Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 60-61 (1992-1993)
Heft: 7

Artikel: Stahlfaserbeton
Autor: Hermann, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153770

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

CEMENTBULLETIN

JULI 1992 Jahrgang 60 Nummer 7

Stahlfaserbeton

Herstellungsverfahren, Eigenschaften und Anwendungen von stahlfaserverstärktem Beton.

Guter Beton verfügt über eine hohe Druckfestigkeit, ist aber von Natur aus spröde. Dies äussert sich unter anderem in einer relativ niedrigen Zugfestigkeit. In Stahlbetonbauten nimmt die Bewehrung Zugspannungen auf. Eine Alternative zu Stahlbeton besteht in bestimmten Fällen darin, Beton mit Fasern aus Stahl, Kunststoff, Glas oder anderen Werkstoffen zu bewehren. Darüber ist bereits im «Cementbulletin» vom Oktober des vergangenen Jahres [1] berichtet worden. In der vorliegenden Ausgabe soll vertieft über den Einfluss von Stahlfasern auf die Betoneigenschaften und mögliche Anwendungen eingegangen werden. In den folgenden beiden Ausgaben dieser Zeitschrift werden Kunststoff- und Glasfasern behandelt.

Eigenschaften von Stahlfasern

Bereits 1918 wurde in einem französischen Patent beschrieben, dass Stahlstücke die Zugfestigkeit von Beton erhöhen. Der Durchbruch des Verfahrens wurde aber erst in den 60er Jahren mit systematischen Untersuchungen in den USA und verschiedenen westeuropäischen Ländern eingeleitet.

Stahlfasern sind kurze Stahlabschnitte mit geringen Querschnittabmessungen, die aus Draht, aus Blechstreifen, spanabhebend oder direkt aus der Schmelze hergestellt werden. Sie verfügen über eine relativ hohe Zugfestigkeit (300 bis 2500 N/mm^2), und ihr Elastizitätsmodul ist mit 200 kN/mm^2 eine Zehnerpotenz höher als derjenige der Mörtelmatrix.

2 Ursprünglich wurden hauptsächlich gerade Fasern eingesetzt. Heute sind Fasern mit den unterschiedlichsten Formen auf dem Markt. Beispiele sind

- Fasern mit Wellungen, Riefelungen oder erhöhter Rauhigkeit auf der ganzen Länge;
- Fasern mit angestauchten Köpfen, Haken oder Quetschungen an den Enden.

Einige kommerziell erhältliche Fasern sind auf den folgenden Seiten abgebildet. Wie wir sehen werden, haben Länge, Durchmesser und Form der Fasern entscheidenden Einfluss auf ihre Fähigkeit, bestimmte Eigenschaften von Beton zu verbessern.

Die Wirkung von Fasern

Während im Stahlbeton der eingelegte Stahl die Zug- und der Beton die Druckspannung übernimmt, nehmen Fasern alle Arten von Spannungen auf. Eine Auswahl der daraus resultierenden Unterschiede in verschiedenen physikalischen Eigenschaften ist von *Schrader* [2] zusammengestellt worden (*Tab. 1*).

Im Zementstein des Betons ist ein unregelmässiges Geflecht aus etwa 1 µm (0,001 mm) langen Kristallfasern vorhanden, die vorwiegend aus Calciumsilikathydraten bestehen. Dieses Geflecht setzt Druckbeanspruchungen beträchtlichen Widerstand entgegen. Bei Zugbeanspruchungen werden die einzelnen Fasern jedoch rasch aus dem Geflecht herausgezogen: Es entstehen Risse, die sich schnell vergrössern und verbinden, bis das Betonstück zerfällt [3].

In der Matrix verankerte zugfeste Stahlfasern, die einen Riss kreuzen, behindern die Ausbreitung des Risses – sie wirken als Rissbremse – oder sie führen bei grösseren Dehnungen zur Aufteilung in viele feine, nicht bruchwirksame Risse. Wenn die Fasern genügend

Eigenschaft	*Veränderung gegenüber Nullbeton*
Bruchfestigkeit	+100 bis 1200 %
Schlagwiderstand	+100 bis 1200 %
Anreissfestigkeit	+ 25 bis 100 %
Elastizitätsmodul	– 25 bis +25 %
Zugfestigkeit	+ 25 bis 150 %
Ermüdungsbeständigkeit	+ 50 bis 100 %
Dehnfähigkeit	+ 50 bis 300 %
Druckfestigkeit	– 25 bis +25 %
Biegezugfestigkeit	+ 25 bis 200 %
Durchbiegung	+ 20 bis 500 %
Kavitations-/Erosionswiderstand	+300 %

Tab. 1. Ungefähre Verbesserung der Eigenschaften von Stahlfaserbeton im Vergleich zu Nullbeton [2].

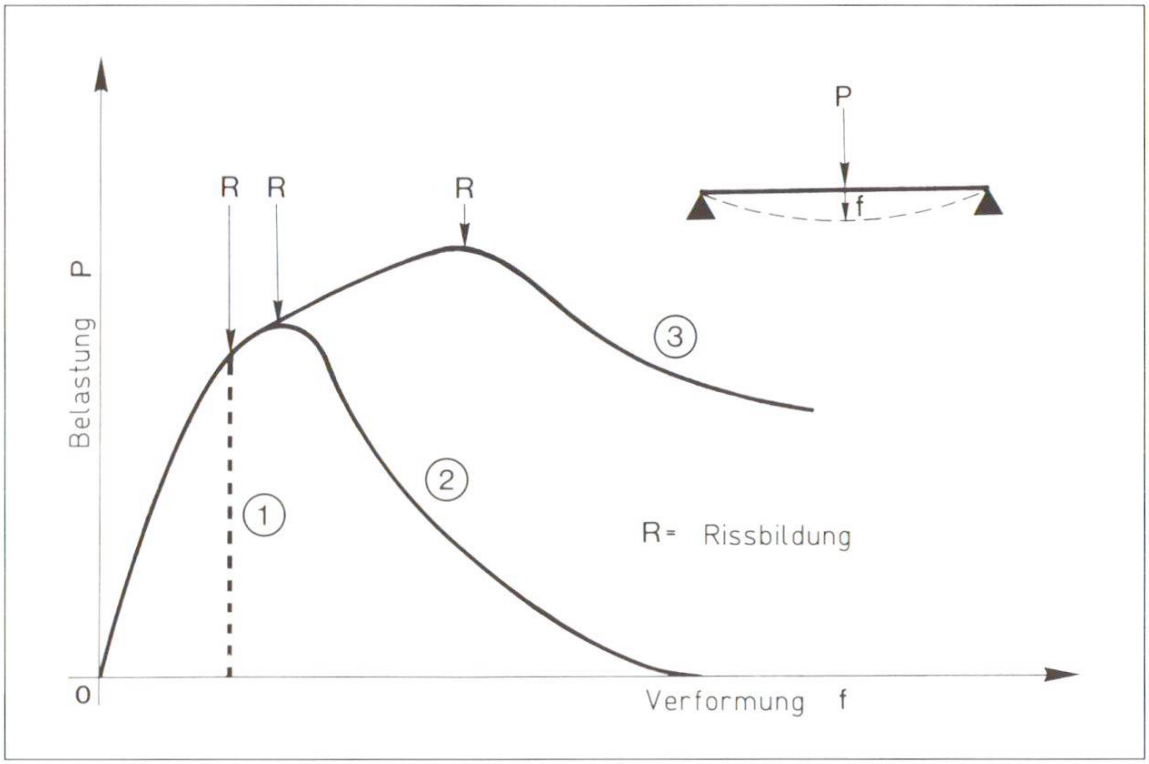

Abb. 1. Arbeitslinien beim Biegezugversuch (1 = Nullbeton; 2 = Stahlfaserbeton mit geraden Fasern; 3 = Stahlfaserbeton mit gewellten Fasern).

lang und fest eingebettet sind, können sie bis zu ihrer hohen Zugfestigkeit beansprucht werden, es sei denn, sie werden vorher aus der Matrix herausgerissen. Das Resultat ist eine erhöhte Biegezugfestigkeit vor dem endgültigen Bruch.

Am besten lassen sich die Vorzüge von Stahlfaserbeton mit Lastverformungsdiagrammen beschreiben, die aus Biegeversuchen gewonnen werden (*Abb. 1*): Während unbewehrter Beton nach dem Auftreten eines Risses sehr schnell auseinanderbricht, kann Stahlfaserbeton auch nach dem Erreichen der Maximallast noch Belastungen aufnehmen.

Untersuchungen von Stahlfaserbeton in unterschiedlichen korrosionsfördernden Medien haben gezeigt, dass Stahlfasern nur an der Oberfläche des Betons korrodieren. Ganz offensichtlich reicht der Druck der gebildeten Korrosionsprodukte nicht aus, um Betonteile abzusprengen. Wenn mögliche Rostflecken stören, kann die Betonoberfläche mit Kunststoffen imprägniert oder mit einer geeigneten Schicht (beispielsweise Spritzbeton) überdeckt werden.

Eine Bestätigung dieser Aussagen über die Korrosion lieferte ein Stahlfaserbeton-Probekörper, der während 23 Jahren der Witterung ausgesetzt war: Seine Oberfläche war glatt und wies – abgesehen von braunen Flecken durch Korrosion von unmittelbar an der Oberfläche liegenden Fasern – keine Schädigungen auf. Die Biegezug- und die Zugfestigkeit betrugen 30 bzw. 5,8 N/mm^2 und waren damit ungewöhnlich hoch. Zudem verfügte der Stahlfaserbeton noch über ein ausgeprägt duktiles Verhalten [4].

4 Herstellung von Stahlfaserbeton

Ganz allgemein gelten auch für Stahlfaserbeton die Regeln der Betontechnologie – mit einigen speziellen Randbedingungen [5]. Selbstverständlich bringt eine Verbesserung der Eigenschaften der Betonmatrix durch Fasern wenig, wenn qualitativ schlechter Zuschlag mit einer ungünstigen Sieblinie eingesetzt wird. Das Grösstkorn des Zuschlags richtet sich nach den Anwendungen: Früher ging man häufig nicht über 8 mm, um eine gute Verarbeitbarkeit des Frischbetons sowie möglichst geringe Abstände und eine homogene Verteilung der Fasern zu gewährleisten. Gegenwärtig scheint ein Trend zu grösseren Korndurchmessern, etwa 18 bis 25 mm und mehr, zu bestehen [2].

Besonders zu achten ist auf den W/Z-Wert, der vorzugsweise zwischen 0,40 und 0,50 liegt [6]. Damit dieser Wert eingehalten werden kann, ist ein relativ hoher Zementgehalt (beispielsweise 325 bis 415 kg/m^3 [2]) erforderlich, denn der Wasseranspruch für eine vorgegebene Verarbeitbarkeit des Betons steigt mit zunehmendem Fasergehalt, abnehmendem Faserdurchmesser und – weniger ausgeprägt – zunehmender Faserlänge, besonders bei grobkornarmen Gemischen. Zweckmässig ist die Verringerung des Wasseranspruchs durch die Zugabe von Betonverflüssigern oder Fliessmitteln; weitere Zusatzmittel, wie Luftporenbildner, werden wie bei Normalbeton eingesetzt.

Der zulässige Fasergehalt hängt von der Betonzusammensetzung, Konsistenz, Faserart und Fasergeometrie sowie der Mischtechnik ab. Er wird gewöhnlich in Volumen- oder Gewichtsprozent sowie

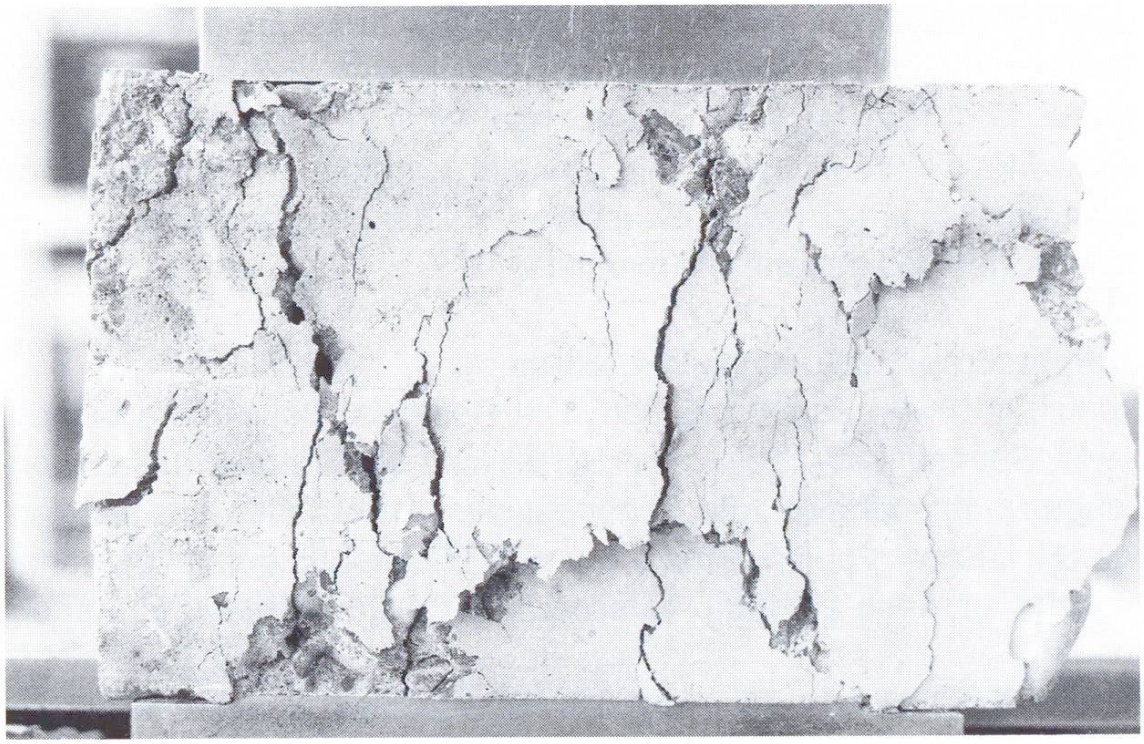

Abb. 2. Stahlfaserbeton bricht bei Druckbelastung nach dem Auftreten von Rissen nicht sofort auseinander. (Fotos: TFB)

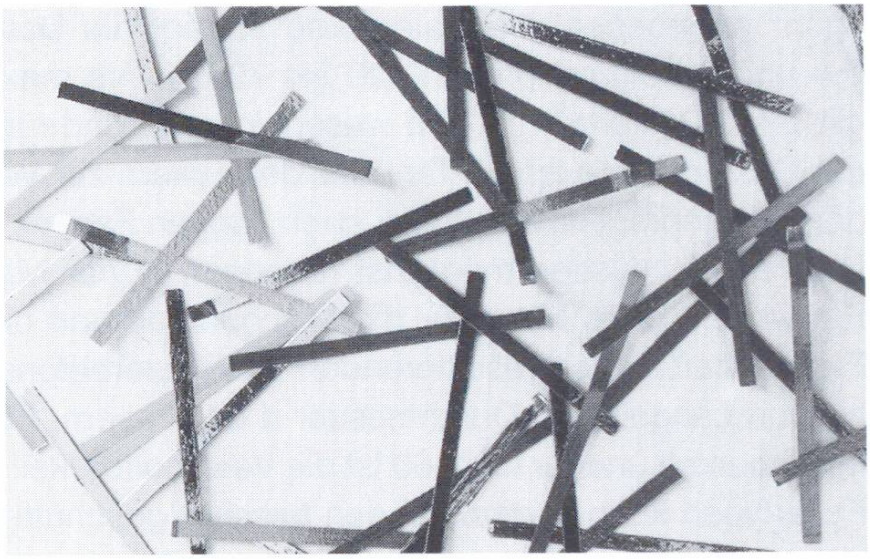

Abb. 3. Glatte Fasern (Länge: 20 mm, Breite: 1,0 mm).

Abb. 4 Gefräste Stahlfasern mit Endverankerungen (Länge: 32 mm).

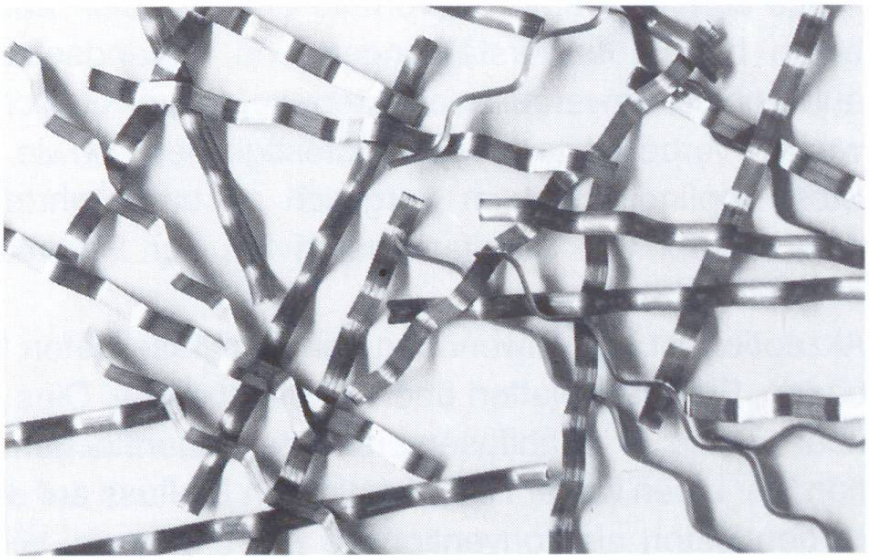

Abb. 5. Flache, gewellte Fasern (50×2 mm).

kg/m^3 angegeben. Normalerweise beträgt die Dosierung zwischen 0,4 und 3 Volumenprozent (10 bis 70 kg). Als maximale Dosierung gilt 7 % (170 kg/m^3) [5]. Ein wesentlicher Grund für die Begrenzung der Dosiermenge ist die Tendenz der Fasern zur Verigelung. Besonders ausgeprägt ist dies bei dünnen, langen Fasern.
Die Fasern müssen möglichst homogen in der Matrix verteilt sein. Ein wesentliches Mass für die Mischbarkeit und die physikalischen Eigenschaften des resultierenden Stahlfaserbetons ist das Verhältnis von Länge l und Durchmesser d der Fasern. Für $l/d < 60$ ist die Mischbarkeit und für $l/d > 60$ ist die Verarbeitbarkeit optimal [6]. Viele Fasertypen können direkt in den Mischer geschüttet werden, wo sie sich verteilen. Andere müssen vor der Zugabe vereinzelt werden. Dazu dienen spezielle Geräte, die beispielsweise mit Siebtrommeln oder Schwingsieben arbeiten. In Zwangsmischern ist die Faserverteilung im allgemeinen besser als in Freifallmischern (Mischfahrzeuge!). Bei Pumpbeton sollten die Schläuche nicht aus Gummi bestehen; Abzweigungen und Querschnittverengungen in den Leitungen sollten vermieden werden.

Anwendungen von Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton ist teurer als konventioneller Beton. Daraus ergibt sich von vornherein eine Beschränkung seiner Anwendung auf Spezialgebiete, in denen Eigenschaften wie die verzögerte Rissbildung, das zähe Bruchverhalten, die erhöhte Schlag- und Stossfestigkeit oder die geringe Rissempfindlichkeit bei starken Temperaturwechseln von Bedeutung sein können.
Maidl und *Tallarek* [7] haben anhand vieler Beispiele berechnet, wo Stahlfaserbeton sinnvoll eingesetzt werden kann. Sie kommen zum Schluss, dass Stahlfaserbeton im Hochbau allein schon aus wirtschaftlichen Gründen nicht als Ersatz für die Biegebewehrung in Frage kommt. Deutliche Vorteile ergeben sich aber für Stahlfaserbeton bei Bauteilverstärkungen und Instandsetzungsarbeiten, da aufwendige Bewehrungsarbeiten wegfallen. Gesicherte Festigkeitswerte, verbesserte Frühstandfestigkeiten sowie eine geringere Stossempfindlichkeit im Vergleich zu unbewehrtem Beton lassen den Einsatz von Stahlfaserbeton bei der Produktion von Rohren sinnvoll erscheinen.
Akzeptiert ist die Anwendung von Stahlfaserbeton für Industriefussböden, Fahrbahnplatten und Flugplatzbeläge. Dies belegen weltweit über 50 Mio. m^2 stahlfaserverstärkte Bodenflächen. Stahlfasern haben hier einen wesentlich günstigeren Einfluss auf die Rissbildung im jungen Beton als konventionelle Bewehrungen. Hinzu kommen die mögliche Reduktion der Gesamtdicke sowie die höhere Abriebfestig-

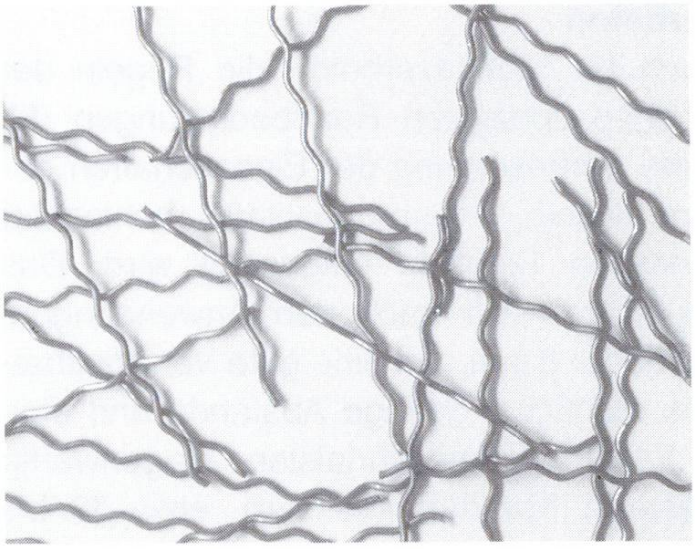

Abb. 6. Runde, gewellte Fasern (60 × 1 mm).

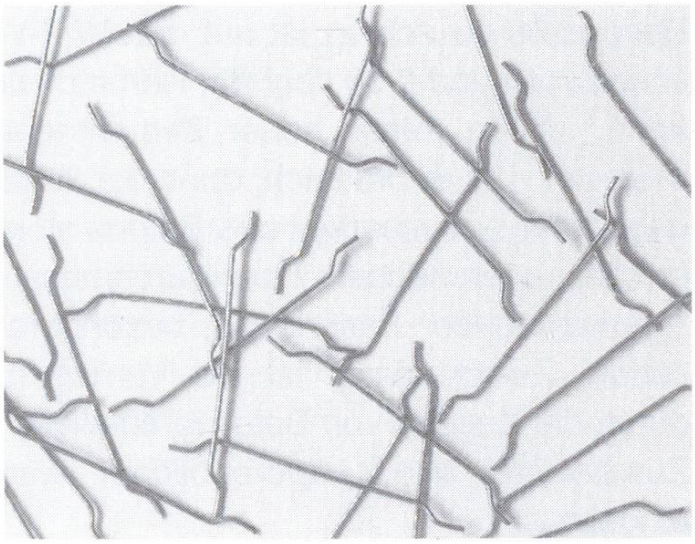

Abb. 7. Flache Fasern mit abgewinkelten Enden (30 × 0,5 mm).

keit, die eine grössere Nutzungsdauer und geringere Instandsetzungskosten bringt.
Gegebenenfalls mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung eignet sich Stahlfaserbeton für dynamisch beanspruchte Konstruktionen. Beispiele sind Tragwerke in Erdbebengebieten, explosionsgefährdete Bauwerke, Wasserbauten mit Beanspruchungen durch Kavitation oder aufprallendes grobes Geschiebe, Küstenbewehrungen, Rammpfähle oder Maschinenfundamente [3].

Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau

Spritzbeton wird immer bewehrt. Die Rolle der Bewehrung besteht darin, Spannungen infolge von Schwinden und Temperaturschwankungen aufzunehmen, die Scherfestigkeit zu erhöhen und konzentrierte Lasten zu verteilen. Da Stahlfaserspritzbeton homogen bewehrt ist, kann er Kräfte verschiedener Art und Richtung aufnehmen [8].
Stahlfasern erhöhen die Zähigkeit und das Arbeitsvermögen sowie die Schlagfestigkeit von Spritzbeton. Sie sind sowohl im Trocken- als auch im Nassspritzverfahren mit gleichen Förderleistungen wie beim

konventionellen Spritzbeton einsetzbar. Sie können zusammen mit dem Beton appliziert oder erst im Bereich der Spritzdüsen zugegeben werden. Dabei sind wie beim Stahlfaserbeton die Regeln der Betontechnologie zu beachten. Insbesondere ist der W/Z-Wert möglichst tief zu halten und Grösstkorn, Faserlänge (maximal 30 mm) sowie Fasermenge (3 bis 8 Gewichtsprozent) sind aufeinander abzustimmen [9].

Kurt Hermann

Literatur

[1] *Meyer, B.*, «Faserbeton», Cementbulletin **59** [22] (1991).

[2] *Schrader, E.K.*, «Fibre Reinforced Concrete», International Commission on Large Dams Bulletin **40a** (1988).

[3] *Weigler, H.*, und *Sieghart, K.*,«Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), Seiten 483–506.

[4] *Kern, E.*, und *Schorn, H.*, «23 Jahre alter Stahlfaserbeton», Beton- und Stahlbetonbau **86** [9], 205–208 (1991).

[5] *Bielak, E.*, «Herstellung von Faserbeton», Referat Nr. XIV, Darmstädter Massivbau-Seminar, Band 3 (1990).

[6] «Die Entwicklung von Stahlfasern», Dramix-Info 2/89, Herausgeber Bekaert Deutschland GmbH.

[7] *Maidl, B.*, und *Tallarek, F.*, «Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durch den Einsatz von Stahlfaserbeton und Stahlfaserspritzbeton», Betonwerk+Fertigteil-Technik **57** [11], 76–85 (1991).

[8] *Vandewalle, M.*, «Die Stahlfaser, die neue Spritzbetonbewehrung», Tagungsbericht zum Europäischen Symposium für Tunnelbau vom 5. Februar 1992 in Olten, Seiten 17–21.

[9] *Tavnicek, R.*, «Faserbeton und Faserspritzbeton», Zement und Beton **32** [1], 21–29 (1986).

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
Postfach Telefon 064 57 72 72
Lindenstrasse 10 5103 Wildegg Telefax 064 53 16 27