

# STAHLFASERN – BEWEHRUNG IM HOCHBAU

**Dipl.-Ing. Markus SCHADDE**

Arcelor Commercial Wire Drawing Deutschland GmbH

## 1 Allgemeines

Stahlfaserbeton ist ein Baustoff mit vielen technischen und wirtschaftlichen Vorteilen. Diese Vielzahl von Vorteilen hat dazu geführt, dass die ursprüngliche Anwendung als Ersatz der Bewehrung bei Industriefußböden (Monofinishböden) heute einer breiten Vielfalt von Bauteilen aus Stahlfaserbeton (SFRC) gewichen ist. Veröffentlichungen, Merkblätter, Bemessungshilfen, Forschungsberichte usw. zeigen immer mehr Möglichkeiten und Beispiele auf. Stahlfaserbeton, geprüft nach österreichischer Richtlinie Stahlfaserbeton /1/, kann zur Erstellung von tragenden Bauteilen genutzt werden. Die Richtlinie beinhaltet unter anderem Regeln für die Bemessung und Bauausführung. Weiterhin sind konstruktive Regeln und auch Einschränkungen beim Einsatz enthalten.

Aufbauend auf den bekannten Vorteilen des Stahlfaserbetons wird bei gezielter Nutzung der erprüften Werkstoffeigenschaften eine unproblematische, innovative und wirtschaftliche Nutzung möglich. Die Anwendung „aus dem Bauch heraus“ wird durch die kontrollierte Anwendung mit fachgerechter Projektierung ersetzt. Die Spezialisten aus dem Hause Arcelor Wire Drawing erarbeiten mit ihren Kunden optimierte Lösungen und unterstützen bei der Umsetzung.

Arcelor Wire Drawing setzt mit den weltweiten Aktivitäten im Bereich Anwendung, Erprobung und Weiterentwicklung von SFRC die Tradition der früheren TREFILArbed im luxemburgischen Bissen fort. Im Zuge der Integration von Arcelor Bissen S.A. in den weltmarktführenden Stahlkonzern Arcelor Mittal wird der Baustoff weiter forciert.

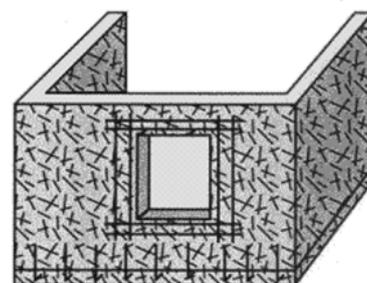
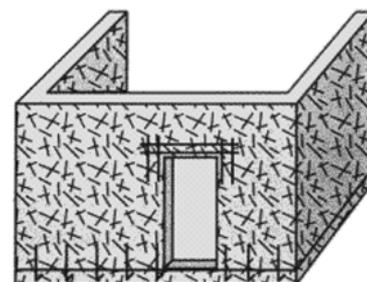


Bild 1: Stahlfaserbeton in Fundamentplatte und Kellerwand

## 2 Stahlfaserbeton als leistungsfähiger Qualitätsbaustoff

Der werksgemischte Stahlfaserbeton entspricht hinsichtlich seiner Zusammensetzung und seiner Eigenschaften den Anforderungen der ÖNORM B 4710-1 /2/, die auf der EN 206-1 /3/ basiert. Besonderheiten des Baustoffes Stahlfaserbeton, die nicht durch die ÖNORM erfasst werden, beinhaltet die Richtlinie Stahlfaserbeton der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik /1/.

Gegenüber den unbewehrten Normalbetonen weist SFRC je nach Zusammensetzung deutlich verbesserte Festbetoneigenschaften auf. Hierzu zählen insbesondere das Reißverhalten, das Last-Verformungs-Verhalten unter Zugbeanspruchung sowie der Verschleißwiderstand. Die entscheidenden Materialeigenschaften beruhen alle auf der Wirkung des duktilen Verbundbaustoffes mit allen seinen Komponenten.

Hierzu zählen neben dem Zement, den kaltgezogenen Stahldrahtfasern auch die Körnung und alle weiteren Bestandteile modernen Qualitätsbetons.

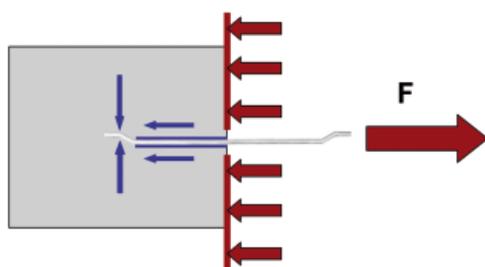


Bild 2: Verankerungsmechanismus

## 2.1 Verbundwirkung und Auszugsverhalten von Stahlfasern

Die Faserwirkung im Verbundbaustoff beruht hauptsächlich auf der Kraftübertragung der Verankerung der Fasern und dem anschließenden Arbeitsvermögen beim Ausziehen der Fasern aus der Betonmatrix. Damit hängt die Verbundwirkung maßgeblich vom Haftverbund und den Reibungskräften ab (Bild 2). Dieser Verbund zwischen den Fasern und dem Beton verleiht dem Stahlfaserbeton seine duktilen („elastischen“) Eigenschaften und ermöglicht die Aufnahme von Zugspannungen.

Durch die Wahl einer für das jeweilige Betonteil optimierten Faser werden die speziell benötigten Eigenschaften beeinflusst. Neben verschiedenen Fasergeometrien (Form, Länge, Durchmesser) werden auch der jeweiligen Betondruckfestigkeit angepasste Drahtzugfestigkeiten projektiert. Eine zur erhöhten Betondruckfestigkeit ebenfalls erhöhte Faserzugfestigkeit sorgt für eine optimierte Ausnutzung der besseren Verankerung. Kaltgezogene Stahlfasern mit geeigneter Geometrie behindern die Entstehung der Mikrorisse während der Hydratation des Betons und sorgen so für eine Verringerung der Schwindrissneigung. Die beim plastischen Schwinden zwangsläufig entstehenden Mikrorisse werden zusätzlich feiner verteilt.

Im Festbeton hat Stahlfaserbeton mit kaltgezogenen Stahldrahtfasern verbesserte Materialeigenschaften:

- Erhöhung der Schlagfestigkeit
- Erhöhung des Verschleißwiderstandes
- Erhöhung der Dauerfestigkeit bei dynamischer Beanspruchung
- Erhöhung der Nachrissfestigkeit
- Erhöhung der Dauerhaftigkeit durch feinere Verteilung der Kapillarporen (Mikrorisse)

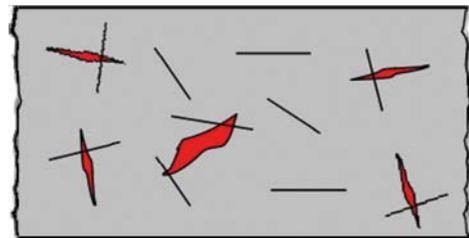


Bild 3: Stahldrahtfasern „vernähen“ Mikrorisse

## 3 Stahlfaserbeton: „Bewehrung aus dem Fahrmischer“

Unbewehrter Normalbeton ist ein spröder Baustoff, der nur eine sehr geringe Zugfestigkeit besitzt und deshalb unter Zugbeanspruchung schlagartig versagt. Stahlfaserbeton dagegen kann auch nach der Erstrissbildung über einen größeren Verformungsweg hinweg noch Zugkräfte aufnehmen. Neben der vorherrschenden Zugabe von kaltgezogenen Stahldrahtfasern mit kreisrundem Querschnitt werden teilweise noch geformte Blechfasern und Späne (Spanfasern) verwendet. Balkenversuche /4/ zeigen die technologische Überlegenheit der kaltgezogenen Stahldrahtfaser als Betonzusatzstoff. Der Einsatz von PP-Makrofasern ist hinsichtlich der Verarbeitbarkeit, aber vor allem hinsichtlich des deutlichen Kriechverhaltens /5/ dieses noch neuen Fasertyps kritisch zu hinterfragen.

Die geometrische Qualität kaltgezogener Fasern kann durch eine Sichtprüfung leicht kontrolliert werden. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Fasern in ihrer Geometrie vollständig ausgebildet sind und nicht z. B. die Endverankerungen bei der Fertigung komplett abgeschnitten wurden (Bild 4). Das ist bei kostengünstigen Herstellern nicht unbedingt selbstverständlich und deshalb zu prüfen.

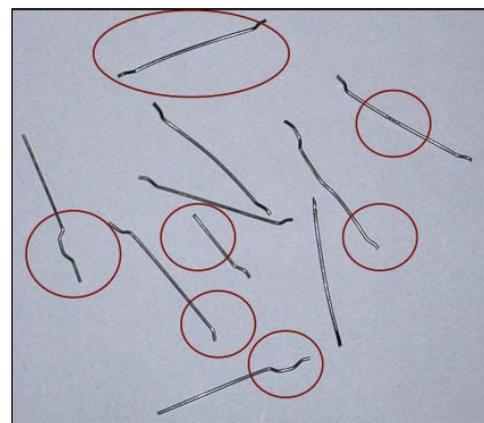


Bild 4: Die Prüfung der geometrischen Qualität der Stahlfasern ist für eine verantwortungsbewusste Anwendung unerlässlich

Durch die Richtlinie Faserbeton wird die Nachrisszugfestigkeit von Stahlfaserbeton entsprechend Bild 5 in einem weggeregelten Biegezugversuch mit Vierpunktbelastung ermittelt und durch die Angabe einer Faserbetonklasse festgelegt. Hierbei werden aus den Last-Verformungskurven einer Prüfkörperserie die mittleren äquivalenten Zugfestigkeiten im Verformungsbereich I (geringe Verformungen) und im Verformungsbereich II (große Verformungen) ermittelt. Über die charakteristischen Werte der äquivalenten Zugfestigkeit werden dann die Faserbetonklassen entsprechend der Richtlinie abgeleitet. Die Druckfes-

figkeitsklasse des Stahlfaserbetons mit seiner Expositionsklasse (z. B. B2) und Konsistenzklasse (im Beispiel F45) wird durch Angabe einer Faserbetonklasse (z. B. FaB TG4 T4) ergänzt. Zusätzlich wird die im Versuch ebenfalls mit ermittelte Biegezugfestigkeit angegeben, z. B. Bz 4,5. Die komplette Bezeichnung wäre dann z. B.: **C25/30 B2 FaB TG4 T4 Bz4,5 F45 /5/**.



Die Faserbetonklasse wird jeweils durch zahlreiche Faktoren der Betonzusammensetzung maßgeblich beeinflusst. Zu den Einflussgrößen zählen unter anderem die Faserart, die Fasergeometrie, die Draht- und Faserzugfestigkeit, die Biegezugfestigkeit, die Betondruckfestigkeit, das Größtkorn der Betonzusammensetzung sowie der Sieblinienverlauf. Die gewählten Gesteinsarten haben natürlich wiederum einen großen Einfluss auf die Biegezugfestigkeit des Stahlfaserbetons.

*Bild 5: Prüfanordnung nach Richtlinie Faserbeton*

Es ist wichtig zu wissen, dass gleiche Faserbetonklassen durch verschiedenste Kombinationen der vorgenannten Betonbestandteile erreicht werden können. Dies ermöglicht dem Projektanten, die Verarbeitbarkeit und weitere wichtige Frisch- und Festbetoneigenschaften zu optimieren.

Stahlfaserbeton wird im deutschsprachigen Raum im Allgemeinen sehr häufig eingesetzt und ist ein anerkannter Baustoff. Die regionale Häufigkeit ist dagegen sehr stark abweichend. So wird z. B. in Nieder- und Oberösterreich mit Abstand mehr Stahlfaserbeton eingesetzt als im übrigen Österreich. Die Anwendungsgebiete unterscheiden sich regional ebenfalls deutlich. In Oberösterreich kann der stahlfaserbewehrte Monofinishboden als wichtigste Ausführungsart angesehen werden, während in Niederösterreich auf jeden Fall der Wohnungsbau mit tragenden Fundamentplatten und Kellerwänden bereits im Vordergrund steht. In Tirol und Südtirol ist eine deutliche „Aufbruchsstimmung“ zu spüren.



*Bild 6: Betonage einer Stahlfaserbetondecke nach dem System TAB-Slab™ bei Ritzer Beton in Kössen (Nähe Walchsee)*

Werksgemischter Stahlfaserbeton nach Richtlinie wird vielfach zur qualitativ hochwertigen Erweiterung des Sortiments der Transportbetonwerke. Großen Transportbetonkonzernen wird ihre Vorreiterrolle zunehmend von großen mittelständischen Unternehmen streitig gemacht.

## 4 Bemessung von Bauteilen aus Stahlfaserbeton

Mit dieser Entwicklung zur „Bewehrung aus dem Fahrmischer“ geht eine professionalisierte Anwendung mit zielgerichteter Projektierung einher. Arcelor Wire Drawing bietet z. B. für seine Systeme im Bereich Industrieboden TAB-Floor™ und TAB-Fiber™ neben einem kostenlosen Bemessungsservice auch umfassende Detailberatung. Wesentlicher Vorteil des Systems TAB-Floor™ für fugenarme (Tagesfelder bis zu 2.500 m<sup>2</sup> in einem Guss) Monofinishböden ist der Entfall der Lastfalle Plattenrand und Plattenecke. Hierdurch können relativ dünne Platten projektiert werden. TAB-Fiber™ und TAB-Floor™ werden im Wesentlichen auf Basis der Biegezugfestigkeit des Betons unter Berücksichtigung der Bodenkennwerte und der vielfältigen Lasten bemessen.

Das System TAB-Structural™ ermöglicht Stahlfaserbeton-Monofinish-Industrieböden auf Pfählen. Auf diese Weise können die Kostenvorteile des Materials auch bei schlechten Baugründen genutzt werden. Alleine durch den Entfall der Bewehrungsarbeiten und der Betonpumpe werden die Bauabläufe beschleunigt und die Maßnahme vereinfacht. Bei der Bemessung von TAB-Structural™ wird auf die erprüften Eigenschaften des werksgemischten Stahlfaserbetons zurückgegriffen. Gleiches gilt für TAB-Raft™, mit dem sich Fundamentplatten und in speziellen Fällen auch Einzelfundamente für den Geschosßbau bemessen und herstellen lassen. Ein Spezialfall für TAB-Raft™ ist die Fundamentplatte von selbsttragenden Hochregallagerhäusern. Eine derartige Platte wurde im Sommer 2006 beim Kühlhaus Eisendle

in Hall/Tirol durch die Fa. Pohl realisiert. Dort kam erschwerend hinzu, dass die Platte schwimmend auf einer 20 cm dicken Schicht Dämmmaterial aufgelagert war. Dieser speziellen Herausforderung wurde durch die Verwendung von Kombibewehrung Rechnung getragen.

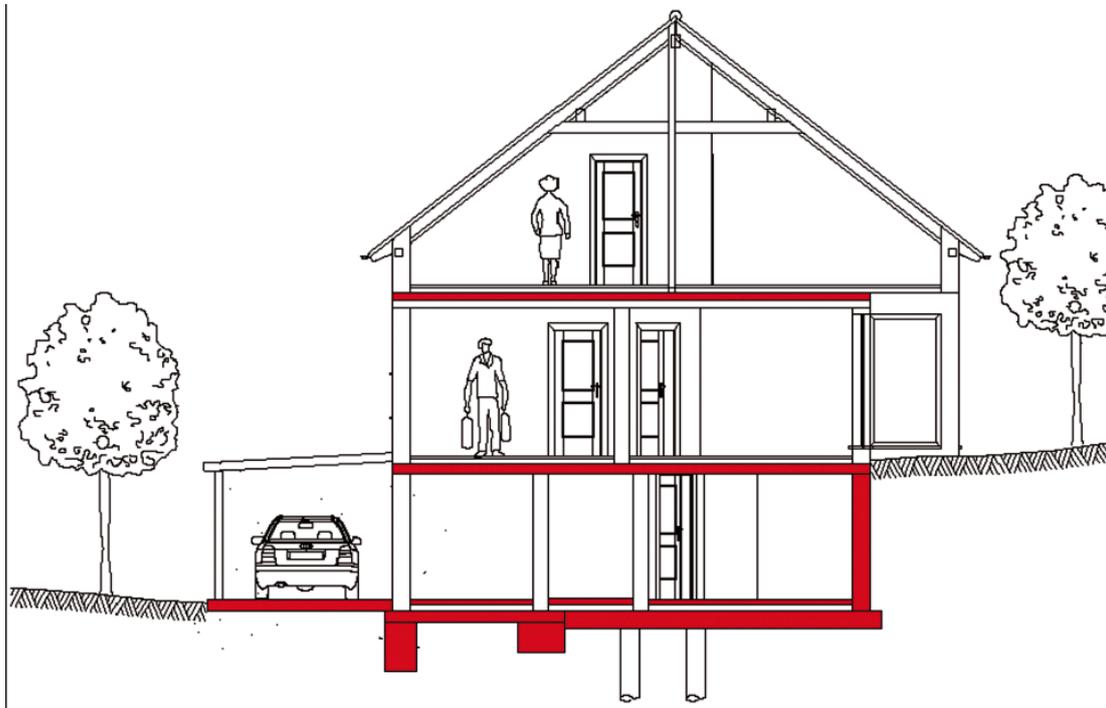


Bild 7: TAB-House™ fasst die Bauteile im Einfamilienhausbereich zusammen. Die Bemessung von Fundamentplatten und (Keller-)Wänden erfolgt nach Faserbetonklassen. Als zusätzliche Sicherheit steht bei Arcelor Wire Drawing jeweils eine Bauteilzulassung des Instituts für Bautechnik in Berlin zur Verfügung. Die Erfüllung der hohen Anforderungen des DIBT zur Erlangung dieser Zulassungen zeigt, auf welchem Niveau die Anwendung von Stahlfaserbeton bereits angekommen ist.

## 5 Stahlfaserbeton in der täglichen Praxis - Korrosion, ein Thema?

Hier wird im Speziellen das Thema Bewehrungskorrosion behandelt. Die häufige Nachfrage nach den Gegebenheiten von Bewehrungskorrosion im Stahlfaserbeton zeigt, dass hier noch viel Informationsbedarf besteht. Vorab kann man die Frage ganz klar beantworten: Korrosion von Stahlfasern im Beton ist ein gänzlich unproblematisches Thema. Beim Großteil der Bauteile sind die Stahlfasern im Festbeton genauso wie die Körnung vollständig von Feinstkorn und vor allem Zementstein umgeben. Eine bereits sehr dünne Zementsteinschicht reicht aber durch das alkalische Milieu im Beton aus, um den Korrosionsschutz zu gewährleisten. Eine Carbonatisierung des Betons führt natürlich zu einer Abnahme dieses Korrosionsschutzes, aber hier kommt ein wesentlicher Vorteil der Stahlfaser zum Tragen: Die Volumenzunahme einer an ihrer Oberfläche korrodierten Faser ist so gering, dass kein Zementstein abgesprengt wird. D. h. Carbonatisierung des Betons führt zu keinen optischen Mängeln. Untersuchungen /6/ zeigen, dass die Korrosion der Fasern nur in einem sehr geringen Umfang stattfindet. Zusätzlich wird bei betonaggressiven hohen Expositionen eine so genannte Faserausfallschicht /7/ projektiert, die die statischen Erfordernisse über die normgerechte Lebensdauer der Bauteile gewährleistet.



Bild 8: Die mühsame Suche nach Stahlfasern in SFRC-Bauteilen. Ca. 5 Jahre alte Außenwand in einer Betonanlage

Eine Vielzahl von Bauwerken zeigt gerade in Tirol sehr praxisgerecht, wie unproblematisch das Thema optische Beeinträchtigung bei der Witterung ausgesetzten Stahlfaserbetonbauteilen ist. Häufig ist es auch an älteren Bauteilen nahezu unmöglich, überhaupt nachzuweisen, dass SFRC verwendet wurde (Bild 8). Und vor allem: Selbst wenn in Lunkern vereinzelt Fasern sichtbar sind, so sind diese weder korrodiert noch können Korrosionsprodukte in Form von „Rostfahnen“ erkannt werden.

Wenn geplant ist das Bauteil später zu beschichten, ist es ratsam sich vom Hersteller des Beschichtungsmaterials beraten zu lassen, inwieweit das Produkt Korrosion von Stahl fördert. So kann zum Beispiel die Verwendung von Gipsputz oder Dispersionsfarbe Probleme verursachen. Der dünne Auftrag eines Sperrgrundes ist dann eine kostengünstige Lösung.

Differenziert kann man die Korrosion von Stahlfasern in maschinell geglätteten („geschliffenen“) Mono-finishböden betrachten. Der Glättvorgang reibt die Zementleimschicht von den oben liegenden Fasern herunter. Zum einen ist es dann auf jeden Fall empfehlenswert eine Hartkorneinstreuung (z. B. Korodur) aufzubringen, die den Großteil dieser Fasern einbetten wird. Diese zusätzliche dünne Schicht erhöht den Verschleißwiderstand der Sohle und die optische Qualität und Dauerhaftigkeit stark. Zum anderen ist es technologisch gesehen denkbar (siehe Autobahntankstelle bei Imst), die Fasern in der Oberfläche gezielt korrodieren zu lassen. Man produziert bewusst eine optische Beeinträchtigung. Es wäre dann mit dem Auftraggeber zu diskutieren, ob der diese Optik so hinnehmen wird. Auf die statische Funktion des Bauteils hätte dieser „Mangel“ bei richtiger Projektierung keinerlei Einfluss.



Bild 9: Frei bewitterte abgezogene Fläche mit hohem Fasergehalt (Ritzer Beton/Kössen)

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Werksgemischter Stahlfaserbeton nach Richtlinie Faserbeton hat viele Vorteile.

- Verschiedene Bemessungsverfahren werden zielgerichtet zur Optimierung der Bauaufgabe eingesetzt
- Produktion und Auslieferung eines überwachten Qualitätsbetons
- Projektierung des Qualitätsbetons unter Berücksichtigung des jeweiligen Verwendungszwecks

Diese Vorteile werden zu einer weiteren Verbreitung des Stahlfaserbetons in Österreich führen. Die Vielfalt der Bauteile und Bauaufgaben wird weiterwachsen. Die Verwendung „aus dem Bauch heraus“ wird von einer gezielten Vorgehensweise abgelöst.

Referenzobjekte wie die TAB-Fiber™ Monofinishplatte über der Parkgarage des OBI in Imst, das Kühlhaus Eisendle in Hall (TAB-Raff™) oder die TAB-Slab™ Decke in Kössen zeigen, dass die Entwicklung in vollem Gange ist. Fugenlose Böden nach TAB-Floor™ sind in Vorarlberg bereits mehrfach ausgeführt worden.

Es kann sicher davon ausgegangen werden, dass tragende Fundamentplatten aus Stahlfaserbeton im Einfamilienhausbereich in ganz Österreich eine weite Verbreitung finden werden. Arcelor Wire Drawing steht seinen bauausführenden Partnern auf diesem Weg mit technischer Beratung und optimierten Lösungen zur Seite.