

# Stahlfaserbetone

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **67 (1999)**

Heft 9

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153852>

## **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.

# Stahlfaserbetone

## Stahlfasern werden zur Verbesserung ausgewählter Festbetoneigenschaften eingesetzt.

Obwohl Stahlfaserbetone und Stahlfaserspritzbetone schon recht lange bekannt sind, werden sie relativ selten angewendet. Ein Grund dafür mag in den teilweise fehlenden Normen, Richtlinien und Empfehlungen liegen [1]. Dies gilt – im Gegensatz zu den USA [2–5] – nicht nur für die Schweiz, sondern beispielsweise auch für Deutschland. Mit dem Erscheinen der Empfehlung

SIA 162/6 «Stahlfaserbeton» [6] könnte sich bezüglich des Einsatzes von stahlfaserhaltigen Betonen in der Schweiz einiges ändern. Die Empfehlung, die Angaben zur Bemessung, Baustoffwahl und Ausführung enthält, soll der «sachgemässen Anwendung von Stahlfaserbeton» [6] dienen. (Im Vorwort zur Empfehlung SIA 162/6 heisst es allerdings: «Die vorliegende Empfehlung be-

ruht primär auf Erfahrungen mit Stahlfaserspritzbeton.») Im Folgenden werden einige interessante Aspekte von Stahlfaserbetonen und Stahlfaserspritzbetonen behandelt werden. Besonders berücksichtigt werden dabei Aussagen aus der Empfehlung SIA 162/6 [6], von der auch der Aufbau des Artikels grösstenteils übernommen wurde. (Weitere Informationen sind in einem früher erschienenen «Cementbulletin» [7] enthalten.)

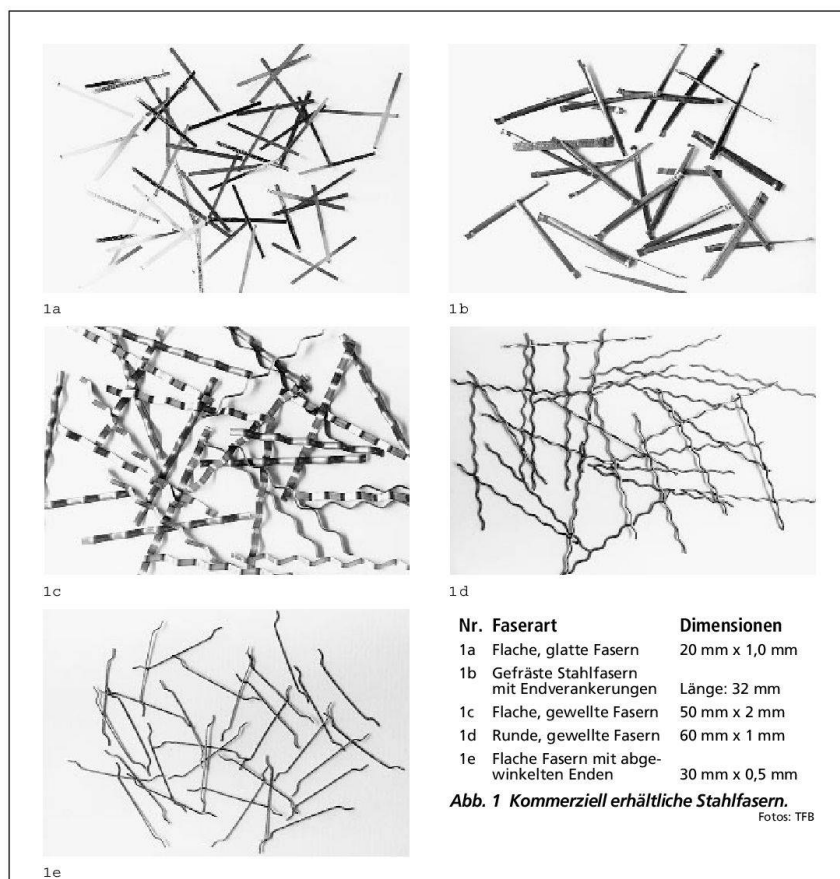
### Eigenschaften von Stahlfasern

Die Auswahl kommerziell erhältlicher Produkte in *Abbildung 1* vermittelt einen kleinen Einblick in die Vielfalt der Formen und Dimensionen von Stahlfasern. Der Formfaktor (Faserlänge/Faserdurchmesser) beträgt in der Regel 50–100 bei Faserdurchmessern  $\leq 1,0$  mm [1].

Stahlfasern weisen relativ hohe Zugfestigkeiten ( $400\text{--}1500$  N/mm<sup>2</sup>) auf; ihre Elastizitätsmoduln sind mit  $200$  kN/mm<sup>2</sup> rund eine Zehnerpotenz höher als diejenigen der Mörtelmatrices. In Stoffraumrechnungen wird die Dichte von Eisen ( $7850$  kg/m<sup>3</sup>) eingesetzt.

### Eigenschaften von Stahlfaserbetonen

Nach Empfehlung SIA 162/6 enthält ein Stahlfaserbeton mindestens



Anwendung	üblicher Fasergehalt
Industriefussböden	20–40 kg/m <sup>3</sup>
Wohnungsbau	25–50 kg/m <sup>3</sup>
Bauwerke im Umweltbereich	40–70 kg/m <sup>3</sup>
Tunnelbau	40–100 kg/m <sup>3</sup>
konstruktiver Ingenieurbau	40–100 kg/m <sup>3</sup>
spezielle Fälle	120 kg/m <sup>3</sup>

**Tab. 1** Üblicher Fasergehalt von Stahlfaserbetonen [8].

20 kg Stahlfasern/m<sup>3</sup>. In der Regel werden die Gehalte allerdings höher sein. Einige typische Werte sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

Stahlfaserbetone sind Verbundwerkstoffe. Sie sind makroskopisch homogen, ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften können in allen drei Richtungen als gleich (isotrop) angesehen werden [9]. Dies setzt allerdings voraus, dass die Fasern während des Herstellungsvorgangs nicht ausgerichtet worden sind [8].

Im Unterschied zu Stahlbetonen ist die Bewehrungsstruktur von Stahlfaserbetonen also feingliedriger und dreidimensional. Auch oberflächennahe Bereiche und Kanten sind bewehrt; sie sind dadurch robuster gegenüber mechanischen Einwirkungen [6].

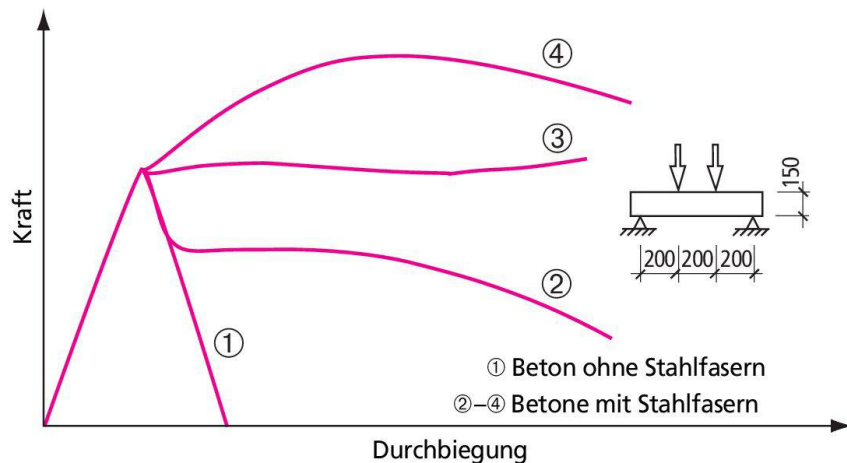
Stahlfaserbetone unterscheiden sich von unbewehrten Betonen vor allem beim Überschreiten der Rissfestigkeit: Statt eines spröden haben sie ein duktileres Materialverhalten, das

durch das Arbeitsvermögen (Fläche unter Lastverformungskurve) dargestellt werden kann. Illustriert ist dies in *Abbildung 2* anhand von Biegezugversuchen [1]: Betone ohne Fasern versagen relativ schnell nach dem Erreichen der Reissfestigkeit (Kurve 1). Bei Stahlfaserbetonen (Kurven 2–4) hängt der Kurvenverlauf stark vom Fasertyp und -gehalt ab. Die Last fällt ab, wenn der Fasergehalt zu klein ist, der Verbund Fasern–Mörtelmatrix schlecht ist oder die Fasern reißen (Kurve 2). Enthält der Beton Fasern in ausreichender Menge und mit hohem Auszieh- und Widerstand, kann die Last nach dem Überschreiten der Rissdehnung sogar zunehmen (Kurve 4). Stahlfaserbewehrte Bauteile versagen in der Regel durch das Heraus-

ziehen der Fasern. In speziellen Fällen (lange, fest eingebettete Fasern, hochfeste Betone) können die Fasern auch reißen [6].

Vorteilhaft ist die risshemmende und rissüberbrückende Wirkung von Stahlfasern. So wurden beispielsweise die Rissbreiten bei Konstruktionsbetonen mit 0,38 Vol.-% Stahlfasern um mehr als 50 % vermindert. Der Anteil der Mikrorisse an der Verformung war grösser als bei Stahlbetonen, zudem nahm die Zahl der Risse zu, während ihr Abstand kleiner wurde. Die Durchlässigkeit gegenüber Wasser verringerte sich stark [9].

Intakte Stahlfaserbetone korrodieren in der Regel nur an der Oberfläche (braune Flecken), selbst unter Chlорideinwirkung oder bei Karbonatisierung des Betons. In gerissenen Stahl-



**Abb. 2** Biegezugversuche an Stahlfaserbetonen (nach [1]).

Bauteile	Art der Belastung	Ersatz der Bewehrung	Eigenschaften, deren Verbesserung gewünscht wird				
			Zugfestigkeit	Arbeitsvermögen	Verschleisswiderstand	Reduktion der Bauteildicke	Rissbreitenbeschränkung
Betonrohre	statisch	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Bunkerwände	Impuls	nein	nein	ja	nein	nein	ja
Fassadenelemente	statisch	ja	ja	bedingt	nein	ja	ja
Fertigteilstufen	statisch	bedingt	bedingt	bedingt	ja	ja	ja
Fertigteilschächte	statisch	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Flugplätze	stat./dyn.	ja	ja	bedingt	ja	bedingt	ja
Garagenzellen	statisch	bedingt	bedingt	bedingt	ja	ja	ja
Hangsicherungen	statisch	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Industriefussböden	statisch	ja	ja	bedingt	ja	ja	ja
Lasteinleitungsstellen	statisch	bedingt	ja	ja	nein	bedingt	ja
Maschinenfundamente	stat./dyn.	nein	bedingt	ja	nein	nein	ja
Rammpfähle	dynamisch	nein	bedingt	ja	nein	nein	bedingt
Reaktordruckbehälter	stat./dyn.	nein	nein	ja	ja	nein	ja
Schalentragwerke	statisch	bedingt	ja	bedingt	bedingt	ja	ja
Schalung (verlorene)	statisch	bedingt	ja	nein	nein	ja	ja
Schiffe	stat./dyn.	bedingt	ja	ja	ja	ja	ja
Spritzbetonsicherung – Bergbau – Tunnelbau	statisch statisch	bedingt bedingt	ja ja	ja ja	nein nein	ja ja	bedingt ja
Stahl-/Spannbetonträger	statisch	nein	bedingt	nein	nein	bedingt	ja
Stein-/Lawinenschutz	stat./dyn.	bedingt	ja	ja	ja	bedingt	bedingt
Strassenbeläge	stat./dyn.	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Tresore	dynamisch	nein	nein	ja	nein	ja	bedingt
Tübbings	statisch	bedingt	ja	bedingt	bedingt	ja	ja
Verbundstützen	statisch	ja	ja	nein	nein	nein	ja
Wassertanks	statisch	bedingt	ja	ja	nein	ja	ja
Wellenbrecher	dynamisch	ja	ja	ja	ja	bedingt	bedingt

Tab. 2 Einsatzbereiche von Stahlfaserbeton (nach [1]).

faserbetonen genügt dagegen eine relativ kleine Chloridkonzentration, um Korrosion auszulösen. Korrosionsbedingte Abplatzungen treten in Stahlfaserbetonen nicht auf [10]. Stahlfasern erhöhen die Grünstand- und die Frühfestigkeit von Betonen [6] (steife Betonkonsistenz). Weitere positive Auswirkungen von Fasern auf die Festbetoneigenschaften lassen sich auch aus *Tabelle 2* ableiten.

### Anwendungen von Stahlfaserbetonen

Hauptanwendungen von in Schalung eingebrachtem Stahlfaserbeton sind Industrieböden, Strassen, Flugpisten und Betonfertigteile (Tübbings, Rohre...). Stahlfaserspritzbetone haben sich bewährt bei

- Sicherungsmassnahmen im Tiefbau
- Sicherungsmassnahmen im Untertagebau
  - Felssicherung (Kopfschutz)

– Ausbruchsicherung (Ersatz oder Ergänzung von Spritzbeton mit Bewehrungsnetzen)

- Instandsetzung von Betontragwerken.
- Stahlfasern verbessern den Verschleisswiderstand gegenüber gleitenden und v.a. gegenüber stossenden Beanspruchungen von Betonen. Signifikante Verbesserungen des Stossverschleisswiderstands traten mit 1,0 Vol.-% Stahlfasern auf [11].

Angaben	Beispiele	
Betonsorte (Bezeichnung gemäss Norm SIA 162 [12])	Stahlfaserbeton SFB 40/30	Stahlfaserspritzbeton SF5B 40/30
Zementsorte plus minimaler Zementgehalt <sup>1)</sup>	CEM I ... kg/m <sup>3</sup>	CEM I ... kg/m <sup>3</sup>
Stahlfaserbezeichnung/Länge $l_f$ /Durchmesser $d_f$ und Fasergehalt $C_f$ (vorgeschriebene Mischung) oder Rechenwert der Biegezugfestigkeit $f_{ctf}$ (Entwurfsmischung) bzw. Rechenwert der Bruchenergie $G_f$ (Entwurfsmischung)	Fasertyp / $l_f = \dots$ mm/ $d_f = \dots$ mm $C_f = \dots$ kg/m <sup>3</sup> $f_{ctf} = \dots$ N/mm <sup>2</sup> $G_f = \dots$ N/m	Fasertyp / $l_f = \dots$ mm/ $d_f = \dots$ mm $C_f = \dots$ kg/m <sup>3</sup> $f_{ctf} = \dots$ N/mm <sup>2</sup> $G_f = \dots$ N/m
Grösstkorndurchmesser der Zuschlagstoffe ( $d_{max}$ )	$d_{max} = \dots$ mm	$d_{max} = \dots$ mm
allenfalls geforderte besondere Eigenschaften	frostausalzbeständig	frostbeständig

<sup>1)</sup> bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Trockengemisch aus Zuschlagstoffen, Zement, Stahlfasern und Zusatzstoffen bei Trockenspritzbeton bzw. auf 1 m<sup>3</sup> verdichteten Beton bei übrigen Betonarten

Tab. 3 Bezeichnung von Stahlfaserbetonen und Stahlfaserspritzbetonen [6].

Weitere mögliche sinnvolle Anwendungen von Stahlfaserbeton sind gemäss [6]: Maschinenfundamente, Biegedruckzonen, Druckglieder, Krafteinleitungsbereiche sowie Betonpfähle. Eine ausführlichere Zusammenstellung der Einsatzbereiche von Stahlfaserbetonen ist in *Tabelle 2* enthalten.

### Klassifikation und Bezeichnung

Es wird unterschieden zwischen in der Schalung hergestelltem Stahlfaserbeton (SFB) und Stahlfaserspritz-

beton (SFSB). Bei SFB kann es sich um

- stahlfaserverstärkten Beton,
- stahlfaserverstärkten Stahlbeton oder
- stahlfaserverstärkten Spannbeton handeln [6]. Die für die Bezeichnung von Betonen erforderlichen Angaben sind in *Tabelle 3* zusammen mit Beispielen aufgeführt [6].

### Ausgangsstoffe und Herstellung

Die Anforderungen an die Ausgangsstoffe sind grösstenteils die gleichen wie bei Betonen ohne

Stahlfasern. Die wichtigsten sind in *Tabelle 4* zusammengefasst.

Die Mischvorschriften entsprechen weitgehend denjenigen unbewehrter Betone [12]:

- Die Verteilung und Durchmischung aller Bestandteile muss gleichmässig sein.
- Die Nassmischdauer muss mindestens 1 min betragen.
- Nach oder kurz vor beendeter Mischung darf kein zusätzliches Wasser mehr beigegeben werden.
- Wenn Zusätze verwendet werden, muss die Mischdauer gemäss Angaben der Hersteller erhöht werden.
- Für Faserbetone gilt zudem [6]:
  - Die Mischzeit nach Zugabe aller Stoffe beträgt mindestens 2 Minuten/Charge.
  - Stahlfasern dürfen nur in Ausnahmefällen in Fahrmischern zugegeben werden. Pro m<sup>3</sup> Beton muss – wie sonst auch – eine Minute gemischt werden, mindestens aber 5 Minuten.
  - Überlange Mischzeiten müssen jedoch vermieden werden (Gefahr, dass Fasern verklumpen, «Igelbildung»).
  - Bei Stahlfaserstreifen ist die Mischzeit so zu wählen, dass die Fasern vereinzelt werden.

## LITERATUR

- [1] **Maidl, B.**, «Stahlfaserbeton», Ernst & Sohn Verlag, Berlin (1991).
- [2] ACI Committee 544: «State-of-the-art report on fiber reinforced concrete», 66 pages (1996).
- [3] ACI Committee 544: «Guide for specifying, proportioning, mixing, placing, and finishing steel fibre reinforced concrete», 10 pages (1993).
- [4] ACI Committee 544: «Design considerations for steel fibre reinforced concrete», 18 pages (reapproved 1994).
- [5] ACI Committee 506: «State-of-the-art report on fiber reinforced shotcrete», 13 pages (reapproved 1995).
- [6] Empfehlung SIA 162/6: «Stahlfaserbeton» (Ausgabe 1999).
- [7] **Hermann, K.**, «Stahlfaserbeton», Cementbulletin 60 [7], 1–8 (1992).
- [8] **Teutsch, M.**, «Anwendung von Faserbeton in Beton- und Fertigteilwerken», Betonwerk + Fertigteil-Technik 63 [10], 84–89 (1997).
- [9] **Winterberg, R.**, «Einfluss von Stahlfasern auf die Durchlässigkeit von Beton», Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 483, 71–135 (1997).
- [10] **Schiessl, P., et al.**, «Korrosion von Stahlfasern in gerissenem und ungerissenem Stahlfaserbeton», Forschungsbericht F 516, Institut für Bauforschung Aachen (1998).
- [11] **Höcker, T.**, «Einfluss von Stahlfasern auf das Verschleissverhalten von Betonen unter extremen Betriebsbedingungen in Bunkern von Abfallbehandlungsanlagen», Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 468, 73–170 (1996).
- [12] Norm SIA 162: «Betonbauten» (Ausgabe 1993).
- [13] Norm SIA 215.002: «Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Teil 1: Allgemein gebräuchlicher Zement», Ausgabe 1993.

Nach der Zugabe von Stahlfasern und Hochleistungsbetonverflüssigern (HBV) sollte das Ausbreitmass 550 mm nicht übersteigen. In luftporhaltigen Betonen kann die Porenstruktur beeinflusst werden.

### Verarbeitung und Nachbehandlung

Die Verarbeitung von Stahlfaserbetonen erfolgt weitgehend analog zur Verarbeitung von Beton nach

Norm SIA 162 [12]. Zu beachten ist die steifere Konsistenz der Stahlfaserbetone. Zum Verdichten werden Aussenvibratoren (Schalungsrüttler) empfohlen; vom Einsatz von Nadelvibratoren (Innenrüttlern) wird im Allgemeinen abgeraten [8].

Auch bei Stahlfaserspritzbetonen sind die Unterschiede zu faserfreiem Material nicht gross. Der Spritzvorgang ist analog. Zu beachten ist, dass

der Fasergehalt im Festbeton um 20 bis 50 % sinken kann. Höhere Faserverluste sind besonders beim Trockenspritzverfahren und bei geringen Schichtdicken zu erwarten. Zu beachten ist, dass sich die Fasern durch den Spritzvorgang teilweise parallel zur Spritzfläche ausrichten [6].

Die Nachbehandlung von stahlfaserhaltigen Betonen kann nach Norm SIA 162 [12] erfolgen. Spezielle Massnahmen wie wasserzuführende Verfahren können bei dünnen Stahlfaserspritzbeton-Schichten erforderlich sein [6].

**Was noch in den Normen steht**  
In weiteren Kapiteln werden in der Empfehlung SIA 162/6 behandelt [6]:

- Berechnung und Bemessung (Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit)
- Prüfungen und Kontrollen
- Leistungen und Ausmass (u. a. Eigenschafts- und Qualitätsprüfungen)
- Belastungsversuche (Versuche zur Ermittlung der Rechenwerte der wirksamen Biegezugfestigkeit und Bruchenergie).

Kurt Hermann, TFB

Anforderungen	
Zemente	Portlandzemente (CEM I) gemäss Norm SIA 215.002 [13] Wenn für spezielle Zwecke andere Bindemittel vorgesehen sind, muss deren Eignung in systematischen, schlüssigen Vorversuchen nachgewiesen werden.
Zuschlagstoffe	Es gilt Norm SIA 162 [12]. <i>Kornformen:</i> vorteilhaft gerundete, gedrungene Kornformen (besonders bei Fraktionen $\leq 2,0$ mm). <i>Grösstkorndurchmesser</i> – üblich bis 16 mm (SFB) – bei SFSB wird 8 mm empfohlen – Formfaktoren und/oder hohe Fasergehalte können Beschränkung auf 4 mm erfordern. <i>Korngehalte</i> – Korndurchmesser $< 0,125$ mm: $\geq 350$ kg/m <sup>3</sup> [12] – Korndurchmesser $< 0,25$ mm: $\geq 380$ kg/m <sup>3</sup> (bei höheren Fasergehalten) [5] – Korndurchmesser $\leq 3$ mm: 560–630 kg/m <sup>3</sup> [8]
Anmachwasser	Es gilt Ziffer 5 14 3 der Norm SIA 162 [12].
Zusatzmittel und Zusatzstoffe	Es gilt Ziffer 5 14 4 der Norm SIA 162 [12]. Stahlfasern gelten nicht als Zusatzstoffe.
Stahlfasern	<i>Charakterisierung</i> üblicherweise über Produktebezeichnung. <i>Vom Hersteller zu machende Angaben:</i> – Herstellungsart – Lieferform (lose, geklebt) – Fasergeometrie (Durchmesser bzw. äquivalenter Durchmesser $d_f$ , Länge $l_f$ , Form, spezielle Eigenschaften und Toleranzen) – Zugfestigkeit <i>Oberfläche</i> frei von Rost und von Stoffen, die den Haftverbund zwischen Fasern und Festbeton beeinträchtigen.

Tab. 4 Anforderungen an Ausgangsstoffe für Stahlfaserbetone und Stahlfaserspritzbetone [6].