

edition beton



Monika Helm

Stahlfaserbetone in der Praxis

VERLAG



BAU+TECHNIK

Monika Helm
Stahlfaserbetone
in der Praxis
Herstellung, Verarbeitung,
Überwachung

VLB-Meldung

Helm, Monika:

Stahlfaserbetone in der Praxis

Herstellung, Verarbeitung, Überwachung

Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2014

ISBN 978-3-7640-0560-3

© by Verlag Bau+Technik GmbH
Gesamtproduktion: Verlag Bau+Technik GmbH,
Postfach 12 01 10, 40601 Düsseldorf
www.verlagbt.de

Druck: B.o.s.s Druck und Medien GmbH, 47561 Goch

Monika Helm

Stahlfaserbetone in der Praxis

Herstellung, Verarbeitung,
Überwachung

Die Inhalte und Lösungsvorschläge in diesem Buch sind nach bestem Wissen zusammengestellt. Hinsichtlich der Anwendung der Inhalte kann vom Autor jedoch keine Gewähr übernommen werden. Das Buch ersetzt nicht die projektbezogene Planungsleistung. Sie entbindet nicht von der Pflicht zur Prüfung der Normvorgaben und ihrer Gültigkeit für den jeweiligen Anwendungsfall. Die Anwendung der Inhalte und Lösungsvorschläge berechtigt zu keinerlei Regressansprüchen gegenüber dem Autor.

Inhaltsverzeichnis

Die wichtigsten verwendeten Formelzeichen	8
1 Einleitung	11
2 Einleitung zur DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“	12
2.1 Allgemeines.....	12
2.2 Aufbau der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“	13
2.3 Anwendungsbereiche	14
3 Geschichtlicher Abriss	18
4 Anwendungsgebiete	24
5 Übersicht der verwendbaren Fasern	28
5.1 Allgemeines.....	28
5.2 Faserarten	28
5.3 Normative Grundlagen.....	32
5.3.1 Systeme der Konformitätsbescheinigung.....	34
5.3.2 Übereinstimmungszeichen	35
5.4 Stahlfasern	36
5.4.1 Formen	37
5.4.2 Wirkung der Fasern im Beton	43
5.4.3 Prüfungen der Fasern	49
5.4.4 Kennzeichnung der Stahlfaser	53
5.4.5 Werkseigene Produktionskontrolle für Stahlfasern beim Hersteller	55
5.5 Kunststofffasern.....	56
6 Stahlfaserbeton	60
6.1 Eigenschaften (Expositionsklassen, Korrosion, Rissbildung).....	61
6.2 Ausgangsstoffe	65
6.3 Leistungsfähigkeit der Stahlfaserbetone	68
6.4 Festlegung des Betons.....	71
6.4.1 Beton nach Eigenschaften.....	73
6.4.2 Beton nach Zusammensetzung	74
6.4.3 Beton mit Stahlfasern	75
6.5 Festlegungen bei Stahlfaserbeton.....	76

7	Prüfungen bei Faserbetonen	78
7.1	Prüfung des Fasergehalts	78
7.2	Prüfung des Fasergehalts am Frischbeton	78
7.2.1	Auswaschversuch nach DAfStb-Richtlinie	78
7.2.2	Induktives Verfahren gemäß DAfStb-Richtlinie [15], [16]	80
7.2.3	Fasergehaltsbestimmung nach DIN EN 14721	82
7.2.4	Fasergehalt gemäß Richtlinie „Faserbeton“ der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik e.V. [62]	82
7.2.5	Fasergehalt am Festbeton gemäß SIA 162/6 „Stahlfaserbeton“ des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins [76]	83
7.2.6	Fasergehaltsbestimmung bei faserverstärkten Spritzbetonen nach DIN EN 14488-7	83
7.2.7	Weitere Verfahren zur Ermittlung des Fasergehalts	84
7.2.8	Zusammenfassung zur Fasergehaltsbestimmung bei Frischbeton	86
7.3	Prüfungen des Fasergehalts am Festbeton	86
7.3.1	Induktives Prüfverfahren zur Fasergehaltsbestimmung am Festbetonen	86
7.3.2	Fasergehalt im Festbeton gemäß DIN EN 14721	90
7.3.3	Fasergehalt gemäß Richtlinie „Faserbeton“ der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik e.V. [62]	90
7.3.4	Fasergehalt am Festbeton gemäß SIA 162/6 „Stahlfaserbeton“ des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins [76]	90
7.3.5	Fasergehalt bei faserverstärkten Spritzbetonen nach DIN EN 14488-7	91
7.3.6	Zusammenfassung zur Ermittlung des Fasergehalts am Festbeton	91
7.4	Prüfungen zur Faserorientierung	91
7.5	Nachrissbiegezugfestigkeit	91
7.5.1	Nachrissbiegezugfestigkeitsprüfung nach DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [15], [16]	93
7.5.2	Äquivalente Biegezugfestigkeit und Biegezugfestigkeit nach Richtlinie „Faserbeton“ der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik e.V. [62]	99
7.5.3	Belastungsversuche nach SIA 162/6 „Stahlfaserbeton“ des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins [76]	100
7.5.4	Biegefestigkeiten nach DIN EN 14488-3 bei Spritzbetonen	102
7.5.5	Zusammenfassung zur Ermittlung nach Biegezugfestigkeiten	103
7.5.6	Fehlerquellen bei der Auswertung der Kurvenverläufe	104
8	Erstprüfung für Stahlfaserbetone	106
8.1	Allgemeine Hinweise	106
8.2	Mischungsberechnung	106
8.3	Umfang der Erstprüfung	110
8.3.1	Frischbetoneigenschaften bei der Erstprüfung	118
8.3.2	Festbetoneigenschaften bei der Erstprüfung	119
8.4	Festlegung der Leistungsklassen	120
8.5	Interpolation und Extrapolation zur Ermittlung von Erstprüfergebnissen	124
8.6	Zusammenfassung „Erstprüfung“	128

9	Herstellung von Stahlfaserbeton	130
9.1	Ausstattung einer Mischanlage	130
9.1.1	Lagerung der Ausgangsstoffe.....	131
9.1.2	Mischer	131
9.1.3	Dosiereinrichtungen	132
9.2	Werkseigene Produktionskontrolle	140
9.3	Konformitätskontrolle.....	144
9.4	Preislisten.....	147
10	Verwendung	148
10.1	Bestellung	148
10.2	Lieferung	150
10.3	Verarbeitung auf der Baustelle.....	151
10.4	Qualitätssicherung	152
11	Anwendungen	156
11.1	Vergleich der Regelungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz	156
11.2	Stahlfaserbeton mit besonderen betontechnologischen Anforderungen	163
11.3	Einsatzmöglichkeiten bei Betonen im Geltungsbereich des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG)	164
11.4	Fertigteile nach Norm	166
11.5	Beton nach den ZTV's	167
11.6	Stahlfaserspritzbeton	169
11.7	Weitere Anwendungen.....	170
Anhang A		
	Beispiel für eine Leistungserklärung	172
Anhang B		
	Bestimmung der Leistungsklassen mit sechs Biegebalken bei $L_2/L_1 < 0,7$ (Beispiel 1)	174
Anhang C		
	Bestimmung der Leistungsklassen mit neun Biegebalken bei $L_2/L_1 < 0,7$ (Beispiel 2).....	179
Anhang D		
	Bestimmung der Leistungsklassen mit neun Biegebalken bei $L_2/L_1 > 0,7$ (Beispiel 3)	183
Anhang E		
	Bestimmung der Leistungsklassen mit sechs Biegebalken bei $L_2/L_1 > 1,0$ (Beispiel 4)	187
Anhang F		
	Interpolation bei gleichem Beton und unterschiedlicher Fasermenge	189
	Literaturverzeichnis	193
	Verwendete Normen	195
	Quellennachweis der Bilder	198

Die wichtigsten verwendeten Formelzeichen

\overline{mf}	mittlerer Stahlfasergehalt in kg/m^3
BZ	Biegezugfestigkeitsklasse
C_f	Fasergehalt der Probe in kg/m^3
d	mittlerer Faserdurchmesser in mm
d_m	mittlerer Faserabstand in mm
D_{\max}	Größtkorn der Gesteinskörnung in mm
$F_{0,5,i}$	Kraft in N bei einer Durchbiegung von 0,5 mm
$F_{3,5,i}$	Kraft in N bei einer Durchbiegung von 3,5 mm
$f_{\text{ck, cube}}$	charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Würfeln in N/mm^2
$f_{\text{ck, cyl}}$	charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Zylindern in N/mm^2
$f_{\text{eq, ctk, i}}$	charakteristischer Wert der äquivalenten Zugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm^2
$f_{\text{eq, ctm, i}}$	äquivalente mittlere Zugfestigkeit zur Einstufung in die Faserbetonklassen für Verformungsbereich i in N/mm^2
f_{eqkui}	Mindestwert der charakteristischen äquivalenten Biegezugfestigkeit in N/mm^2
$f_{\text{flk, i}}^f$	charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm^2
$f_{\text{ctfm, i}}^f$	mittlere Nachrissbiegezugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm^2
$f_{\text{ctO, Li}}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrissbiegezugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm^2
$f_{\text{ct0, s}}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrissbiegezugfestigkeit bei Verwendung von Stabstahl in N/mm^2
$f_{\text{ct0, ui}}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrissbiegezugfestigkeit bei Verwendung des Spannungsblocks in N/mm^2
$f_{\text{ftk, fi}}$	charakteristische Biegezugfestigkeit in N/mm^2
Fi	Faserbetonklasse i
g	Gesteinskörnungsmenge in kg
G	Faserbetonklasse für Gebrauchstauglichkeit
i	Balkennummer
k_s	Fraktilenfaktor

$L f_{\text{cfm},Li}^f$	Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse $f_{\text{cfm},Li,i}^f$ für Verformungsbe- reich i in N/mm^2
l, b, h	Abmessungen der Probekörper in mm
l_f	Faserlänge in mm
Li	Leistungsklasse i
Ls	Standardabweichung der logarithmierten Einzelprüfergebnisse
$m_{f,i}$	Stahlfasergehalt der Teilprobe i in kg
$M_{f,i}$	Masse der Stahlfaser der Teilprobe i in kg
$m_{f,\text{min}}$	Mindestmenge des Stahlfasergehalt in kg/m^3
n	Probenanzahl
p	Luftporenanteil in dm^3
sf	Stahlfasermenge in kg
T	Faserbetonklasse für Tragfähigkeit
$U\dots$	Injektionsspannung in V
V_c	Volumen der Probe in m^3
V_d	Volumen der Frischbetonprobe in m^3
V_f	Nominalwert des Fasergehalts in kg/m^3
$V_{\text{fb},i}$	Volumen des einzelnen Teilproben in m^3
V_{Gesamt}	Volumen des Probekörpers in m^3
V_{Wasser}	Volumen des zugegebenen Wassers in m^3
w	Wassermenge in kg
z	Zementmenge in kg
β	Beiwert zur Ermittlung der Grundwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeit
β_{Li}	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestig- keit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse i bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie
β_u	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestig- keit des Stahlfaserbetons bei Verwendung des rechteckigen Spannungs- blocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit
β_s	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestig- keit des Stahlfaserbetons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung
δ_i	Durchbiegung nach DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“ in mm

δ_{ii}	Durchbiegung nach DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ in mm
K_v	Beiwert zur Berücksichtigung des Variationskoeffizienten
λ	Schlankheitsgrad der Faser
ρ_g	Rohdichte der Gesteinskörnung in kg/dm ³
ρ_{sf}	Rohdichte der Stahlfasern in kg/dm ³
ρ_w	Rohdichte des Wassers in kg/dm ³
ρ_z	Rohdichte des Zements in kg/dm ³

1 Einleitung

Aus dem ursprünglichen Drei-Stoff-System des Betons mit Gesteinskörnungen, Zement und Wasser ist durch Hinzukommen von Zusatzmittel und Zusatzstoffen ein Fünf-Stoff-System geworden.

Legt man Bewehrungsstahl in den Beton, wird aus dem unbewehrten Beton bewehrter Beton bzw. Stahlbeton. Heute können dies Stahlfasern bei einer Reihe von Anwendungen sein, d.h. eine „Stahleinlage“ kann direkt in den Betonmischer oder Fahrmischer gegeben werden, sodass die Bewehrung mit dem Fahrmischer auf die Baustelle kommt. Eine geniale Idee, die aber noch nicht in vollem Umfang genutzt wird, im Vergleich zu anderen Betonen. Für den Hausbauer werden die Vorteile von Stahlfaserbeton als „fertig armierter Beton“ u.a. in [57] beschrieben.

Die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [16] hat lange auf sich warten lassen, ist seit dem Jahre 2011 bauaufsichtlich eingeführt und kann angewendet werden. Die Anforderungen, die sich für den Betonhersteller und den Verwender von Stahlfaserbeton ergeben, werden in den folgenden Ausführungen zusammengefasst und erläutert.

Die Ausführungen sollen Herstellern und Verwendern Hinweise geben und zeigen, welche Schritte unternommen werden müssen, um einen Stahlfaserbeton nach DAfStb-Richtlinie anbieten und einsetzen zu können.

Auch der Planende erhält Informationen darüber, wie beim Stahlfaserbeton Betonhersteller und Anwender arbeiten und welche Informationen der Betonhersteller benötigt, sodass ein Stahlfaserbeton nach DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ hergestellt, geliefert und eingebaut werden kann. Denn bereits in der Planungsphase werden Entscheidungen getroffen, die wichtige Grundlagen für den Einsatz eines Stahlfaserbetons nach DAfStb-Richtlinie sind.

Dargestellt und erläutert wird die Schnittstelle zwischen allen Beteiligten: Planer, Betonlieferant und Bauunternehmen. So sollte es mithilfe des vorliegenden Buchs möglich werden, dass Betonlieferanten – wenn Stahlfaserbetone unter Angabe von Leistungsklassen ausgeschrieben sind – Beton mit den entsprechenden Eigenschaften anbieten können, ohne den Ausschreibenden nach den Stahlfasermengen zu fragen, die dem Beton zuzugeben sind.

Die Ausarbeitungen in diesem Buch basieren auf der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ Ausgabe 03/2010. Berücksichtigt wurde ebenfalls der Entwurf der Überarbeitung der Richtlinie mit Stand 07/2012 [15]. Dieser Entwurf ist im Bemessungsteil dem Eurocode 2 (DIN EN 1992-1-1 NA) angepasst und die Teile 2 und 3 sind in einigen Details korrigiert worden, die sich aus der praktischen Umsetzung der Richtlinie des Jahres 2010 ergeben haben und auch den Bearbeitungsstand der Überarbeitung der EN 206 (02/2012) berücksichtigen.

2 Einleitung zur DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

2.1 Allgemeines

Die Normenwerke für Beton wie die DIN EN 1992-1-1, die DIN EN 206-1, die DIN EN 13670 sowie die entsprechenden nationalen Anwendungsnormen der DIN 1045 ff und die weiterführenden Richtlinien des Betonbaus beziehen sich auf die Entwicklung der letzten Jahrzehnte in der Betontechnik. So begann die nennenswerte Zugabe von Zusatzstoffen erst in den sechziger Jahren, doch durch findige Ideen und dann folgende intensive Forschungstätigkeit wurden die Möglichkeiten – u.a. Flugasche dem Beton zuzugeben – deutlich ausgeweitet. Zunächst waren dazu allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen sowohl für die Flugasche als auch für die Betonzusammensetzung erforderlich. Heute gehört der Einsatz von Betonzusatzstoffen zum Alltag in der Betontechnologie und bedarf nur noch in Ausnahmefällen bauaufsichtlicher Zulassungen, da viele Erfahrungen aus der Praxis in die Normung des Betonbaus eingeflossen sind, z.B. in DIN EN 450 ff.

Eine ähnliche Entwicklung vollzog bzw. vollzieht sich bei den Fasern. Aus den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist eine Stoffnorm für Fasern in mehreren Teilen entstanden, die DIN EN 14889ff. In dieser Norm sind im Teil 1 Begriffe, Festlegungen und Konformität zu Stahlfasern geregelt und im Teil 2 Begriffe, Festlegungen und Konformität zu Kunststofffasern.

Die Stahlfasern können nach den Festlegungen der Norm als Betonausgangsstoff eingesetzt werden. Für den Einsatz von Fasern nach Teil 2 sind in Deutschland noch bauaufsichtliche Zulassungen für die Verwendung im statisch relevanten Bereich erforderlich.

Im derzeitigen Regelwerk der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist nur das Zumischen von Fasern, die DIN EN 14889ff entsprechen, möglich. Die Fasern werden heute nicht mehr zu den Zusatzstoffen gezählt, sondern werden als eigener Betonausgangsstoff geführt. Damit ist der Beton von einem „Drei-Stoff-System“ über ein „Fünf-Stoff-System“ zu einem „Sechs-Stoff-System“ geworden.

Die Bemessung und Qualitätssicherung bei der Herstellung und Anwendung im Betonbau sind im weitesten Sinne nicht in einer Anwendungsnorm für Stahlfaserbeton geregelt. Die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ greift dies auf und beschreibt für eine Vielzahl von statisch relevanten Bauteilen die Anwendungsregeln. Hierbei werden die Eigenschaften genutzt, die durch die Stahlfasern im Beton erreicht werden können. Im Bild 2.1 ist anschaulich dargestellt, wie der Belastungsdehnungsverlauf von einem Beton, Stahlbeton und einem Stahlfaserbeton im Allgemeinen aussehen kann.

Ausführlich werden die Anwendungen und Grundlagen in den folgenden Abschnitten beschrieben.

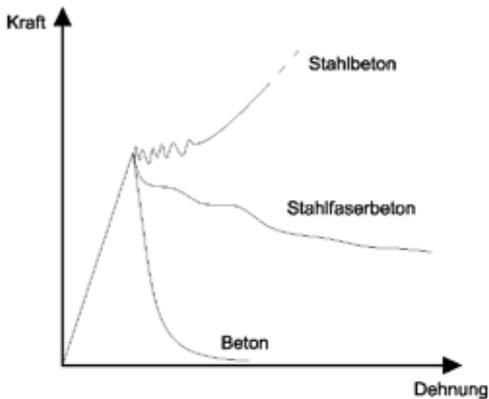


Bild 2.1: Kraft-Dehnungs-Diagramm für verschiedene Betonarten [91]

Auf der Grundlage des DBV-Merkblatts „Stahlfaserbeton“ des Jahres 2001 [22] und den Erfahrungen aus den Bauteilzulassungen wurde die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [16] erarbeitet. Die Bauteilzulassungen wurden bis zum Erscheinen der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ auf der Grundlage des erwähnten DBV-Merkblatts [22] erstellt. Zum besseren Verständnis und für Auslegungsfragen wurde im Jahre 2004 noch eine Beispielsammlung für Stahlfaserbetonbauteile erarbeitet [19]. In der genannten Beispielsammlung wurden Anwendungsfälle, u.a. für Einfeldbalken, Durchlaufträger, Deckenplatte, Bodenplatte, querkraftbeanspruchter Plattenbalken, Tunnelinnenschale, Kellersohlplatte sowie Kelleraußenwände ausführlich beschrieben und Festlegungen für die Stahlfaserbetone nach DBV-Merkblatt aufgeführt und erläutert.

Die erarbeiteten Bauteilzulassungen lagen zu diesem Zeitpunkt für Bodenplatten, Wände, Fertigaragen und vorgespannte Balken und Träger vor. Die bauaufsichtliche Einführung der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ im Jahre 2011 ermöglicht nun, dass die Anwendung in Bodenplatten und Wänden nicht mehr in Zulassungen geregelt sein müssen. In [16] wird auf die Erfahrungen aus den Bauteilzulassungen eingegangen.

Die technischen Regeln zum Stahlfaserbeton erschließen diesem Baustoff weite Anwendungsfelder. Die Umsetzung in die Praxis wird lediglich durch Unsicherheiten vieler planender und bemessender Ingenieure gehemmt.

2.2 Aufbau der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

Die Mehrzahl der Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) sind so aufgebaut, dass die Änderungen und Ergänzungen gegenüber den derzeit gültigen Regelwerken DIN EN 1992-1-1 (DIN 1045-1), DIN EN 206-1/DIN 1045-2 sowie DIN EN 13670/DIN 1045-3 in einer Dreiteilung von Bemessung, Herstellung und Bauausführung zusammengefasst werden.



Bild 2.2: System Europäischer Normen als Grundlage für Bemessung, Ausführung und Baustoffwahl für Betonbauwerke (Hauptkomponenten)

Im Hinblick auf die Umsetzung des europäischen Normenwerks (Bild 2.2) zum Betonbau ist eine Anpassung der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ an diese Normen bereits in Vorbereitung [15]. Die Dreiteilung in der Richtlinie [16] bleibt dabei, aufbauend auf DIN EN 1992-1-1 NA, DIN EN 206 sowie DIN EN 13670, erhalten. Die Regelungen aus den bisher vorliegenden und bauaufsichtlich eingeführten europäischen Normen (DIN EN 1992-1-1 NA) sind bereits in dem neuen Entwurf zur Überarbeitung der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [15] berücksichtigt.

2.3 Anwendungsbereiche

In der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ wird der Anwendungsbereich in den Einleitungen zu den Teilen 1 und 2 angegeben. In der Richtlinie geregelt sind die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus mit Stahlfaserbeton sowie die Kombinationsmöglichkeiten von Stahlfaserbewehrung und Betonstahlbewehrung.

Die Richtlinie kann auch angewendet werden für nichttragende Bauteile, wenn dies vertraglich vereinbart wird. Dazu können auch die Industrieböden zählen [52], die heute in der Mehrzahl der Anwendungen nach der TR 34 [12] bemessen werden.

Die Richtlinie schließt ihre Anwendung aus für Bauteile aus:

- vorgespanntem Stahlfaserbeton,
- gefügedichtem und haufwerksporigem Leichtbeton,
- hochfestem Beton der Druckfestigkeitsklassen ab C55/67,
- Stahlfaserbeton ohne Betonstahlbewehrung in den Expositionsklassen XS2, XD2, XS3 und XD3, bei denen die Stahlfasern rechnerisch in Ansatz gebracht werden,
- selbstverdichtendem Beton,
- Beton nach Zusammensetzung,
- Standardbeton sowie
- Stahlfaserspritzbeton.

Einige Bauteile, die auch über die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ abgedeckt wären, sind noch in Zulassungen (Tafel 2.1) geregelt, die diesen Bauteilen teilweise über den von der Richtlinie abgedeckten Bereich hinausgehende Anwendungen ermöglicht.

Für vorgespannte Bauteile aus Stahlfaserbeton existieren im Moment mehrere Zulassungen, die in der folgenden Tabelle Tafel 2.2 zusammengefasst sind.

Tafel 2.1: Zulassungen – Wände aus Stahlfaserbeton (Stand: März 2013)

Zulassungs-Nr.	Zulassungsinhaber	zugelassenes Bauteil	Geltungsdauer
Z-71.2-30	ArcelorMittal Bissen Rte de Finsterthal 7769 Bissen Luxemburg	Kellerwände aus Stahlfaserbeton	Z: 30.05.2006 G: 01.04.2014
Z-71.2-32	Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG Max-Bögl-Straße 1 92369 Sengenthal	Brandwände aus Stahlfaserbeton	Z: 20.06.2008 G: 30.06.2013
Z-71.2-33	Cemex Deutschland AG Ingenieurdienstleistungen Daniel-Goldbach Straße 25 40880 Ratingen	Kellerwände aus Cemex-Stahlfaserbeton	Z: 24.10.2008 G: 01.04.2013

Tafel 2.2: Zulassungen – Vorgespannte Bauteile aus Stahlfaserbeton (Stand: März 2013)

Zulassungs-Nr.	Zulassungsinhaber	zugelassenes Bauteil	Geltungsdauer
Z-71.3-27	Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG Max-Bögl-Straße 1 92369 Sengenthal	Stahlfaserverstärkte Spannbeton-Balken mit Rechteck- oder Trapezquerschnitt	Z: 22.03.2007 G: 30.06.2015
Z-71.3-31	Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG Max-Bögl-Straße 1 92369 Sengenthal	Stahlfaserverstärkte Spannbeton-Binder	Z: 21.11.2012 G: 01.05.2017
Z-71.3-33	Rekers Betonwerk GmbH & Co. KG Portlandstraße 15 48480 Spelle	Vorgespannte Binder aus Stahlfaserbeton	Z: 25.09.2008 G: 30.09.2013
Z-71.3-35	Rekers Betonwerk GmbH & Co. KG Portlandstraße 15 48480 Spelle	Vorgespannte Balken aus Stahlfaserbeton	Z: 24.11.2008 G: 30.11.2013
Z-71.3-37	Bremer AG Geschäftsbereich Fertigteilbau Grüner Weg 28-48 33098 Paderborn	Vorgespannte Träger aus Stahlfaserbeton	Z: 12.04.2011 G: 12.04.2016

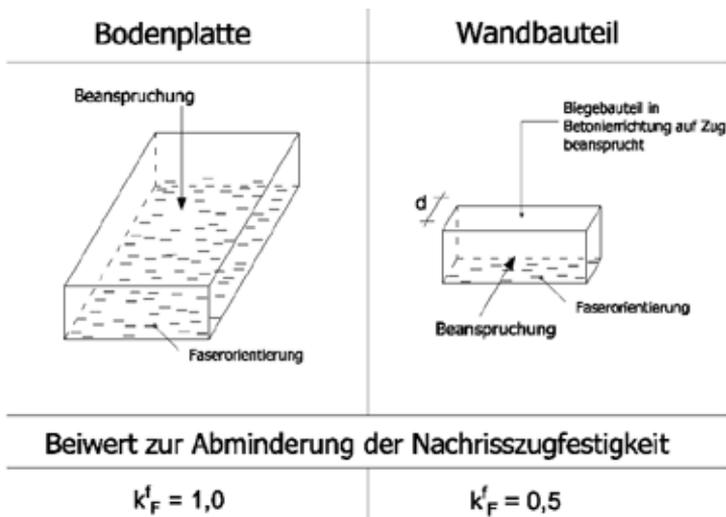


Bild 2.3: Ausrichtung der Fasern [79]

Für die Verwendung von selbstverdichtenden Betonen mit Stahlfasern sind Anwendungen bereits bekannt. Die entsprechenden Zulassungen sind ebenfalls in Tafel 2.2 zum Teil enthalten, so z.B. bei Spannbetonbindern.

Ein Grund dafür, dass selbstverdichtender Beton als Stahlfaserbeton nicht in den Geltungsbereich der Richtlinie aufgenommen wurde, ist u.a. in der Ausrichtung der Fasern zu suchen. Bei Untersuchungen nach [64] wurde festgestellt, dass bei sehr weichen Betonen, etwa bei Ausbreitmaßen \geq Konsistenzklasse F4, sich die Stahlfasern ausrichten, damit eine homogene Verteilung nicht mehr gewährleistet ist (Bild 2.3) und dadurch die Wirkung der Fasern im Beton abnimmt. Dies trifft auch für die selbstverdichtenden Betone mit Setzfließmaßen > 700 mm [14] zu.

Der Stahlfaserspritzbeton fällt ebenfalls nicht in den Anwendungsbereich der DAfStb-Richtlinie, gleichwohl sind viele Anwendungen als Spritzbeton bekannt, insbesondere im Tunnelbau. Der Spritzbeton ist generell in DIN EN 14487 Teile 1 und 2 geregelt. Im Kapitel 11 „Anwendungen“ dieses Werks wird darauf ausführlich eingegangen.

Die Anwendung der Richtlinie ist auch bei nichttragenden Bauteilen möglich, muss dann jedoch vertraglich vereinbart werden. Darunter würden die Industrieböden fallen, die ansonsten auch über Regelwerke des Betonbaus nicht genormt sind. Häufig werden diese Bauteile durch Angabe der Leistungsklassen auch nach der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ ausgeführt, jedoch mit Abstrichen in der Qualitätssicherung gegenüber den Anforderungen in der Richtlinie.

Das DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen“ [20] geht ebenfalls auf die Verwendung von Faserbetonen ein. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt

wird dieses Merkblatt in einem entsprechenden Arbeitskreis beim DBV überarbeitet. In dem neuen Merkblatt wird die Bemessung der Industrieböden dann über Leistungsklassen enthalten sein [21].

Auf europäischer Ebene werden Anstrengungen unternommen, einheitliche Regelungen für die Anwendung von Stahlfaserbetonen einzuführen. Ein Leitfaden des Europäischen Transportbetonverbands ERMCO zu Faserbetonen ist ein Schritt in diese Richtung [32]. In diesem Leitfaden wurden zunächst alle Regelungen der einzelnen europäischen Länder zusammengestellt.

3 Geschichtlicher Abriss

Schon die Römer setzten Beton als Opus Caementitium ein und schufen so Bauwerke, die die Jahrhunderte überdauerten und noch heute faszinieren, wie z.B. das Pantheon in Rom. In Einzelfällen konnte sogar die Verwendung von Eisen als Zugbewehrung nachgewiesen werden.

Heute ist der auf Zement basierende Beton unverzichtbar in der Baubranche. Er zeichnet sich durch hohe Tragfähigkeit und – richtig geplant, ausgeführt und gewartet – große Dauerhaftigkeit aus. Das hat ihm den Weg zum meist genutzten Baustoff mit einem sehr breiten Anwendungsgebiet geebnet.

Ein großer Vorteil des Baustoffs „Beton“ ist, dass sowohl Betonbauteile im Werk witterungsunabhängig vorgefertigt oder auf der Baustelle in Form gegossen werden können. Beton kann vielfältige und ausgefallene Formen und Farben annehmen, wie das geneigte Betondach im Bild 3.1 zeigt. Wären bei diesem Bauwerk Fasern im Beton verwendet wurden, hätte der hohe Bewehrungsgrad reduziert werden können. Skeptiker hätten sicher befürchtet bei diesem Sichtbeton eine störende Sichtbarkeit der Fasern an der Oberfläche.

Beton ist für zahlreiche Einsatzbereiche hervorragend geeignet. Bei bestimmten Bauprojekten kann nur Beton eingesetzt werden, da bei ihnen z.B. Holz wegen seines anisotropen Belastungsverhalten, Stahl wegen seines kaum angekündigten Baustoffversagens oder Mauerwerk aufgrund seines schwachen Verbunds zwischen Fugenmaterial und Mauerstein nicht zu verwenden sind. Beton ist einfach zu produzieren und gut zu verarbeiten.

Aber auch Beton hat Schwachpunkte: die vergleichsweise kleine Zugfestigkeit und die niedrige Duktilität. Diese Schwächen lassen sich jedoch einfach im Verbund mit ande-



Bild 3.1: Dächer wie Palmenblätter aus Beton mit 45° Neigung; Hans Otto Theater in Potsdam.



Bild 3.2: Lehmsteine, bewehrt mit Naturfasern

ren Baustoffen beheben. Die Idee dazu entwickelten Menschen schon vor Jahrtausenden, als sie versuchten getrocknetem, sprödem Lehm durch die Zugabe von Stroh ein besseres Gefüge zu verleihen und so Risse zu verhindern. Auch heute wird dies noch praktiziert (Bild 3.2). Dem Beton wurden ursprünglich natürlichen Rohstoffe wie Tierhaare (Wolle), Schilf und Stroh beigemischt. Diese Materialien beeinflussten tatsächlich maßgebliche Betoneigenschaften positiv.

Mit der Zunahme der Einsatzbereiche von Beton im Bauwesen zeigte sich schnell, dass die Nutzung von Naturfasern nicht optimal war. So nehmen Naturfasern z.B. viel Wasser auf und verursachen dadurch starke Schwind- und Quellvorgänge. Auch waren die Naturfasern nicht dauerhaft und zersetzten sich schnell im alkalischen Milieu im Beton oder durch Bakterien [23], [43].

Der Durchbruch gelang erst 1845 dem französischen Gärtner Joseph Monier mit der Idee, mit einbetonierten Eisenkörben dem Betons die fehlende Zugfestigkeit zu verleihen. Der Einsatzbereich: Blumentöpfe.

Bis diese Idee von Monier auch Anwendung in Baukonstruktionen fand, mussten noch einige Hürden genommen werden. Kritiker wiesen auf drei Probleme hin, die ein Zusammenspiel zwischen Beton und Stahl als unmöglich erscheinen ließen:

1. Der korrosionsanfällige Stahl würde im Beton aufgrund des Oxidationsprozesses schnell seine Festigkeit verlieren.
2. Beton und Stahl würden sich unter dem Einfluss von Temperaturschwankungen unterschiedlich dehnen und zusammenziehen und dies würde zu inneren Spannungen führen.
3. Zwischen Beton und Stahl wäre kein richtiger Verbund möglich, da sich der glatte Stahl viel zu einfach aus dem Beton ziehen lassen würde.

Alle drei „Probleme“ erwiesen sich als beherrschbar und stehen heute für Merkmale, die das gute Zusammenwirken von Stahl und Beton beim Stahlbeton beschreiben. Statt den Stahl anzugreifen, bildet der Beton aufgrund seines alkalischen Milieus eine passive Schutzschicht, die den Stahl so vor Korrosion schützt.

Ein Problem unterschiedlichen Temperaturdehnungsverhaltens besteht nicht: Stahl und Beton weisen fast identische Wärmeausdehnungskoeffizienten ($\alpha = 10^{-5} \text{ 1/K}$) auf.

Entgegen der Sorge der damaligen Skeptiker gehen Stahl und Beton sogar einen intensiven Verbund ein, der auf Reibung, Haftung und mechanischer Verzahnung beruht. Die drei aufgeführten Aspekte stehen heute für den vielfältig einsetzbaren Verbundwerkstoff „Stahlbeton“.

Der Einsatz von Stahl im Beton als Stahlbeton ist heute ganz alltäglich. Aber: Das Einbauen von Stahl als Stabstahl oder als Mattenstahl ist arbeits- und zeitaufwendig sowie bei mangelnder Sorgfalt – z.B. bei der erforderlichen Betondeckung – auch anfällig für