonfertigteilbau weitere interessante Anwendungsgebiete.

9. Durchführung und Unterstützung

Die Versuche an der Fertiggarage wurden verdankenswerterweise bei der Firma Steidle Garagen in Sigmaringen durchgeführt. Dank der unkomplizierten Vorgehensweise in der Planungsphase und während der Durchführung ließ sich sehr schnell ein erster Prototyp realisieren. Der Firma Steidle und ihren einsatzfreudigen Mitarbeitern sei

an dieser Stelle sehr gedankt. Ohne die vorurteilsfreie Mitwirkung innerhalb eines Teams sind derartige innovative Bauweisen nicht möglich. Es gibt auch Ausnahmen innerhalb der sehr konservativen Bauindustrie.

WEITERE INFORMATIONEN:

NOVACRET

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

Literatur

- [A1] Th. Friedrich, „Fasermodifizierter Beton: Geringe Dosierung - große Wirkung“ *BWI-Betonwerk International*, Heft Nr. 4, August 2000;
- [A2] Th. Friedrich, „Betonfertigteile mit textiler AR-Glasfaserbewehrung“ *BWI-Betonwerk International*, Heft Nr. 3, Juni 2000;