Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 92 (1974)
Heft: 3: Zur "Swissbau 1974"

Artikel: Faserbewehrter Beton
Autor: Brux, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72233

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: 09.12.2025

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

Faserbewehrter Beton

DK 624.012.45:624.011.78

Durch Fasern verstärkte Werkstoffe haben in den letzten Jahrzehnten wegen ihrer günstigen Eigenschaften bei mechanischer und thermischer Belastung an Bedeutung gewonnen. Besonders auffällig ist diese Entwicklung auf dem Gebiet der faserverstärkten Kunststoffe und Metalle. Es liegt nun nahe, die dort gesammelten Erfahrungen auf Faserverbundbaustoffe mit zementgebundener Matrix zu übertragen. Der Gedanke, Beton oder Zementstein durch Einlegen engmaschiger, mehr oder weniger dünner Drähte oder Fasern (Ferrozement) zugfester und schlagfester zu machen, lässt sich bis in die Anfänge der modernen Betonentwicklung Mitte des vorigen Jahrhunderts zurückverfolgen. Ein Beispiel der erfolgreichen Umsetzung dieser Idee stellt der Asbestzement in seiner vielfältigen Anwendung dar.

Glasfaserbeton

Während das Ausdehnungsverhalten der beiden Hauptkomponenten keine Unverträglichkeit aufweist, haben jedoch der nicht ausreichende Haftverbund (10 μm starke Glasfasern zeigten im Elektronenmikroskop nur punkt- oder streckenweise Verbindung mit dem Zementstein, jedoch mit grösser werdendem Alter zunehmende Haftung) und die mangelnde chemische Verträglichkeit zwischen Glasfaser und Zementmatrix über Jahrzehnte die Anwendung des Glasfaserbetons gehemmt. Erst in jüngerer Zeit wurden in dieser Beziehung Fortschritte erzielt. So entwickelte man Glasfasern, die gegenüber dem alkalischen Zement nicht reagieren, oder solche, die sich nur mit einer schützenden Reaktionsschicht versehen, sowie beschichtete Glasfasern, wobei die Benetzungswirkung zu vergrössern ist. Man könnte jedoch auch den *pH*-Wert des Zementes herabsetzen und so einer Reaktion vorbeugen.

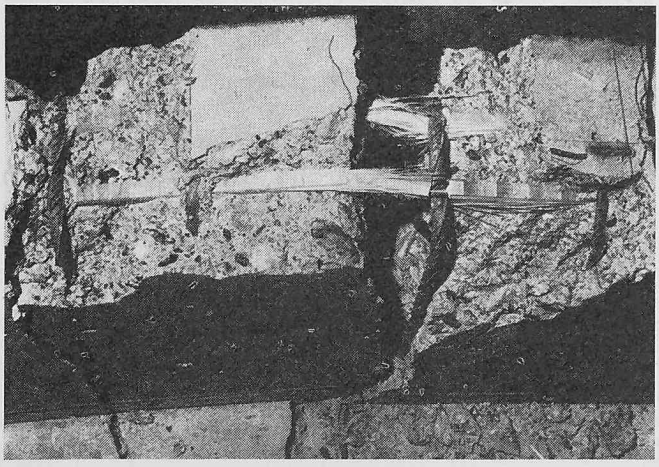
Tabelle 1. Verschiedene Gesichtspunkte der Einteilung von Glasfaserbetonen (GFB)

Rohdichte	200 bis 700 kg/dm³	Dämmstoffe
	700 bis 1300 kg/dm³	Leichte Glasfaserbetone
	1300 bis 2300 kg/dm³	Schwere Glasfaserbetone
Faseranordnung	eindimensional	(rd. 100 %)
	zweidimensional	(rd. 35 %)
	dreidimensional	(rd. 20 %)
Herstellverfahren:	Einmischen, Einrieseln, Einlegen und Eintauchen	

Tabelle 2. Zugfestigkeit von Stahlfaserbeton in Abhängigkeit von der Menge der Stahlfasern von 25 mm Länge und 0,25 mm Durchmesser

Stahlfaser-gehalt (Gew.-%)	0	1	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9
Zugfestigkeit (kp/cm²)	62	75	82	100	110	128	152	165	170	180	185

Bild 1. Bruchbild eines mit Glasfaser-Kunstharz-Verbundstäben bewehrten Betonbalkens



Werkstoffgerecht hergestellter leichter und schwerer Glasfaserbeton (Tabelle 1) ist unbrennbar und auch wasserdicht. Man verwendet dazu Glaswolle und Glasseide von 30 bis 100 mm oder unendlicher Faserlänge. Bei über 6 Vol-% nimmt der Wasseranspruch stark zu, und man müsste nach der Formgebung durch zusätzliche Arbeitsgänge das Überschusswasser wieder dem Beton entziehen (Absaugen, Schleudern usw.). Bis 10 Vol-% kann Glasseide eingeschossen oder Glasgewebe eingelegt oder eingetaucht werden (Dämmplatten). Glasfaserbeton zeichnet sich durch eine bis zehnmal grössere Zugfestigkeit und bis zwanzigmal grössere Schlagzähigkeit aus, sowie durch grössere Bruchdehnung als gewöhnlicher Beton (Tabelle 2). Das Entstehen grösserer Risse kann so verhindert werden. Wenn es gelingt, die Dauerhaftigkeit des Glasfaserbetons sicherzustellen, wird dieser Werkstoff voraussichtlich in den nächsten Jahren eine steigende Anwendung finden, wie z.B. für Dämmplatten, bei denen man wegen des Fehlens der sonst üblichen Korrosionsschutzüberdeckung mit geringeren Dicken auskäme. Vorteilhaft für die Entwicklung und die spätere Anwendung in der Praxis sind die vielen Zusammensetzungsmöglichkeiten und Mischverfahren (Tabelle 1). Der Wirkungsgrad der in die Zementmatrix eingebrachten Glasfasern nimmt schnell ab, wenn sie nicht in der Faserrichtung beansprucht werden. Man kam deshalb zur im nächsten Abschnitt beschriebenen Anwendungsart.

Glasfaserkunstharz-Verbundstäbe [2]

Im Gegensatz zur statistischen Verteilung von Glasfasern in Form von kurzen Abschnitten im Beton kommen die gebündelten und gerichteten Glasfasern in Form von GFK-Stäben als wirtschaftliche Bewehrung in Betracht. Die hohe Bruchfestigkeit (150 kp/mm²) und Bruchdehnung (rund 3%, Bild 1) lassen als Anwendungsgebiet den *Spannbetonbau* erwarten, weil dort die hohe Festigkeit und der gegenüber Stahl geringere Elastizitätsmodul (500 Mp/cm²) bei annähernd gleich hohen Materialkosten wie für Stahl vorteilhaft genutzt werden können. Plastische Verformungen entfallen, ebenso entfällt die Kerbschlagempfindlichkeit, und es gibt keine Korrosionsprobleme. Allerdings sind noch eine Reihe von Fragen im Zusammenhang mit den Dauereigenschaften des die Glasfasern verbindenden Kunstharzes und der Beständigkeit der Glasfasern auch bei erhöhten Temperaturen zu klären. Auch fehlt eine befriedigende konstruktive Lösung für die Endverankerungen. Dennoch können Glasfaserstäbe als eine ernst zu nehmende Konkurrenz der handelsüblichen Spannstähle angesehen werden. Bei der Spanngliedführung sind die Umlenkstellen ohne Knicke auszuführen. Die Spannkanäle brauchen nicht auf der ganzen Länge ausgepresst zu werden, sondern nur an den Enden, da keine Korrosionsgefahr für die Spannbewehrung besteht. Als Injektionsgut verwendet man statt des mit Glas alkalisch reagierenden Zements Gips.

Stahlfaserbeton

Dazu werden einer geeigneten Betonmischung kurze, dünne Stahldrähte (Länge 25 bis 30 mm, Durchmesser 0,25 bis 0,4 mm) beigegeben, um – wie beim Glasfaserbeton – die Zugfestigkeit des Betons zu erhöhen. Es entsteht ein quasiho-

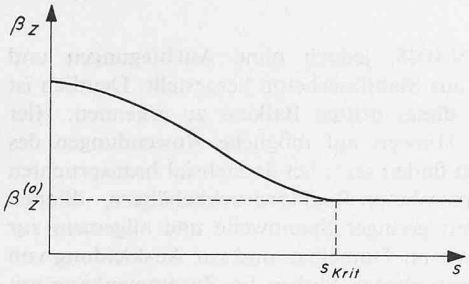


Bild 2. Zugfestigkeitsverlauf (β_z) von Stahlfaserbeton in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Abstand der Stahlfasern (s). Der kritische Abstand (s_{krit}) ergibt sich für den Wert der Zugfestigkeit des unbewehrten Betons ($\beta_z^{(o)}$)

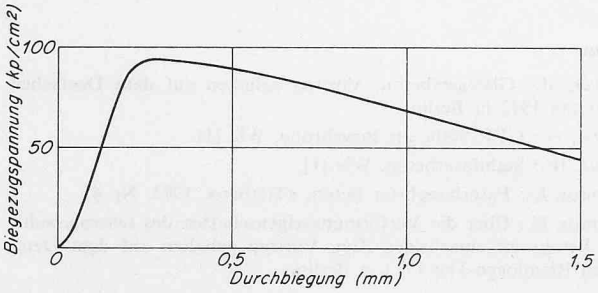


Bild 4. Kraftverformungsverlauf eines auf Biegung beanspruchten Balkens aus Stahlfaserbeton (Bild 3) nach dem Auftreten des Risses

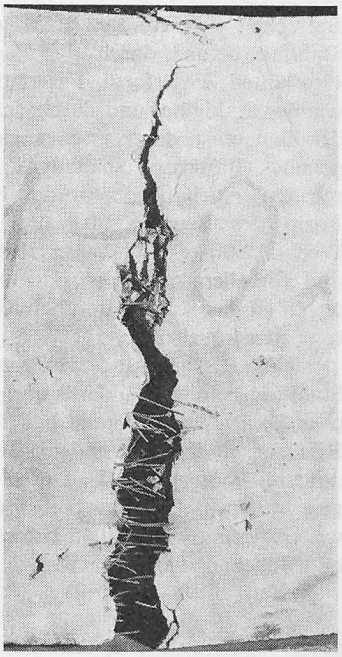


Bild 3. Bruchbild eines Balkens aus Stahlfaserbeton. Im allgemeinen bildet sich nur ein Riss

mogener Werkstoff mit gleichen Festigkeitseigenschaften in allen drei Richtungen. Die Idee des Stahlfaserbetons ist alt (französische Patentschrift 1923), jedoch wurden die Eigenschaften dieses Werkstoffes erst in neuerer Zeit systematisch untersucht, insbesondere in den USA (Prof. *Romualdi*, Wirand-Concrete), in England, der CSSR (*Komlos* [4,5]) und Deutschland (Ruhr-Universität, Bochum [3]).

Beim Erforschen der Eignung von Stahlfaserbeton für Spannbeton-Reaktordruckbehälter, bei denen dreiachsiale Spannungen mit Zugspannungen in ein oder zwei Richtungen auftreten, die auch durch die Vorspannung nicht, sondern nur durch das Anordnen aufwendiger, schlaffer Bewehrung aufgenommen werden können, wurden die Eigenschaften des Stahlfaserbetons unabhängig von seinem besonderen Anwendungsgebiet erforscht. Danach verdankt Stahlfaserbeton seine Zugfestigkeit grundsätzlich anderen Eigenschaften als Stahlbeton. Die Stahlfasern stellen nämlich keineswegs eine «fein verteilte » Bewehrung dar. Sie haben vielmehr die Aufgabe, Risse zu hemmen, so dass die Zugfestigkeit des Betons, die weitgehend durch Mikrorisse zerstört wird, erhalten bleibt. Über diese Zugfestigkeit hinaus können auch die Stahlfasern keine wesentliche Erhöhung der Zugfestigkeit mehr bewirken. Sie können also nicht die Zugbewehrung in einem auf Biegung beanspruchten Bauteil vollständig ersetzen. Die Zugfestigkeit des Stahlfaserbetons hängt deshalb entscheidend von der Zugfestigkeit des unbewehrten Betons ab. Die Steigerung der Zugfestigkeit beginnt erst bei einem kritischen Wert des durchschnittlichen Abstandes der Drähte, und es gibt eine obere Grenze der Menge der Stahldrähte, über die hinaus eine weitere Steigerung der Zugfestigkeit nicht mehr erreicht werden kann (Bild 2, Tabelle 2). Hier zeigt sich auch, was vom Stahlfaserbeton erwartet werden kann. Während nämlich die beim unbewehrten Beton vorhandene Zugfestigkeit höchst unzuverlässig ist und daher stets durch Stahleinlagen abgesichert werden muss, lässt sich mit Stahlfaserbeton eine gesicherte Zugfestigkeit von mindestens 70 kp/cm² erreichen (vgl. Tabelle 3). Die bisherigen Untersuchungen [3]

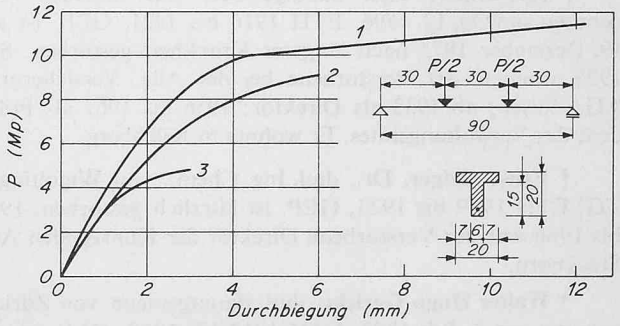


Bild 5. Durchbiegung von drei einstegigen Plattenbalken mit verschiedenartiger Bewehrung in Abhängigkeit von der Belastung. 1 Stahlfaserbeton mit 1 ∅ 14, 2 Stahlbeton nach DIN 1045 mit Bügel und Schrägaufbiegung, 3 wie 2, jedoch ohne Bügel und Schrägaufbiegung

Tabelle 3. Eigenschaften einiger Glasfaserbetone von verschiedener Herstellungsart

Zugabe durch	Rohdichte kg/dm³	Glas-Vol.-%	Druckfestigkeit kp/cm²	Biegezugfestigkeit kp/cm²	Biegeschlagzugfestigk.[1] cm kp/cm²	Elastizitätsmodul kp/cm²	Bruchdehnung ‰
Einmischen	1,2	1,5	150	100	2	50 000	5
	1,7	1,5	350	160	2,5	120 000	6
Einrieseln	1,2	2,0	150	140	3	60 000	8
	1,9	2,0	600	220	3,5	200 000	9
Einlegen	2,0	4,5	700	650	24	240 000	13

[1]) Schlagzähigkeit

erstrecken sich auf die Beeinflussbarkeit der Festigkeit des Stahlfaserbetons durch die Fasern, und zwar hinsichtlich Faseranteil, Faserform, Faserlänge und Faserquerschnitt sowie der Stahlgüte, und durch den Beton, so u.a. den Einfluss der Zementart, des Wasserzementwertes und des Bindemittelgehaltes (Biegezug-, Spaltzug- und Druckfestigkeit). In weiteren Untersuchungen soll der Einfluss des Alters und der Form der Bauteile, das dreiachsiale Bruchverhalten, die Wechselfestigkeit, die Wärmeleitfähigkeit, die Schlagfestigkeit und vor allem das Korrosionsverhalten erfasst werden. Weiterhin ist das Kriech- und Schwindverhalten des Stahlfaserbetons zu erforschen.

Das Rissbild und das Kraftverformungsverhalten von Stahlfaserbetonen (Bilder 3 und 4) weichen vom Herkömmlichen ab. Im Bruchzustand bildet sich im wesentlichen nur ein Riss aus. Interessant sind die Ergebnisse von Biegeversuchen mit drei Balken (Bild 5). Unter sonst gleichen Voraussetzungen ist ein Balken nur aus Stahlfaserbeton hergestellt, ein weiterer gemäss DIN 1045 bemessen – also mit Aufbiegungen und Bügeln – und schliesslich der dritte mit der Hauptbewehrung gemäss DIN 1045, jedoch ohne Aufbiegungen und Bügel, dafür aber aus Stahlfaserbeton hergestellt. Deutlich ist die Überlegenheit dieses dritten Balkens zu erkennen. Hier dürfte bereits ein Hinweis auf mögliche Anwendungen des Stahlfaserbetons zu finden sein: bei dreiachsial beanspruchten Bauteilen, wie Spannbeton-Reaktordruckbehältern, dünnen Schalen, Balken mit geringer Spannweite und allgemein zur Rissesicherung sowie im Tunnelbau und zur Auskleidung von bergmännisch vorgetriebenen Stollen im Zusammenhang mit Spritzbeton. *bx*

Literatur

[1] *Meyer, A.:* Glasfaserbeton. Vortrag gehalten auf dem Deutschen Betontag 1973 in Berlin.

[2] *Rehm, G.:* GFK-Stäbe als Bewehrung. Wie [1].

[3] *Zerna, W.:* Stahlfaserbeton. Wie [1].

[4] *Komlos, K.:* Faserbewehrter Beton. «Tiefbau», 1973, Nr. 4.

[5] *Komlos, K.:* Über die Verformungseigenschaften des fasernbewehrten Betons im einachsigen Zug. Vortrag gehalten auf dem Deutschen Rheologen-Tag 1973 in Berlin.

Nekrologe

† **Ludwig Bösch,** von Zürich, geboren am 22. September 1897, dipl. Bauingenieur, ETH 1916 bis 1920, GEP, ist kürzlich gestorben. 1921 bis 1940 arbeitete der Verstorbene bei J. J. Rüegg & Co., Ingenieurbüro und Bauunternehmung in Zürich. Anschliessend war er Bauleiter der Bauunternehmung Unterwasserkanal Rupperswil, Los 2, GmbH. 1948 bis 1959 war er Direktor der VEBA, Vereinigte Bauunternehmung AG, Zürich; seit 1960 Abteilungsleiter bei Schafir & Mugglin AG, Zürich.

† **Carl Briner,** dipl. Bauingenieur, von Möriken AG, geboren am 30. 12. 1896, ETH 1916 bis 1921, GEP, ist am 19. Dezember 1973 nach längerer Krankheit gestorben. Seit 1925 arbeitete der Verstorbene bei der Allg. Versicherungs AG, Zürich; ab 1933 als Direktor; 1956 bis 1967 als Präsident des Verwaltungsrates. Er wohnte in Kilchberg.

† **Ernst Geiger,** Dr., dipl. Ing. Chem., von Wigoltingen TG, ETH 1919 bis 1923, GEP, ist kürzlich gestorben. 1946 bis 1966 war der Verstorbene Direktor der Kunstseiden AG, Steckborn.

† **Walter Hugo Gericke,** dipl. Bauingenieur, von Zürich, geboren am 6. Juli 1893, ETH 1912 bis 1918, GEP, ist am 22. Dezember 1973 sanft entschlafen. Über 40 Jahre lang war er Mitgeschäftsführer der Maschinenfabrik Gericke AG in Regensdorf.

† **Konrad Geyer,** Prof., dipl. Masch.-Ing., von Stein am Rhein, geboren am 3. September 1898, ETH 1922 bis 1925, GEP, ist kürzlich gestorben. Nach einigen Jahren Tätigkeit in der Dampfturbinenabteilung der Maschinenfabrik Oerlikon war der Verstorbene 1933 bis 1963 Lehrer für maschinentechnische Fächer am Technikum Winterthur. Seit 1964 im Ruhestand.

† **Peter Locher-Sigg,** Verwaltungsratspräsident der Firma Locher & Cie AG, Zürich, ist am 21. November 1973 nach kurzer, schwerer Krankheit gestorben. Der Dahingegangene hat die Trostworte für seine Abdankung selbst ausgewählt: «Haltet mich nicht auf, der Herr hat mir Gnade gegeben zu meiner Reise. Lasset mich, dass ich zu meinem Herrn ziehe.» (1. Mos. 24, 56). Wer mit dem Flugzeug irgend einmal über die Alpen fliegt, den grüssen blausilberne Spiegel in den entlegensten Tälern; wenn sie Menschenhand geschaffen hat, wenn es Stauseen sind, so hat der Verstorbene mit seinem ihm vor vier Jahren in den Tod vorangegangenen Bruder massgebende Teile der Verantwortung als persönlich haftender Gesellschafter getragen: Mitverantwortung für Gesundheit und Leben der Bauleute, für Einwohner und Besucher der Talschaften, Verantwortung für das technische Gelingen und den wirtschaftlichen Erfolg der meist in Arbeitsgemeinschaft ausgeführten Bauten. Der Flughafen Kloten, die Walenseestrasse, viele Kraftwerkbauten, Tunnel, Fabriken, Geschäftshäuser und Brückenbauten bezeugen diesen Willen zum Einsatz der vollen Kräfte.

Ein wahrer Baumeister, ein wagemutiger Unternehmer ist von uns gegangen. Das Erbe, das er von seinen Vätern übernommen hat, hat er vorbildlich verwaltet, aber auch gemehrt. *Sd.*

† **Emil Raschle,** Elektroingenieur, von Bütschwil SG, geboren am 31. Mai 1898, ETH 1917 bis 1921, GEP, ist kürzlich gestorben. Von 1927 bis 1963 arbeitete der Verstorbene bei der Kraftwerke Brusio AG, Poschiavo.

† **Erwin Rehfuss,** Dr.-Ing., dipl. Architekt, von Scherzingen und Zürich, geboren am 6. März 1895, ETH 1913 bis 1919, SIA, GEP, ist im Januar gestorben. Nach Praxistätigkeit im Architekturbüro seines Vaters und in Frankreich sowie seiner Promotion zum Dr.-Ing. an der TH Stuttgart führte der Verstorbene sein Architekturbüro in Zürich.

† **Paul Reichen,** dipl. Elektroingenieur, von Frutigen BE, geboren am 20. Juli 1906, ETH 1926 bis 1930, GEP, ist am 2. Januar gestorben. 1936 trat Paul Reichen in die Dienste der Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg AG ein; 1948 wurde er dort technischer Direktor.

† **Rudolf Risch,** dipl. Elektroingenieur, von Tschappina GR, geboren 1902, ETH 1922 bis 1926, GEP, ist kürzlich gestorben. 1928 bis zu seinem Rücktritt arbeitete der Verstorbene im physikalischen Labor der AG Brown, Boveri & Cie, Baden.

† **Gustav Schäfer,** dipl. Kult.-Ing., von Thayngen, geboren am 28. Oktober 1924, ETH 1945 bis 1949, GEP, SIA, starb am 4. Januar infolge Herzversagen. 1952 erwarb der Verstorbene das eidgenössische Grundbuchgeometerpatent. 1954 bis 1964 arbeitete er im Betrieb Gaswerk und Wasserversorgung Winterthur. 1965 wurde er zum Direktor des Gaswerkes und der Wasserversorgung Schaffhausen berufen.