edition beton

Monika Helm

Stahlfaserbetone in der Praxis

VERLAG BAU+TECHNIK

Monika Helm
Stahlfaserbetone in der Praxis
Herstellung, Verarbeitung, Überwachung

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

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

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

Monika Helm

Stahlfaserbetone in der Praxis

Herstellung, Verarbeitung, Überwachung

VERLAG BAU+TECHNIK

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

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.

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

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

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

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

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

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 L2/L1 < 0,7 (Beispiel 1) 174

Anhang C
Bestimmung der Leistungsklassen mit neun Biegebalken bei L2/L1 < 0,7 (Beispiel 2) 179

Anhang D
Bestimmung der Leistungsklassen mit neun Biegebalken bei L2/L1 > 0,7 (Beispiel 3) 183

Anhang E
Bestimmung der Leistungsklassen mit sechs Biegebalken bei L2/L1 > 1,0 (Beispiel 4) 187

Anhang F
Interpolation bei gleichem Beton und unterschiedlicher Fasermenge 189

Literaturverzeichnis 193

Verwendete Normen 195

Quellennachweis der Bilder 198

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

Die wichtigsten verwendeten Formelzeichen

$\overline{mf}$	mittlerer Stahlfasergehalt in kg/m³
BZ	Biegezugfestigkeitsklasse
C_f	Fasergehalt der Probe in kg/m³
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
$f_{ck,\ cube}$	charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Würfeln in N/mm²
$f_{ck,\ cyl}$	charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Zylindern in N/mm²
$f_{eq,\ ctk,\ i}$	charakteristischer Wert der äquivalenten Zugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm²
$f_{eq,ctm,i}$	äquivalente mittlere Zugfestigkeit zur Einstufung in die Faserbetonklassen für Verformungsbereich i in N/mm²
f_{eqkui}	Mindestwert der charakteristischen äquivalenten Biegezugfestigkeit in N/mm²
$f^f_{\ flk,i}$	charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm²
$f^f_{cflm,\ i}$	mittlere Nachrissbiegezugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm²
$f^f_{ctO,\ Li}$	Grundwert der zentrischen Nachrissbiegezugfestigkeit für Verformungsbereich i in N/mm²
$f^f_{ct0,\ s}$	Grundwert der zentrischen Nachrissbiegezugfestigkeit bei Verwendung von Stabstahl in N/mm²
$f^f_{ct0,\ ui}$	Grundwert der zentrischen Nachrissbiegezugfestigkeit bei Verwendung des Spannungsblocks in N/mm²
$f_{ftk,fi}$	charakteristische Biegezugfestigkeit in N/mm²
Fi	Faserbetonklasse i
g	Gesteinskörnungsmenge in kg
G	Faserbetonklasse für Gebrauchstauglichkeit
i	Balkennummer
k_s	Fraktilenfaktor

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

L $f^f_{cflm,Li}$	Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse $f^f_{cfl,Li,i}$ für Verformungsbereich i in N/mm²
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
$m_{f,min}$	Mindestmenge des Stahlfasergehalt in kg/m³
n	Probenanzahl
p	Luftporenanteil in dm³
sf	Stahlfasermenge in kg
T	Faserbetonklasse für Tragfähigkeit
U…	Injektionsspannung in V
V_c	Volumen der Probe in m³
V_d	Volumen der Frischbetonprobe in m³
V_f	Nominalwert des Fasergehalts in kg/m³
$V_{fb,i}$	Volumen des einzelnen Teilproben in m³
V_{Gesamt}	Volumen des Probekörpers in m³
V_{Wasser}	Volumen des zugegebenen Wassers in m³
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 Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse i bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie
β_u	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit
β_s	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung
δ_i	Durchbiegung nach DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“ in mm

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

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/dm³
ρ_{sf}	Rohdichte der Stahlfasern in kg/dm³
ρ_w	Rohdichte des Wassers in kg/dm³
ρ_z	Rohdichte des Zements in kg/dm³

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

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.

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.