

# Stahlfaserbeton: ein neuer Werkstoff setzt sich durch

Autor(en): **G.B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 21

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77108>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Stahlfaserbeton

Ein neuer Werkstoff setzt sich durch

**Durch Zugabe von Stahlfasern wird die Biegesteifigkeit und Duktilität des Betons wesentlich vergrössert; deshalb hat die Anwendung von Stahlfasern in den letzten Jahren merklich zugenommen, wozu neben den technischen auch wirtschaftliche Vorteile beigetragen haben. Im Haus der Technik in Essen (9. Juni 1988) wurden in einer Vortragsveranstaltung zum Thema «Stahlfaserbeton - ein neuer Werkstoff setzt sich durch» praktische Beispiele für die Anwendung von Stahlfaserbeton (Betonflächen und -fahrbahnen, Spritz- und Pumpbeton, Fertigteile im Tunnel-, Stollen-, Strassen- und Industriebau) und Bemessungsansätze gebracht.**

## Betontechnologie

Dipl.-Ing. M. Grondziel, Herne, erklärte einleitend Aufbau und Eigenschaften von «Stahlfaserbeton». Bessere mechanische Eigenschaften des Betons erzielt man durch höhere Druck- und Biegezugfestigkeiten, die ihn jedoch spröde machen. Stahlfaserbeton [1, 2] hat jedoch ein günstigeres Formänderungsverhalten, denn durch Zugabe von Stahlfasern in die zementgebundene Matrix wird der Beton zu einem zähen, duktilen Werkstoff. Temperatur-, Schwind- und andere Risse werden vermieden und grosse Dehnungen in viele kleine und daher unsichtbare Risse aufgeteilt. Stahlfaserbeton hat eine höhere Bruchdehnung und kann sich deshalb bis zum endgültigen Bruch weiter verformen (Bild 1), so dass ein Versagen des Bauteils nicht schlagartig eintritt, sondern sich frühzeitig durch Verformungen ankündigt. Dieses Arbeitsvermögen ist abhängig vom Anteil der Stahlfasern (mind. 4 Gew.-%), ihren Verbundeigenschaften und der Stahlgüte. Stahlfaserbeton darf sich beim Bereiten (keine Stahlfaserigelbildung) und Einbau nicht entmischen und nicht zum Bluten neigen. Durch einen niedrigen Wasserzementwert erreicht man günstige mechanische Eigenschaften der Matrix (gegebenenfalls Zugabe von Fließmitteln zur besseren Verarbeitbarkeit) und durch eine ausreichend lange Nachbehandlung den guten Verbund mit den Fasern und damit ihre Verstärkungswirkung. Stahlfasern im Bereich der Bauteiloberfläche beginnen unter dem Einfluss der Witterung zu rosten. Dies führt jedoch erfahrungsgemäss nicht zu Betonabplatzungen, da die Korrosion wegen guter Betonhaftung nicht tiefer wirken kann [3, 4]. Will man das Rosten aus ästhetischen Gründen vermeiden, trägt man die letzte Schicht ohne Faserzugabe auf

(Spritzbeton/Mörtel). Dipl.-Ing. J. Dietrich, Bochum, ging nach Auswertung von Forschungsergebnissen auf die Materialeigenschaften des neuen Werkstoffs (Arbeitsvermögen, Schlagfestigkeit, Abriebwiderstand, Grünstands- und Biegezugfestigkeit) und «Anwendungsmöglichkeiten von Stahlfaserbeton» (Tabelle 1) ein. Die Stahlfaserarten [2] haben hinsichtlich der Bruchdehnung unterschiedliches Verhalten; bei Fasern mit rauher Oberfläche verformt sich der Beton bis zum Auftreten des ersten Makrorisses plastisch, was bei Industriefussböden und im Tunnelbau wegen des Korrosionsschutzes und der Wasserdichtigkeit von Vorteil ist. Glatte Fasern mit ausgeprägten Endverankerungen ergeben ein grosses Arbeitsvermögen des Betons zur Aufnahme oder Umwandlung von Energie aus Aufpralllasten [5], Explosionsdrücken (Decken und Wände für Vollschutz in Kernkraftwerken) und Erdbebenerregung. Wegen seines günstigen Verformungsverhaltens und seiner geringen Rissneigung ist Stahlfaserbeton wesentlich feuerbeständiger als Normalbeton

und eignet sich deshalb sehr gut für den Feuerschutz tragender Bauteile (Stahlverbundstützen) [6, 7]. Als weitere Anwendungen wurden Instandsetzungen im Wasserbau (Tosbecken, Klärbecken) [8], Tunnelbau und Ingenieurbau [9] und die Sicherung von Hängen, Böschungen und Baugruben [10, 11] genannt.

## Industrieböden und Verkehrsflächen

Dr.-Ing. R. Hahlhege, Ratingen, berichtete über den Stand der Arbeit des Arbeitskreises «Bemessung von Industrieböden aus Stahlfaserbeton» des Deutschen Beton-Vereins; schliesslich werden bis zu 85% der Stahlfasern zum Herstellen von Industriefussböden verwendet, das sind jährlich 4 bis 5 Mio. m<sup>2</sup> bzw. 10 bis 15% Anteil der ausgeführten Industrieböden [11–15], wobei der Anteil in Belgien, Frankreich und den Niederlanden grösser ist. Die niederländischen Bemessungsregeln [16] mit einer von Stahlfasergeometrie, -orientierung und -menge [17] abhängigen Biege Zähigkeit werden nun doch nicht übernommen oder angepasst, sondern ein neues Bemessungskonzept mit Einstufungsprüfung (Biege Zähigkeit; 15/30/110-cm-Probekörper) und Vergleichsprüfung (Balken nach DIN 1048) entwickelt; es wird derzeit erprobt. – Anschliessend führte Dipl.-Ing. B. Wienke, Herne, die «Bemessung von stahlfaserbewehrten Industrieböden» durch und verglich die Ausführung von Bodenplatten aus Stahlbeton und Stahlfaserbeton hinsichtlich der Abmessungen (30 cm statt 39 cm) und der Bauaus-

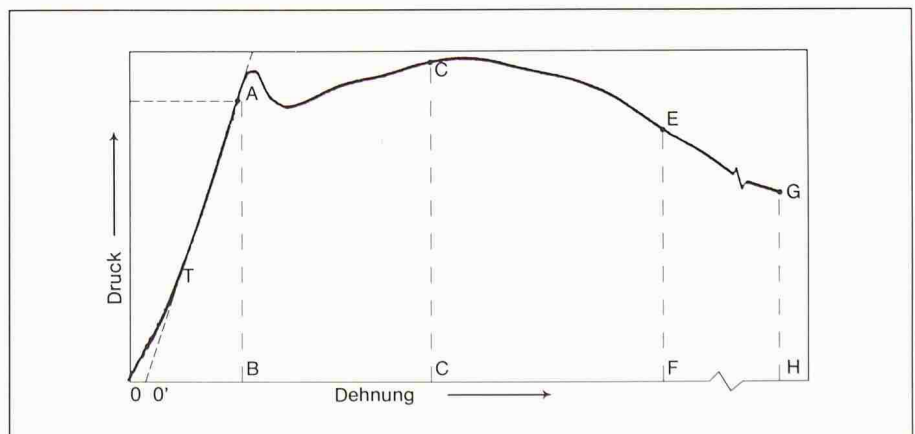


Bild 1. Spannungsdehnungsverhalten von Stahlfaserbeton. Die Messpunkte A bis H sind nach ASTM C 1018 (USA) zur Berechnung seiner Biege Zähigkeit (Duktilität) bestimmt

führung (Stahlfaserfließbeton) [15]. Danach ging Dr.-Ing. B. Schnütgen, Bochum, auf die «Bemessung von Rohren aus Stahlfaserbeton» ein, für die es bereits in Belgien, Grossbritannien, Österreich und den Niederlanden Normen gibt, und entwickelte stahlfaser-spezifische Bemessungsdiagramme für Betonrohre unter Berücksichtigung einzuhaltender Rissweiten.

**Tunnel-, Stollen- und Bergbau**

Dipl.-Ing. R. Könnig, Bochum, zeigte an Ausführungsbeispielen Anwendungsmöglichkeiten für «Stahlfaserbeton im Tunnelbau», Stollenbau [18] und Bergbau [19-21] mit Angaben zur Wirtschaftlichkeit, und zwar als

- Stahlfaserspritzbeton [1, 2, 22-27] bei Instandsetzungen [28] und Verstärkungen [29, 30] mit kürzeren Sperrpausen, sowie zusammen mit Gitterträgern und/oder Felsankern in Spritzbetonbauweise (NATM) für die Aussenschale [31-33] oder einschaligen Ausbau [34],
- Stahlfaserpumpbeton im Extrudierverfahren beim Schildvortrieb für die Innenschale [35] oder beim einschaligen Ausbau (25 cm statt 35 cm Wanddicke; 15 000 m<sup>3</sup> für U-Bahn-Bau in Frankfurt Main) und
- Stahlfaserbetontübbing mit geringem Gewicht und einfacherem Transport und Einbau beim Schildvortrieb bei ein- oder zweischaligem Ausbau.

Dipl.-Ing. H. Nusser und Dipl.-Ing. D. Härle, Stuttgart, schilderten die «Sanierung einer Neubaustrecke mit Stahlfaserspritzbeton» [36]. Im Sohlbergtunnel im Nordabschnitt der Neubaustrecke Hannover-Würzburg der Deutschen Bundesbahn wurde eine auf zwölf 11 m lange Tunnelbögen der Stahlbetoninnenschale verteilte Fläche von rund 150 m<sup>2</sup> mit geringerer Betonüberdeckung der Bewehrung als 30 mm auf die geforderten 50 mm verstärkt (Bild 2), und zwar wegen der geringen Schichtdicke und zum Vermeiden von Rissen mit Stahlfaserspritzbeton (1750 kg Zuschlag 0/8 mm, 380 kg Zement PZ 35 F und 120 kg Stahlfasern [5 Gew.-%] je m<sup>3</sup> FB; W/Z = 0,50) hoher Güte: 2 N/mm<sup>2</sup> Zug- und 66 N/mm<sup>2</sup> Druckfestigkeit an Bohrkernen nach 14 Tagen. Zu den Arbeitsgängen gehören das Entfernen der zu geringen Betondeckung (B 25), Setzen von Edelstahlankern (Bild 3) im 25-cm-Raster (16/m<sup>2</sup>), Sandstrahlen und Vornässen der Fläche, Aufspritzen des Stahlfaserbetons in 2-cm-Lagen und zum Abschluss 1 cm faserfreier Spritzbeton - spritzrauh belassen und durch Folienabdeckung als Verdun-

Anwendungsgebiete	Beanspruchungsart	Rissweitenbeschränkung	Bruch-sicherheit
Fertigteilplatten Schachtabdeckungen	statisch	hoch	hoch
Strassenbeläge Industrieböden		Biegung Schub	gering
Hang- und Böschungssicherungen, Felssanierungen		gering	hoch
Tunnel, Stollen, Kavernen, Strecken- und Schachtausbau	Biegung Druck	hoch	
Rohre, Tübbing	Biegung	gering	
verlorene Schalung	Zug	hoch	
Fassadenelemente	statisch dynamisch	Schub	
Verankerungsbereiche		gering	
Pfähle, Pfahlspitzen, stossbeanspruchte Bereiche	dynamisch	Schub Querzug	gering
Maschinenfundamente		Biegung	hoch
erdbebenbeanspruchte Bereiche		gering	

Tabelle 1. Anwendungsgebiete für Stahlfaserbeton - als Spritz- und Pumpbeton und für Fertigteile - mit Beanspruchungsart und Anforderungen (Schnütgen)

stungsschutz nachbehandelt. Die Sanierung kostet 500 bis 700 DM/m<sup>2</sup> (1985), wobei die Materialkosten nicht ins Gewicht fallen.

**Zulassung und Bemessung**

Nach Dipl.-Ing. S. Manleitner, Berlin, kann trotz zahlreichen Anwendungen, Kenntnissen und Erfahrungen aus «bauaufsichtlicher Sicht die Verwendung von Stahlfasern» wegen Fehlens von Richtlinien und Normen noch nicht als allgemein gebräuchlich und bewährt angesehen werden; das betrifft auch das Merkblatt «Stahlfaserspritzbeton» [37]. Die Brauchbarkeit des Stahlfaserbetons ist deshalb im Einzelfall durch eine Zustimmung oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachzuweisen. Die meisten Erfahrungen, auch Berechnungs- und Bemessungsmodelle liegen bisher für die Anwendung von Stahlfaserspritzbeton und -pumpbeton für die Sicherung beim Vortrieb im Tunnel-, Stollen- und Bergbau vor.

Dipl.-Ing. M. Vandewelle, Zwevegem/Belgien, erklärte «die Identität von Stahlfaserbeton» an stahlfaserverstärkten Betonrohren (25 bis 50 kg Stahlfasern/m<sup>3</sup> FB) bis 2000 mm Ø und dünnen Strassenbelägen (10 cm) mit 10 bis 15 m Fugenabstand auf instandzusetzenden Fahrbahnen sowie an Tunnelbauten, bei denen die SNCF die Duktilität von Stahlfaserbetonen mit ver-

schiedenen Stahlfaserarten untersucht hat. Danach stellte er die beiden Normen gegenüber, die es zum Bestimmen der Eigenschaften von Stahlfaserbeton mit verformungsgesteuerten Versuchen derzeit gibt; während man sich in den USA nach der ASTM C 1018 auf die Formänderungen bei den verschiede-

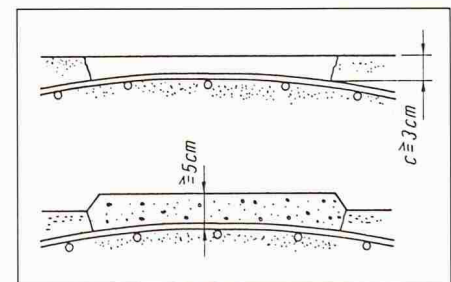


Bild 2. Sanieren einer Tunnelinnenschale aus Stahlbeton bei zu geringer Betonüberdeckung der Bewehrung mit Stahlfaserspritzbeton

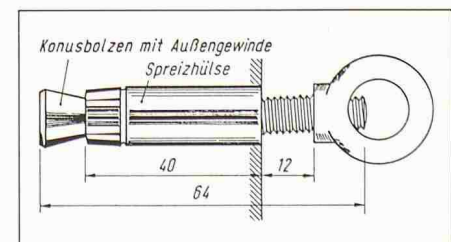


Bild 3. Edelstahlanker zum Verdübeln einer Sanierungsschicht aus Stahlfaserspritzbeton

## Literatur

- [1] Stahlfaserbeton und Stahlfaserspritzbeton; Herstellung, Eigenschaften und Anwendung (Schnütgen, Stiller, Zerna). KIB-RUB Heft 31, 82 Seiten, 33 Quellen; Ruhr-Universität Bochum 1978
- [2] Technologie des Stahlfaserbetons und Stahlfaserspritzbetons (Biesler, Hummert, Maidl/Borttscheller, Micke, Nikolay, Schmidt, Wandschneider). KIB-RUB Heft 42, 64 Seiten, 73 Quellen; Ruhr-Universität Bochum 1984
- [3] Zerna, W. u.a.: Korrosionsuntersuchungen an Stahlfaserbeton. Beton 29 (1979) Nr. 10, S. 353-354
- [4] Brux, G.; Linder, R.; Ruffert, G.: Spritzbeton – Spritzmörtel – Spritzputz; Herstellung, Prüfung und Ausführung. Verlagsges. Rudolf Müller, D-5000 Köln 41 (Braunsfeld), 290 Seiten, 428 Quellen
- [5] Stangenberg, F.: Stahlfaserbeton als hervorragender Baustoff für stossbeanspruchte Bauteile. Bauingenieur 61 (1986) Nr. 8, S. 339-345
- [6] Roik, K., Schwalbendorfer, K.; Diekmann, C.: Stahlprofil-Stahlfaserbeton-Verbundstützen. KIB-RUB Bericht 6501. Ruhr-Universität Bochum 1985
- [7] Roik, K.; Diekmann, C.; Schwalbendorfer, K.: Verbundstützen mit Stahlfaserbeton (Brandverhalten). Bauingenieur 62 (1987) Nr. 4, S. 179-182, 7 Quellen
- [8] Hahlhege, R.; Krähling, H.: Einsatz von Stahlfaserspritzbeton bei der Sanierung von Wasserbauten. Unser Betrieb 36 (1986) Nr. 4, S. 338-340
- [9] Ruffert, G.: Einsatz von Stahlfaserspritzbeton. Strassen- und Tiefbau 42 (1988) Nr. 2, S. 13-18
- [10] Stocker, M.; Körber, G.: Fasernassspritzbeton und Einsatzmöglichkeiten. Tiefbau 25 (1983) Nr. 9, S. 526-530, 5 Quellen
- [11] Travnicek, R.: Faserbeton und Faserspritzbeton. Zement und Beton 31 (1986) Nr. 1, S. 21-29, 25 Quellen
- [12] Grondziel, M.: Betonstrassen für die Bundeswehr. Tiefbau 26 (1984) Nr. 3, S. 140-143
- [13] Grondziel, M.: Betonfahrbahnplatten mit Stahlfaserbeton. Sanierung am Frankfurter Flughafen. Tiefbau 27 (1985) Nr. 4, S. 220-221
- [14] Destrée, X.: Fiberverstärkter Beton im Industriebodenbau. Zentralblatt für Industriebau 33 (1987) Nr. 2, Beilage ibt, S. 18-21
- [15] Grondziel, M.: Instandhaltung von Flugzeugabstellflächen. Beispiel Flughafen Frankfurt/Main. Beton 38 (1988) Nr. 6, S. 229-232
- [16] Technologie des Stahlfaserbetons. CUR-Empfehlung Nr. 10, Stutech-Rapport 1/1985
- [17] Schönlin, K.: Ermittlung der Orientierung, Menge und Verteilung von Fasern in faserbewehrtem Beton. Beton- und Stahlbetonbau 83 (1988) Nr. 6, S. 168-171, 13 Quellen
- [18] Bausch, D.: Stahlfaserbeton für den Stollen- und Strassenbau. Beispiel: Bundeswehrbauten bei Lorch. Beton 35 (1985) Nr. 1, S. 17-19
- [19] Schönig, E.; Becker, H.: Auffahren einer Gesteinsstrecke mit Stahlfaserspritzbeton. Bergbau 34 (1983) Nr. 6, S. 266-270
- [20] Micke, H.; Biesler, D.: Stahlfaserspritzbeton zum Sanieren von Gesteinsstreckenausbau. Taschenbuch für Bergingenieure 35 (1984) S. 75-78 und Glückauf 118 (1982) Nr. 23, S. 1198-1199 sowie in [2] S. 43-45
- [21] Masson, C.: Anwendung des Stahlfaserspritzbetons als Ausbau in Gesteinsstrecken. Glückauf 121 (1985) Nr. 2, S. 145-148
- [22] Rapp, R.: Stahlfaserspritzbeton im Bergbau und Tunnelbau – Bewertung verfahrenstechnischer Einflüsse auf den Rückprall und die Frühfestigkeit bei der Herstellung von Stahlfaserspritzbeton für den Untertagebau. Band 20, Glückauf-Betriebsbücher, Verlag Glückauf, Essen 1978
- [23] Stahlfaserbeton und Stahlfaserspritzbeton. Eigenschaften, Bemessung, Anwendung. (Borttscheller, Egger, Hahlhege, Maidl, Malchin, Nieder, Rapp, Schorn). KIB-RUB Heft 34, 57 Seiten, 58 Quellen; Ruhr-Universität Bochum 1980
- [24] Schmidt, M.: Stahlfaserspritzbeton; Eigenschaften, Herstellung und Prüfung. Beton 33 (1983) Nr. 9, S. 333-337, 15 Quellen; in [2] S. 31-34, 6 Quellen
- [25] Schilling, K.: Anwendung von Stahlfaserspritzbeton. SIA-Dokumentation 11 (1982) Band 56, S. 35-41
- [26] Maidl, B.; Handke, D.: Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau. Bauingenieur 62 (1987) Nr. 3, S. 116
- [27] Hahlhege, R.; Maidl, B.: Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau. Qualität und Dauerhaftigkeit. Beton 38 (1988) Nr. 2, S. 62-65
- [28] Maidl, B.; Hahlhege, R.; Menzel, A.: Sanierung des Laurenburger Tunnels mit Stahlfaserspritzbeton. Unser Betrieb 29 (1981) Nr. 8, S. 28-30 und 35 (1987) Nr. 8
- [29] Maidl, B.; Hahlhege, R.: Verstärkung eines Bundesbahntunnels mit Stahlfaserspritzbeton. Beton 30 (1980) Nr. 11, S. 413-414
- [30] Borttscheller, M.; Hahlhege, R.; Malchin, D.: Verstärkung eines Tunnels – Erstmals mit Stahlfaserspritzbeton. Beton 30 (1980) Nr. 4, S. 125-126
- [31] Skatun, O.: Entwicklung des stahlfaserbewehrten Nassspritzbetons in Norwegen. 2. Internat. Fachtagung – Spritzbeton-Technologie. Innsbruck/Igls 15./16.01.1987; S. 91-95
- [32] Deix, F.: Stahlfaserverstärkter Spritzbeton. Eignungsprüfung für Einsatz beim Wiener U-Bahnbau. 2. Internat. Fachtagung – Spritzbeton-Technologie. Innsbruck-Igls 15./16.01.1985, S. 69-72 und Zement und Beton 30 (1985) Nr. 2, S. 41-53
- [33] Grondziel, M.: Bergsicherung und Auskleidung von Stollen mit Stahlfaserspritzbeton. Beton- und Stahlbetonbau 81 (1986), Nr. 8, S. 205-207
- [34] Peters, H.L.: Einschaliger Tunnel in Stahlfaserspritzbetonbauweise. Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984) Nr. 4, S. 97-101
- [35] Braach, O.: Extrudierbetonbauweise im Tunnelbau. Verfahren und Ausführungsbeispiele. (Stahlfaserpumpbeton) Beton 38 (1988) Nr. 3, S. 95-98
- [36] Nusser, H.; Leichnitz, W.: Stahlfaserspritzbeton zur Behebung von Mängeln der Betondeckung der Bewehrung. Beton- und Stahlbetonbau 82 (1987) Nr. 12, S. 331-333
- [37] Merkblatt – Stahlfaserspritzbeton. Deutscher Beton-Verein, D-6200 Wiesbaden 2/1984. Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984) Nr. 5, S. 134-136

nen Belastungsstufen bzw. Druckspannungen (Bild 1) beschränkt, werden derartige Messungen in Japan nach den JSCE-SF 4 und -SF 5 – wie auch in den Niederlanden [16] – bei Druck- und Biegezugspannungen durchgeführt. Damit

wird die von der Fasergeometrie (Länge/Durchmesser) und -menge [17] abhängige Druck- und Biegezugfähigkeit bestimmt und so eine Bemessung möglich, die die Eigenschaften des Stahlfaserbetons tatsächlich berücksichtigt.

Dazu sind Bemessungsdiagramme für die Bruchbeanspruchung und Biegezugfähigkeit von Stahlfaserbeton für verschiedene Stahlfaserarten und -gehalte entwickelt worden. G. B.