



**Dyckerhoff FERRODUR**  
Stahlfaserbeton nach Eigenschaften und Leistungsklassen



## Mitwirkung

Die Broschüre soll dem Praktiker als Ergänzung zur DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ /1/ und zum DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“ /2/ den Einsatz von Stahlfaserbeton erleichtern. Sie wurde mit freundlicher Unterstützung der genannten Firmen unter Leitung der Dyckerhoff GmbH (Produktmarketing) erarbeitet.

### **ArcelorMittal**

#### **Wire Solutions Sales Germany GmbH**

Subbelrather Str. 13  
50672 Köln  
[www.arcelormittal.com/steelfibres](http://www.arcelormittal.com/steelfibres)

### **Bekaert GmbH**

Siemensstr. 24  
61267 Neu-Anspach  
[www.bekaert.com](http://www.bekaert.com)

### **KrampeHarex GmbH & Co. KG**

Pferdekamp 6-8  
59075 Hamm  
[www.krampeharex.com](http://www.krampeharex.com)

### **Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG**

Biebricher Str. 69  
65203 Wiesbaden  
[www.transportbeton.de](http://www.transportbeton.de)

Stahlfaserbeton ist ein schon lange bekannter und insbesondere in den Bereichen Bodenplatten, Industrieböden und Tunnelbau erfolgreich erprobter und wirtschaftlicher Baustoff. Vor allem im Vergleich zum konventionellen Stahlbeton bietet er deutliche Vorteile, im frischen Zustand durch seine einfache Handhabung infolge Wegfall von Material und Aufwand für Bewehrung, leichte Verarbeitbarkeit sowie gute Pumpbarkeit. Im festen Zustand zeichnet er sich durch verbessertes Rissverhalten, erhöhte Schlagfestigkeit sowie Wirksamkeit bis in die Randzonen aus. Auch entstehen durch die nach der Karbonatisierung des Betons auftretende Korrosion an den Stahlfasern nur geringe Expansionskräfte, so dass keine Betondeckung beachtet werden muss.

Dank technischer Merkblätter, Richtlinien und Normen sind mittlerweile auch im statisch konstruktiven Bereich die technischen und rechtlichen Grundlagen für den Einsatz von Stahlfaserbeton gegeben. Die Stahlfasern sind durch die Normung in DIN EN 14889 als Betonausgangsstoff innerhalb der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 verwendbar und dürfen dem Beton zugemischt werden. Die für die Anwendung im

Betonbau erforderliche Bemessung und Qualitätssicherung bei der Herstellung wird dabei heute insbesondere durch die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ ermöglicht. Weitere Bemessungsgrundlagen werden in den DAfStb-Richtlinien „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ und „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ beschrieben.

Für die spezielle Bauweise der Industrieböden wurde durch den DBV das Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“ erarbeitet, welches die DAfStb-Richtlinien vervollständigt.

Die vorliegende Broschüre greift – ergänzend zu den genannten technischen Dokumenten – Erfahrungen der Praxis auf und hilft durch Beschreibungen und weitere Hinweise, die Anwendung von der Bemessung bis zur Qualitätssicherung besser zu verstehen und damit den Stahlfaserbeton richtig anzuwenden.

Optimierte Stahlfaserbetone wie Dyckerhoff FERRODUR sind so zusammengesetzt, dass trotz leichter Verarbeitbarkeit insbesondere die Entmischungsneigung gering ist und durch

den richtigen Mix zwischen Beton- und Fasereigenschaften eine hohe Leistungsfähigkeit im Bauteil erreicht wird. Damit diese Leistungsfähigkeit ausgenutzt werden kann, sind durch aufwändige Prüfverfahren die Leistungsklassen L1 und L2 bestimmt worden. Diese werden im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle permanent gesichert.

Wesentlich für die erfolgreiche Anwendung von Dyckerhoff FERRODUR sind die richtige Bestellung entsprechend dem vorliegenden Sortenverzeichnis des jeweiligen Transportbetonwerks sowie die ausreichende Nachbehandlung nach dem Einbau in die Schalung.

Wir wünschen Ihnen eine erfolgreiche Umsetzung Ihrer Bauaufgabe und unterstützen Sie gerne mit unserem Know-how.



# Inhaltsverzeichnis

4

## FERRODUR Stahlfaserbeton

### 1 Wirkungsweise, Eigenschaften und Anwendungen

1.1 Definition .....	6
1.2 Wirkungsweise .....	6
1.3 Eigenschaften .....	7
1.4 Anwendungen .....	8

### 2 Normen und technische Grundlagen

Normen und technische Grundlagen .....	9
--	---

### 3 Einsatzbereiche und ihre Besonderheiten

3.1 Wohnungsbau und konstruktiver Hochbau .....	12
3.2 Industriefußböden .....	12
3.3 Tunnel- und Untertagebau .....	14

### 4 Bemessung und Konstruktion

4.1 Vorbemerkungen .....	16
4.2 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT) .....	16
4.3 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG) .....	18
4.4 Planungsablauf (Diagramm) .....	21

### 5 Hinweise zur Betontechnologie

5.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe .....	22
5.2 Anforderungen aus DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 und aus der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ .....	23
5.3 Stahlfaserbeton nach Eigenschaften .....	23
5.4 Betonverzeichnis und Betonbestellung .....	24



**6 Hinweise zur Bauausführung**

6.1 Baustellenvorbereitung, Lieferung, Einbau und Annahme ..... 25

6.2 Oberflächenbearbeitung und Nachbehandlung ..... 25

6.3 Fugen ..... 26

**7 Literatur**

Verzeichnis ..... 28

**8 Anlagen**

Zusammenstellung Prüfungen bei Stahlfaserbeton aus /27/ ..... 29

Angaben zur Bemessung von Fundamentplatten im Wohnungsbau ..... 30

# 1 Stahlfaserbeton

## Wirkungsweise, Eigenschaften und Anwendungen

6

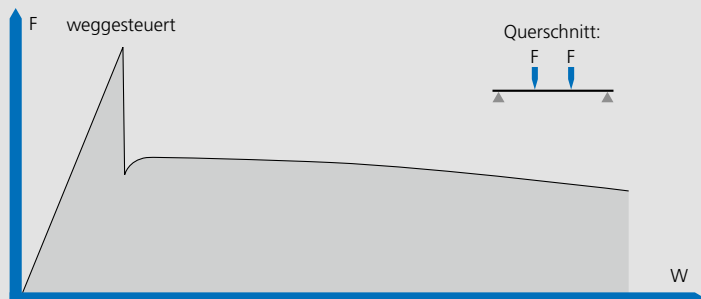


Abb. 1: Last-Verformungsverhalten im Querschnitt eines statisch bestimmten Balkentests (Materialentfestigendes Verhalten); Quelle: Baekert GmbH

Abb. 2: Balkenprüfung im Wilhelm Dyckerhoff Institut

### 1.1 Definition

Was ist Stahlfaserbeton?

Stahlfaserbeton ist ein Normalbeton nach DIN EN 206-1 /3/ in Verbindung mit DIN 1045-2 /4/ (im Folgenden als DIN EN 206-1/DIN 1045-2 bezeichnet), dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Stahlfasern zugegeben werden. Stahlfaserbeton besitzt auch im gerissenen Zustand die Fähigkeit, ähnlich wie Stahlbeton, Zugbeanspruchungen über die Rissufer hinweg zu übertragen. Diese sogenannte Nachrisszugfestigkeit wird im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und im Grenzzustand der Tragfähigkeit rechnerisch berücksichtigt. Stahlfaserbeton ist ein Verbundbaustoff, in dem die Stahlfasern gleichmäßig dreidimensional verteilt sind und dieser somit als quasi isotroper Werkstoff, Kräfte in alle Richtungen abträgt.

Im bauaufsichtlichen Sinne geregelt wird in Deutschland für tragende Bauteile die Bemessung, Herstellung und Anwendung von Stahlfaserbeton ergänzend zum EUROCODE 2 /3/ und zur DIN EN 206-1/DIN 1045-2 /4/ in den DAfStb-Richtlinien „Stahlfaserbeton“ /1/, „Betonbau

beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ /6/ und „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ /7/. Darüber hinaus gibt es für die Besonderheiten bei Bemessung und Konstruktion, Herstellung und Ausführung das DBV-Merkblatt „Industriefußböden aus Stahlfaserbeton“ /1/.

### 1.2 Wirkungsweise

Stahlfaserbeton wird bereits seit Jahrzehnten eingesetzt, mit dem Ziel, die Materialeigenschaften von Beton sowohl im Gebrauchszustand als auch im Traglastzustand positiv zu beeinflussen.

In den Beton eingemischte Stahlfasern wirken als dreidimensional gleichmäßig verteilte Bewehrung der Rissbildung entgegen und leisten einer zunehmenden Rissaufweitung Widerstand. Die Rissufer sind durch die Stahlfasern miteinander vernäht, so dass an diesen Stellen die Kraftübertragung gewährleistet wird. Dadurch bleibt auch im gerissenen Zustand eine Nachrisszugfestigkeit erhalten. Für übliche Stahldrahtfasern und Stahlfasergehalte im Beton sind in einem statisch bestimmten System oder unter reiner Zug-

beanspruchung die übertragbaren Kräfte im Zustand II kleiner als im zuvor ungerissenen Zustand I. Dabei ist ein entfestigendes Materialverhalten kennzeichnend. Der mögliche Umfang der einzuleitenden Kräfte nimmt in der Regel mit größer werdender Verformung ab (Abb. 1). Anders ist das Tragverhalten bei statisch unbestimmten Systemen. Insbesondere bei Platten- und Schalentragwerken mit der Möglichkeit der Lastumlagerung lassen sich bei stahlfaserbewehrten Bauteilen Laststeigerungen erreichen, die einen vielfachen Wert gegenüber einer unbewehrten Konstruktion ermöglichen (Abb. 3).

Eine Bemessung von Bauteilen mit dem Werkstoff Stahlfaserbeton muss dieses besondere Materialverhalten immer erfassen.

Neben der Betongüte (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit) und der Zusammensetzung des Betons ist die Höhe der Nachrisszugfestigkeit hauptsächlich abhängig von der Leistungsfähigkeit der Stahlfaser. Insbesondere das Zusammenspiel der Qualität der Faserverankerung, der Güte der Stahlfasern und der Schlankheit der Stahlfasern ( $l/d$ -Verhältnis) mit der



Abb. 3: Last-Verformungsverhalten im System einer elastisch gebetteten Platte (Materialverfestigendes Verhalten); Quelle: KrampeHarex



Abb. 4: Gebettete Platte mit Messeinrichtung

Stahlfasermenge, der Faserausrichtung zur Lastrichtung sowie der Betonzugfestigkeit beeinflussen maßgebend die sogenannte Nachrisszugfestigkeit/Leistungsfähigkeit des Stahlfaserbetons und sind Voraussetzung für dessen Wirtschaftlichkeit.

### 1.3 Eigenschaften

Bauwerke aus Stahlfaserbeton sollten nicht allein unter dem Gesichtspunkt der Tragfähigkeit betrachtet werden. Vielmehr sind es die positiven Einflüsse auf die Gebrauchstauglichkeit, Robustheit, Dauerhaftigkeit und Nutzungszuverlässigkeit, weshalb Stahlfaserbeton mittlerweile seit mehr als 40 Jahren eingesetzt wird. Ziel ist es daher, hier einige der wesentlichen Haupteigenschaften des Stahlfaserbetons näher zu erläutern.

#### Dauerhaftigkeit

Um die angestrebte Lebensdauer eines Tragwerks sicherzustellen, müssen angemessene Maßnahmen ergriffen werden, die jedes Bauteil vor den umgebungsbedingten Einwirkungen schützen. Neben der Erfüllung der Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und

der Tragfähigkeit sind Anforderungen bezüglich der erforderlichen Expositionsklassen und der Mindestbetondruckfestigkeit zu erfüllen.

Die Mindestbetondruckfestigkeitsklasse für Stahlfaserbeton beträgt C20/25; empfohlen wird jedoch, mindestens einen C25/30 zu verwenden. Für Stahlfaserbeton gelten die Mindestbetondeckungen  $c_{\min, \text{dur}}$  nur für ggf. zusätzlich eingelegten Betonstahl, nicht jedoch für die Stahlfasern. Fasern können oberflächennah korrodieren und gegebenenfalls Rostverfärbungen verursachen. Eine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit ist damit aber nicht gegeben. Die nachfolgend beschriebenen zusätzlichen Eigenschaften des Stahlfaserbetons wirken sich günstig auf die Dauerhaftigkeit von Bauteilen aus.

#### Duktilität

Die Verwendung von Stahldrahtfasern überführt das spröde Materialverhalten des Werkstoffs Beton in ein duktileres Materialverhalten. Die Verformungsfähigkeit gegenüber unbewehrtem Beton wird um ein Vielfaches erhöht. Die Duktilität des Stahlfaserbetons unterliegt folgendem Mechanismus: Die Veranke-

runge marktüblicher Stahldrahtfasern ist so gestaltet, dass sich die Stahldrahtfasern bei anwachsender Verformung des Stahlfaserbetons kontrolliert aus der Betonmatrix herausziehen. Eine maßgebende Rolle für die Leistungsfähigkeit spielt dabei der Auszugswiderstand. Es gilt: je ausgeprägter die Endverankerung, desto höher der Auszugswiderstand und somit die Leistungsfähigkeit der Faser im Beton. Die Duktilität wird durch die hohe Dehnungskapazität des Drahtes erreicht. Die Gestaltung der Endverankerung sowie die Zugfestigkeit der Stahlfasern müssen an die Betonfestigkeit angepasst werden. Die Zugfestigkeit der Faser kann somit nahezu vollständig ausgeschöpft werden.

#### Ermüdungsverhalten

Anhand von Großversuchen mit unterschiedlichen Bauteilen wurde das Trag- und Verformungsverhalten von unbewehrten im Vergleich zu stahlfaserbewehrten Betonplatten unter dynamischer Beanspruchung getestet. Um das Ermüdungsverhalten zu erproben, wurden Lasten zunächst statisch in unterschiedlichen Laststufen aufgebracht und anschließend durch dynamische Beanspruchungen ersetzt. Die Ergebnisse der Versuche zeigen

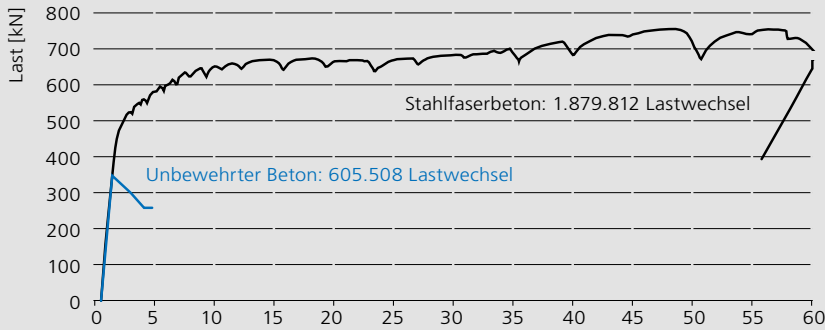


Abb. 5: Last-Verformungsdiagramm zweier Versuchsplatten beim Bruchversuch  
Quelle: iBMB, TU Braunschweig, 1997: Trag- und Verformungsverhalten dynamisch beanspruchter  
Fahrbahnen aus Beton und Stahlfaserbeton

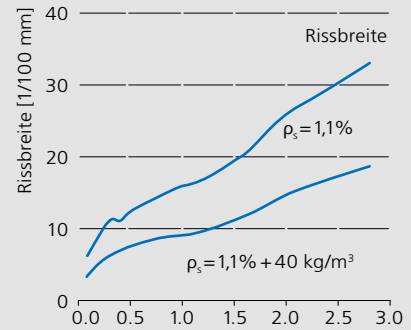


Abb. 6: Last-Verformungsdiagramm zweier Versuchsplatten beim Bruchversuch  
Quelle: iBMB, TU Braunschweig

deutlich, dass stahlfaserbewehrte Platten eine wesentlich größere Widerstandsfähigkeit gegen dynamische Beanspruchungen besitzen. Den Vergleich zwischen einer unbewehrten und einer stahlfaserbewehrten Betonplatte zeigt Abb. 5. Auch bei Versuchen zur Rissbreitenentwicklung unter Schwellbeanspruchung, die vergleichend an bewehrten und an stahlfaserverstärkten Stahlbetonplatten unter dynamischer Belastung durchgeführt wurden, hat sich der positive Effekt von Stahldrahtfasern gezeigt.

**Widerstand gegen Rissbildung**

Grundsätzlich ist die positive Wirkung von Stahlfasern auf die Rissbreite von Betonbauteilen bekannt. Versuche am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig haben gezeigt, dass durch die Zugabe von leistungsfähigen Stahlfasern die Rissbreite in Betonbauteilen unter ansonsten gleich bleibenden Bedingungen wesentlich verringert werden kann (s. Abb. 6). Im Umkehrschluss kann für Bauteile unter Zugrundelegung der gleichen Rissbreite die herkömmliche Betonstahlbewehrung bei einem rechnerischen Nachweis der Rissbreite deutlich verringert

werden, was sowohl eine wirtschaftliche, baupraktische und zeiteinsparende Lösung darstellt.

Ferner haben Untersuchungen gezeigt, dass begründet durch Rissverästelung und Rissverzweigung infolge der in allen Raumrichtungen verteilten Stahlfasern die Durchflussrate von Wasser deutlich vermindert wird. Es stellt sich eine gegenüber dem faserfreien Beton größere kritische Rissbreite ein, bei der ein messbarer Durchfluss feststellbar wird, wiederum ein positiver Effekt für die Dauerhaftigkeit von stahlfaserbewehrten Bauteilen.

**Schlagfestigkeit**

Zahlreiche Untersuchungen haben den vielfach höheren Widerstand von Stahlfaserbeton bei Schlageinwirkung gegenüber unbewehrten Bauteilen gezeigt. Führt man Versuche mit einem Fallgewicht, das aus definierter Höhe auf den Prüfkörper fällt, durch und definiert die Schlagfestigkeit über die Anzahl Schläge bis zum Bruch des Probekörpers, zeigen sich enorme Steigerungen des Widerstandes beim Einsatz von Stahldrahtfasern. Besonders genutzt wird diese Eigenschaft bei Anwendungen, in denen konzentrierte Lasten und Stoßbe-

lastungen unvermeidlich sind (z.B. Containerterminals, Einbau von Tübbing). Die Dauerhaftigkeit eines Bauteils wird durch die erhöhte Schlagfestigkeit positiv beeinflusst.

**1.4 Anwendungen**

Im Wesentlichen wird Stahlfaserbeton für Bodenplatten des Industriebaus verwendet. Darüber hinaus findet Stahlfaserbeton im Wohnungsbau (Fundamentplatten, Kellerwände), im Tunnelbau (z.B. Spritzbeton, Tübinge) und im Fertigteilebau seine zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten.





## 2 Stahlfaserbeton

### Normen und technische Grundlagen

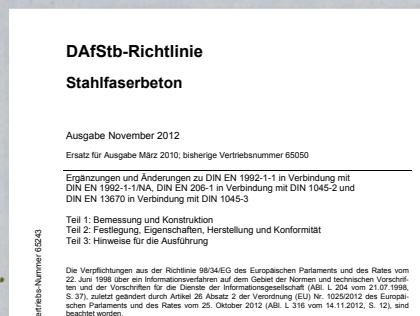


Abb. 7: DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

In der Vergangenheit wurde Stahlfaserbeton im Wesentlichen für nicht tragende Bauteile mit niedrigem Gefährdungspotential eingesetzt. Für den Einsatz des Materials bei tragenden Konstruktionen waren aufwändige Zustimmungen im Einzelfall, oder aber Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen notwendig.

Mittlerweile sind Fasern zwar in der DIN 1045-2 /4/ unter Abschnitt 5.1.7 mit aufgeführt und es existiert seit 2006 eine Norm DIN EN 14889-1 /8/, die die Stahlfasern selbst regelt. Bisher fehlte allerdings eine Richtlinie oder Norm, die sich mit der Bemessung, Konstruktion und Ausführung von Stahlfaserbeton befasste.

Mit der bauaufsichtlichen Einführung der DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton /1/ sind im bauaufsichtlichen Sinne tragende Bauteile auch ohne zusätzliche bauaufsichtliche Zulassungen ausführbar. Die Haupteinsatzgebiete des Stahlfaserbetons werden im Kapitel 3 näher erläutert.

Grundlegend in der DIN EN 14889-1 /8/ ist, dass für Stahlfasern ein CE-Zeichen erforderlich ist. Für den reinen Verkauf von Stahlfasern innerhalb der EU ist für

„Fasern für andere Zwecke“ zumindest eine Herstellererklärung notwendig. Für „Fasern für tragende Zwecke“ und grundsätzlich für Fasern, die einem Beton gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2 zugegeben werden, ist ein Konformitätszertifikat einer notifizierten Stelle vorzuweisen. Damit ist in Deutschland stets eine überwachte Stahlfaser mit Konformitätszertifikat zu verwenden, auch wenn die Faser nicht als tragendes Element eingesetzt wird. Auf der CE-Kennzeichnung selbst ist bei Fasern mit Konformitätszertifikat die Nummer des Zertifikates und die Nummer der überwachenden Stelle angegeben. Lediglich für Kunststofffasern und Fasern, die mit einer speziellen Verpackung geliefert werden (z.B. verklebte Fasern) ist noch eine Zulassung notwendig.

Der Baustoff selber ist also bereits länger geregelt, der weitere Umgang bis zur Einführung der Richtlinie allerdings nur für einige wenige Anwendungsbereiche, wie den Spritzbeton. Folgende Normen sind derzeit vorhanden:

#### Materialnorm

##### DIN EN 14889-1

Fasern für Beton – Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität; Deutsche Fassung EN 14889-1:2006

#### Prüfnormen

##### DIN EN 14721

Prüfverfahren für Beton mit metallischen Fasern – Bestimmung des Fasergehalts in Frisch- und Festbeton; Deutsche Fassung EN 14721:2005+A1:2007

##### DIN EN 14651

Prüfverfahren für Beton mit metallischen Fasern – Bestimmung der Biegezugfestigkeit (Proportionalitätsgrenze, residuelle Biegezugfestigkeit); Deutsche Fassung EN 14651:2005+A1:2007

##### DIN EN 14845-1

Prüfverfahren für Fasern in Beton – Teil 1: Referenzbetone; Deutsche Fassung EN 14845-1:2007

##### DIN EN 14845-2

Prüfverfahren für Fasern in Beton – Teil 2: Einfluss auf den Beton; Deutsche Fassung EN 14845-2:2006

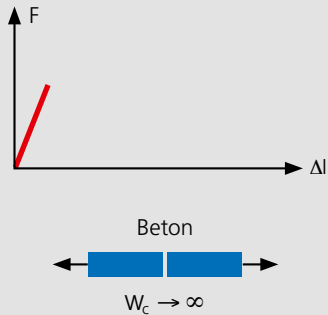


Abb. 8: Last-Verformungsverhalten von unbewehrtem Beton

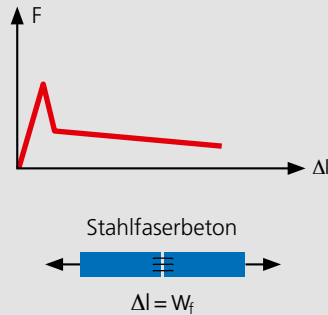


Abb. 9: Last-Verformungsverhalten von Stahlfaserbeton (FERRODUR)

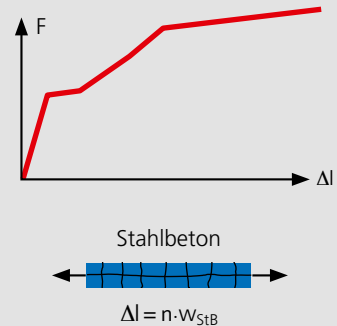


Abb. 10: Last-Verformungsverhalten von Stahlbeton

### Spritzbeton

#### DIN EN 14487-1

Spritzbeton – Teil 1:  
Begriffe, Festlegungen und Konformität;  
Deutsche Fassung EN 14487-1:2005

#### DIN EN 14487-1

Spritzbeton – Teil 2:  
Ausführung; Deutsche Fassung  
EN 14487-2:2006

#### DIN EN 14488-3

Prüfung von Spritzbeton – Teil 3:  
Biegefestigkeiten (Erstriss-, Biegezug-  
und Restfestigkeit) von faserverstärkten  
balkenförmigen Betonprüfkörpern;  
Deutsche Fassung EN 14488-3:2006

#### DIN EN 14488-5

Prüfung von Spritzbeton – Teil 5:  
Bestimmung der Energieabsorption  
bei faserverstärkten plattenförmigen  
Prüfkörpern; Deutsche Fassung  
EN 14488-5:2006

#### DIN EN 14488-7

Prüfung von Spritzbeton – Teil 7:  
Fasergehalt von faserverstärktem Beton;  
Deutsche Fassung EN 14488-7:2006

### Fertigteile

#### DIN EN 1916

Rohre und Formstücke aus Beton,  
Stahlfaserbeton und Stahlbeton;  
Deutsche Fassung EN 1916:2002

#### DIN EN 1917

Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton,  
Stahlfaserbeton und Stahlbeton;  
Deutsche Fassung EN 1917:2002

#### DIN EN 14650

Betonfertigteile – Allgemeine Regeln  
für die werkseigene Produktionskontrolle  
von Beton mit metallischen Fasern;  
Deutsche Fassung EN 14650:2005

Bei der Sichtung der Unterlagen stellt man fest, dass für einige spezielle Anwendungen, wie den Spritzbeton zwar Regelungen existieren, ein allgemeines Regelwerk zur Bemessung, Ausführung und Konstruktion allerdings fehlt.

Mit der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des Deutschen Ausschusses für Beton und Stahlbetonbau wurde eine solche Regelung geschaffen. Die im März 2010 erschienene Richtlinie ist eine Ergänzung

der DIN 1045 Teil 1-3 und wurde 2011 in die Musterliste der technischen Baubestimmungen übernommen. 2013 erschien die überarbeitete Fassung der Richtlinie als Ergänzung zur DIN EN 1992-1-1 /5/ in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA /5/, DIN EN 206-1 /3/ in Verbindung mit DIN 1045-2 /4/ und DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3 /28/. Damit ist sie auch im Rahmen des Eurocode anwendbar.

Die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ regelt Eigenschaften und Anwendungen des Baustoffes „Stahlfaserbeton“, die nicht durch die DIN 1045 bzw. die DAfStb-Richtlinien „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ bzw. „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ abgedeckt sind. Sie ändert und ergänzt die aufgeführten Abschnitte aus DIN 1045-1, DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und DIN 1045-3 für Stahlfaserbeton und fügt teilweise neue Absätze hinzu. Durch die Richtlinie ist der Tragwerksplaner nun in der Lage, eine Bemessung in den Grenzzuständen durchzuführen, wobei er die maßgebende Eigenschaft des Stahlfaserbetons in Form der Leistungsklasse in Ansatz bringt. Auch das grundlegende

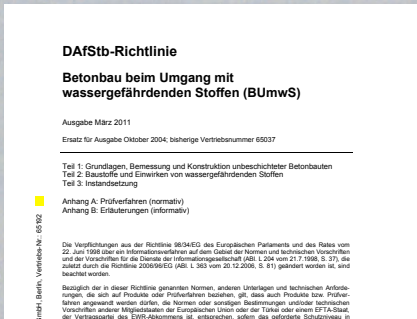


Abb. 11: DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BUMWS)“



Abb. 12: DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“

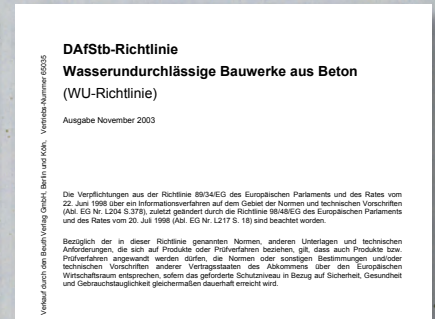


Abb. 13: DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“

Materialverhalten wird im Vorwort und im Anwendungsbereich erläutert. Für nicht tragende und aussteifende Bauteile kann auch auf andere Literatur, wie zum Beispiel die DBV-Merkblätter verwiesen werden. Für Nachweise mit plastischen Verfahren wird häufig auf die englische TR 34 zurückgegriffen, in welcher Formeln und Hintergründe erläutert werden. Die bisherige Fassung des DBV-Merkblattes „Stahlfaserbeton“ (Oktober 2001) mit den sogenannten Faserbetonklassen wurde im Juli 2013 durch das DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“ abgelöst und nimmt Bezug auf die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ (November 2012) in Verbindung mit Eurocode 2, DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (August 2008) sowie DIN EN 13670 und DIN 1045-3 (inkl. Berichtigung Juli 2013). Hierbei wird auch auf die mit der DAfStb-Richtlinie eingeführten Leistungsklassen als Nachweis des Betons nach Eigenschaften mit definierten Nachrissfestigkeiten zurückgegriffen. Aufgrund des geringeren Gefährdungspotentials wird ein geeignetes Sicherheitskonzept zugrunde gelegt, welches eine wirtschaftliche Bemessung dieser im bauaufsichtlichen Sinne untergeordneten Bauteile

ermöglicht, also keine bauordnungsrechtlichen Anforderungen an die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit und keine besonderen Anforderungen hinsichtlich Dichtheit der Industrieböden stellt. Für die letztgenannten Anforderungen sind die DAfStb-Richtlinien „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Baustoffen“ bzw. „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“ anzuwenden. Das DBV-Merkblatt ergänzt thematisch das DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen“.



## 3 Stahlfaserbeton

### Einsatzbereiche und ihre Besonderheiten

12



Abb. 14: Direktentladung aus dem Fahrmischer

#### 3.1 Wohnungsbau und konstruktiver Hochbau

Seit Einführung der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ können tragende baurechtlich relevante Bauteile in Stahlfaserbeton ausgeführt werden. Für die in der Richtlinie abgedeckten Standardanwendungen sind nach der baurechtlichen Einführung i.d.R. keine Zulassungen mehr notwendig. Einheitliche Bemessung, einheitliche Bestimmung der Baustoffkennwerte und eine einheitliche Überwachung machen den Einsatz von Stahlfaserbeton in tragenden Fundamentbodenplatten, Streifenfundamenten und Wänden zu einer sicheren und kostengünstigen Alternative zur herkömmlichen Bewehrung.

##### 3.1.1 Bodenplatten

Werden Lasten über Streifen oder Einzelfundament abgetragen, ist der Einsatz von Stahlfaserbeton ohne besondere Anforderungen möglich. Übernimmt die Bodenplatte die Tragfunktion, handelt es sich um eine Fundamentbodenplatte. Diese wird gemäß DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ auf Grundlage von Leistungsklassen bemessen.

##### 3.1.2 Wände

Werden Wände mit Anforderungen an die WU-Richtlinie hergestellt, ist der Einsatz einer Kombination aus Bewehrung plus Stahlfaserbeton nach Leistungsklassen sinnvoll. Es ist darauf zu achten, dass der Frischbeton i.d.R. die Konsistenz F4 der Betonnorm nicht überschreitet, um ein ungünstiges Ausrichten der Fasern in Fließrichtung zu vermeiden. Fasern können oberflächennah korrodieren und gegebenenfalls Rostverfärbungen verursachen. Eine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit ist damit jedoch nicht gegeben.

##### 3.1.3 Streifenfundamente

Streifenfundamente können häufig bei ausreichender Tragfähigkeit des Bodens und gleichmäßiger Belastung durch Linielasten unbewehrt ausgeführt werden. In solchen Fällen ist die Verwendung von Stahlfaserbeton möglich. In den anderen Fällen ist ein Nachweis nach DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ zu führen.

#### 3.2 Industriefußböden

Der Industriefußboden ist das am stärksten beanspruchte Bauteil innerhalb der Gesamtkonstruktion einer Lager- oder Produktionshalle. Seine Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit sind entscheidend für die wirtschaftliche Nutzung des Bauwerks. Durch den Einsatz von Stahlfaserbeton FERRODUR kann im Vergleich zu herkömmlicher Bewehrung der Bauablauf entscheidend vereinfacht und der Zeitaufwand signifikant verringert werden. In der Regel verbessert sich auch die Dauerhaftigkeit des Bauteils.

Hinsichtlich der Planung des Bauteils und damit der Wahl des richtigen Stahlfaserbetons ist es entscheidend, ob der Industriefußboden Teil des Gesamttragwerkes des Gebäudes (tragend und/oder aussteifend) ist.

Ist dies der Fall, erfolgt eine Planung und Ausführung auf Basis der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb (2010) // (Ergänzung zur DIN 1045) Achtung: ggf. Anpassung an EC2. In den meisten Fällen kommen aber entkoppelte, elastisch gebettete (nicht tragende) Industriefußböden



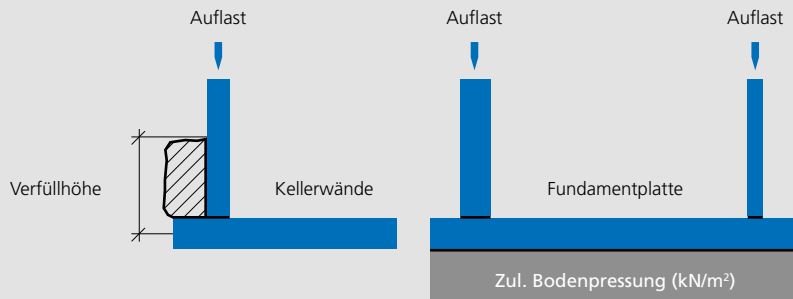


Abb. 15: Elastisch gebettete Balken mit FERRODUR

zur Ausführung. Basis für deren Bemessung muss ein anerkanntes Verfahren sein. In der Regel ist dies das DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“ (Juli 2013) /2/. Auch hier kann die Anwendung der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb (2012) /1/ vereinbart werden.

### 3.2.1 Tragende Industriefußböden

Grundsätzlich sind tragende und aussteifende Industrieböden gemäß Eurocode 2 /5/ in Verbindung mit der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ auszuführen. Als tragend gelten Industrieböden immer dann, wenn sie Lasten aus dem Gebäude abtragen oder wenn begehbare Stahlbaubühnen oder ähnliches auf der Platte gegründet werden. Weiterhin sind, abhängig von der LBO, Regalanlagen ab einer gewissen Oberkante Lagergut genehmigungspflichtig. Hier kann der Prüfer die Bodenplatte als Fundament des Regals ansehen, was sicherlich auch korrekt ist.

Es ist zu empfehlen, ab einer Oberkante Lagergut von 7,50 m die DAfStb-Richtlinie zu verwenden. Damit kann ausgeschlossen werden, dass der Bauherr später

Probleme bei der Genehmigung seiner Regalanlage bekommt. Da es bei solchen Bodenplatten eigentlich um die Prüfung der Regale geht, sind aussagekräftige Unterlagen zur Regalaufstellung und den Regallasten notwendig. Oft liegen diese in der frühen Phase noch nicht vor, so dass klare Vereinbarungen mit dem Bauherrn getroffen werden müssen, welche Lasten und Laststellungen berücksichtigt wurden. Besonderes Augenmerk ist hier auf den Lastfall Erdbeben zu legen.

Weiterhin muss ein Bodengutachten vorliegen, in dem der Schichtenverlauf oder zumindest Bettungsmodule für die auftretenden Lasten angegeben werden.

Notwendige Unterlagen:

- Lastenplan
- Regalstatik, oder zumindest Lastangaben
- Bodengutachten
- weitere Anforderungen gemäß FEM etc.

Es gibt viele verschiedene Regalsysteme (HRL, AKL, Fachbodenregale, etc.). Besonders bei den Hochregallägern (HRL) und automatischen Kleinteilelagern ist zu

differenzieren, ob diese ein automatisches Bediengerät haben oder nicht. Liegen Regalsysteme vor, die automatisiert sind, so werden hier seitens der Regalhersteller hohe Anforderungen an die Verformungen gestellt, die in der Praxis sehr schwer zu realisieren sind. Diese Anforderungen für HRL und AKL sind definiert in:

- FEM 9.831-1 Berechnungsgrundlage für Regalbediengeräte /9/
- FEM 9.832 Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte-Toleranzen. Verformungen und Freimaße im automatischen Kleinteilelager (keine Silobauweise) /10/
- FEM 9.841 Leitfaden Regallagersysteme mit schienengebundenen Regalbediengeräten sowie deren Schnittstellen /11/ und müssen ebenfalls beachtet werden.

### 3.2.2 Nicht tragende Industriefußböden

Eine wesentliche Voraussetzung für die Funktion der Industriefußböden ist die ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes und der Tragschicht. Die notwendigen Informationen liefert ein Bodengutachten. In Abhängigkeit von den einwirkenden

Lasten sichert ein ausreichendes Bettungsmodul die Funktionsfähigkeit der elastisch gebetteten Bodenplatte. Untergrund und Tragschicht dürfen sich unter Belastung nicht signifikant verformen.

Grundsätzlich sind die Werte des Untergrundes und der Tragschicht durch einen Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 /12/ zu überprüfen.

Bei moderaten Lasten ist für die Tragschicht ein  $E_{v2}$ -Wert von 100 MN/m<sup>2</sup> anzustreben (Verhältniswert  $E_{v2}/E_{v1}$  sollte dabei 2,3 oder kleiner sein) bzw. 80 MN/m<sup>2</sup> nicht zu unterschreiten ( $E_{v2}/E_{v1}$  dann nicht größer als 2,5).

Höhere Werte sind hierbei ein Anzeichen für nicht ausreichende Verdichtung bzw. für ein ungeeignetes Material der Tragschicht. Höhere Punkt- (etwa über 70 kN) oder Blocklasten (über 90 kN/m<sup>2</sup>) erfordern entsprechend höhere Werte.

Bei elastisch gebetteten Industriefußböden ist es üblich, die Flächen der Bauteile durch Scheinfugen zu "entspannen". Durch die rissverteilende und rissüberbrückende Wirkung der Stahlfasern in

FERRODUR sind im Vergleich zu unbewehrtem Beton deutlich größere Fugenfelder möglich (s. Kapitel Fugen).

Zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften des Industriebodens, vor allem bei hohen Verkehrs- und Punktlasten sowie erhöhten Anforderungen an die Ebenheit, kann dieser ohne Scheinfugen als fugenarmes System ausgeführt werden. Die Betonierfelder mit einem Längen-Breitenverhältnis von 1 bis 1,3 werden durch geeignete Fugenprofile miteinander verbunden (Querkraftübertragung). So ist es möglich, kritische Scheinfugen zu vermeiden und das Bauteil bei gleicher oder verbesserter Gebrauchseigenschaft mit reduzierter Bauteildicke auszubilden. (Widerstand gegen Erstriss beachten!) Industrieböden ohne Scheinfugen sollten nur im Innenbereich, wo der Boden keinen extremen Witterungsbedingungen unterliegt, eingesetzt werden.

Analog zu Industriefußböden in Industriehallen können vergleichbare Bauteile als Freiflächen geplant und ausgeführt werden. Freiflächen und Fahrbahnen unterliegen aber direkt den täglichen und jahreszeitlich bedingten Temperatur-

schwankungen sowie den wechselnden Wetterbedingungen (Spannungen aus Temperaturwechsel Tag/Nacht, Hitze/Frost). Diese zusätzlichen Belastungen sind bei der Planung entsprechend zu berücksichtigen.

Durch die dreidimensionale Wirkungsweise des Verbundbaustoffes FERRODUR kann bei gleicher Anzahl von Frost-/Tauwechseln mit Tausalzbeaufschlagung eine signifikant höhere Stabilität der Oberfläche beobachtet werden.

An der Oberfläche befindliche Teile der Stahlfasern (Rostpunkte) führen nicht zu einer Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit.

### 3.3 Tunnel- und Untertagebau

Die mögliche Art der Anwendung des Stahlfaserbetons richtet sich im Wesentlichen nach der Art des Vortriebs. Bei der Nutzung einer Tunnelbohrmaschine können Stahlfasern in den verwendeten Fertigteilen (Tübbing) die Dauerhaftigkeit bei Transport und Versatz verbessern. Werksgemischter Stahlfaserbeton findet



Abb. 16: Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau



Abb. 17: Festigkeitsprüfung am jungen Spritzbeton

Anwendung als Spritzbeton zur Strecken- bzw. Hangsicherung. Es wird zwischen Naß- und Trockenspritzbeton unterschieden. Für Trockenspritzverfahren kommt in der Regel vorgefertigte Siloware zur Anwendung, dagegen wird FERRODUR als Naßspritzbeton hergestellt und verarbeitet. Es ist ein schnell abbindender Beton (Spritzzement und Beschleuniger) mit Gesteinskörnungen von maximal 8 mm.

Die Stahlfasern sind dünner und kürzer als bei herkömmlich hergestellten Bauteilen, damit diese sich optimal in der speziellen Betonmatrix einbinden und die Verarbeitbarkeit gewährleisten. Maßgebendes Kriterium ist der Rückprall des Stahlfaserspritzbetons, auf den neben der Betonzusammensetzung und den geometrischen Parametern der Stahlfaser insbesondere das handwerkliche Geschick der Arbeitskraft vor Ort Einfluß hat. Neben einem signifikanten Zeitvorteil beim Vortrieb kann vor allem die Arbeitssicherheit deutlich verbessert werden, da niemand im ungesicherten Bereich Mattenbewehrung montieren muss. Der Einsatz von Spritzrobotern ist möglich. Der Einsatz erfolgt auf Basis der DIN EN 14487 /13/ und DIN EN 14488 /14/. Für die Bewertung

und Planung haben sich Energieaufnahmeklassen durchgesetzt. Abhängig vom anstehenden Gebirge und der Tunnelgeometrie lassen sich die erforderlichen Werte für den zu verwendenden Stahlfaserspritzbeton ermitteln. Die notwendigen Werte sind anhand von Plattenversuchen gemäß DIN EN 14488-5 /15/ zu ermitteln. Die Prüfkörper (Platten) werden vor Ort durch Spritzen in festgelegte Schalkkästen hergestellt.

Die großen Brandkatastrophen der vergangenen Jahre machen Brandschutzmaßnahmen im Tunnelbau zwingend erforderlich. Aus diesem Grund sollten dem Beton Kunststofffasern zugegeben werden. Je nach Anforderung und Fasertyp variiert die Zugabemenge zwischen ca. 1,2 und 2,5 kg/m<sup>3</sup> Beton. Es dürfen jedoch nur Kunststofffasern mit einer Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung eingesetzt werden. Die Kunststofffasern, auch Polypropylenfasern genannt, haben einen niedrigen Schmelzpunkt und setzen beim Schmelzen Hohlräume im Festbeton frei. Das im Beton gebundene Wasser wird bei Hitze zu Wasserdampf, der nun genügend Platz hat, um sich in den freigewordenen Kanälen im Beton auszudehnen und teil-

weise zu entweichen. So kommt es nicht zu den gefürchteten Betonabplatzungen, wodurch ein ungehinderter Angriff des Feuers auf die im Beton liegende Bewehrung vermieden werden kann. Im Brandfall ist die Bewehrung noch durch die entsprechende Betonüberdeckung geschützt und das Bauteil kann durch Abstrahlen der dann geschädigten Betonschicht und anschließendem Aufspritzen einer neuen Deckschicht wieder gesichert werden.







Abb. 19: Faserverteilung im Beton – Computertomographie; Quelle: Fraunhofer ITWM

Wie in der DIN EN 1992-1-1 /5/ werden auch in der DAFStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ vier verschiedene Verfahren der Schnittgrößenermittlung erlaubt:

- linear-elastische Berechnung
- linear-elastische Berechnung mit Umlagerung
- Verfahren nach der Plastizitätstheorie
- nichtlineare Verfahren

Für wirtschaftliche Bemessungen bieten sich Schnittgrößenermittlungen auf Basis nichtlinearer und plastischer Verfahren an. Stahlfasern übertragen nach Rissbildung des Betons Zugkräfte über Rissflanken hinweg, so dass bei Ausbildung plastischer Gelenke bzw. Bruchlinien Beanspruchungen durch Systemumlagerungen verteilt und Tragfähigkeitsreserven aktiviert werden können. Die Bemessungsergebnisse werden dadurch deutlich wirtschaftlicher. Das erfahrungsgemäß häufigste Verfahren ist die Schnittkraftermittlung nach der Plastizitätstheorie.

**Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens**

Kann am stahlfaserbewehrten Betonquerschnitt ohne zusätzliche Betonstahlbewehrung unter Biegebeanspruchung ein

zulässiger Gleichgewichtszustand nachgewiesen werden, ist im Weiteren das Duktilitätskriterium nach Abschnitt 9.2.1.1 der Richtlinie zu prüfen.

Die Mindestbetonstahlbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens kann durch die Wirkung der Stahlfasern reduziert werden. Es ist jedoch zu beachten, dass in statisch bestimmten Systemen die Biegetragfähigkeit eines Querschnittes nicht ausschließlich über Stahlfasern erzielt werden darf. Entsprechend muss das Querschnittsgleichgewicht bei statisch bestimmten Systemen durch eine Kombination mit Betonstahlbewehrung oder über das Vorhandensein von Drucknormalkräften sichergestellt werden.

Bei statisch unbestimmt gelagerten Bauteilen kann es auch bei Anwendung von reinem Stahlfaserbeton zu Laststeigerungen führen, wenn nach dem Überschreiten der Erstrisslast das System in der Lage ist, weitere Laststeigerungen aufzunehmen. In statisch unbestimmten Systemen darf konsequenterweise die Sicherstellung des Duktilitätskriteriums über die reine Stahlfaserwirkung erfolgen.

**Querkraft**

Die aus dem Eurocode 2 /5/ bekannte Bemessungsformel für den Querkraftnachweis wurde über einen eigenen Traganteil zur Berücksichtigung der Faserwirkung ergänzt. Es handelt sich somit um einen additiven Anteil, der die Faserwirkung im bezogenen Querschnitt berücksichtigt.

Folgende additive Komponente wird auf der Widerstandsseite ergänzt:

$$v_{Rd,cf} = \frac{\alpha_c^f \cdot f_{ctR,u}^f \cdot b_w \cdot h}{Y_{ct}^f}$$

Betrachtet man sich diesen additiven Anteil, so zeigt sich als Eingangswert zur Berücksichtigung der Faserwirkung der Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons. Diese Leistungsfähigkeit im Zusammenhang mit der Bauteilgeometrie ergibt den Gesamtwiderstand des Stahlfaserbetonteils gegen Querkraft. Auch in Bauteilen mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung darf die Faserwirkung durch den additiven Traganteil berücksichtigt werden.

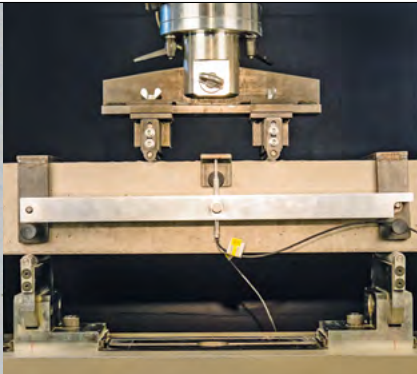


Abb. 20: Eingespannter Prüfbalken



Abb. 21: Erstriss nach Belastung

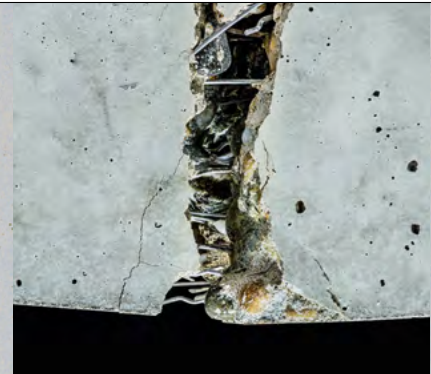


Abb. 22: Rissüberbrückung durch Stahlfasern

Ein weiterer Vorzug beim Einsatz von Stahlfaserbeton ergibt sich durch die Möglichkeit der Anrechnung der Stahlfaserbetontragwirkung auf die in der DIN EN 1992-1-1 /5/ geforderte Mindestquerkraftbewehrung bei balkenartigen Bauteilen. Diese Mindestquerkraftbewehrung kann in Abhängigkeit der Leistungsklasse bis auf Null reduziert werden. So kann beispielsweise bei weit gespannten Bindern, die keine rechnerische Querkraftbewehrung, sondern nur die Mindestquerkraftbewehrung benötigen, die ansonsten resultierende Bügelbewehrung komplett durch den Einsatz von Stahlfaserbeton ersetzt werden.

### Torsion

Aufgrund fehlender umfangreicher theoretischer und praktischer Erfahrungen auf dem Gebiet der Widerstandsfähigkeit von Stahlfaserbeton gegenüber Torsionseinwirkung wurde im Rahmen der Erarbeitung der DAFStb-Richtlinie die Torsion bei Stahlfaserbeton nicht geregelt. Daraus folgernd wird die Wirkung der Stahlfasern für Torsionsnachweise nicht berücksichtigt.

### Durchstanzen

Bei dem Nachweisverfahren für Durchstanzen wird dem Stahlfaserbeton analog zum Querkraftnachweis ein zusätzlicher Traganteil zugewiesen. Daher wird auch hier die bekannte Formel der DIN EN 1992-1-1 /5/ geändert und um einen Traganteil zur Berücksichtigung der Faserwirkung ergänzt.

Folgende additive Komponente wird auf der Widerstandsseite ergänzt:

$$v_{Rd,cf} = 0,85 \cdot \frac{\alpha_c \cdot f_{ctR,u}^f}{\gamma_{ct}^f}$$

Analog zum Querkraftwiderstand zeigt sich als Eingangswert zur Berücksichtigung der Faserwirkung der Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons. Diese Leistungsfähigkeit im Zusammenhang mit der Bauteilgeometrie ergibt den Gesamtwiderstand des Stahlfaserbetonteils gegen Durchstanzen je Flächeneinheit.

Bei elastisch gebetteten Bodenplatten ohne zusätzliche Betonstahlbewehrung, die hauptsächlich auf Biegung beansprucht werden, kann der Durch-

stanznachweis entfallen, da generell ein Biegeversagen eintritt, bevor eine Durchstanzproblematik entsteht. Dieser Sachverhalt wurde durch folgende Anmerkung in die DIN EN 1992-Fassung der Richtlinie /5/ aufgenommen:

„Falls in einem Bauteil Durchstanzbewehrung erforderlich wird, bleibt die Wirkung der Stahlfasern unberücksichtigt. Das Zusammenwirken von Fasern und Durchstanzbewehrung wurde bisher nicht ausreichend erforscht um diesen Zusammenhang in dieser Richtlinie zu regeln.“

### 4.3 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Auch im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit können Stahlfasern, d.h. die mit ihnen erreichten Leistungsklassen, angerechnet werden. Gerade bei der Kombination mit herkömmlicher Bewehrung können sich wirtschaftliche und verarbeitbare Lösungen ergeben. Die DAFStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ z.B. lässt ausdrücklich die Berücksichtigung der Fasern zu.

Im Folgenden wird die Anrechnung der Leistungsklassen des Stahlfaserbetons auf Grundlage der DAFStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ /1/ erläutert.

**Begrenzung der Rissbreite**

Die Leistungsklasse des Stahlfaserbetons kann für Nachweise zur Begrenzung der Rissbreite angerechnet werden. Aufgrund des typischen endfestigenden Materialverhaltens sind Rissbreitennachweise für reinen Zug und statisch bestimmte Systeme in der Regel nur mit Stahlfaserbeton nicht möglich. Durch die Kombination mit herkömmlicher Bewehrung kann entweder die Rissbreite reduziert, oder aber die herkömmliche Bewehrungsmenge bei gleicher Rissbreite verringert werden. Für Stahlfaserbeton in Kombination mit Betonstahlbewehrung gelten die Anforderungen gemäß DIN EN 1992-1-1/NA /5/, Tabelle NA.7.1DE.

Ein Nachweis der Rissbreite ohne zusätzliche Stabstahlbewehrung ist in folgenden Fällen möglich:

- In äußerlich statisch unbestimmten Systemen wird durch Umlagerung der Schnittkräfte ein Gleichgewichtssystem

nachgewiesen, bei dem in den als gerissen angesehenen Querschnitten die erforderliche Rissbreitenbeschränkung zum Zeitpunkt  $t = \infty$  eingehalten ist. Bei der Berechnung der Verformungen ist die Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen zu berücksichtigen; – in anderen Systemen mit dauerhaft vorhandener Druckzone; für  $\alpha_f \geq k \cdot k_c$ .

In allen anderen Fällen ist eine herkömmliche Betonstahlbewehrung anzuordnen.

Die DIN EN 1992-1-1/NA /5/, Tabelle NA.7.1DE, wird für Stahlfaserbeton ohne zusätzliche Betonstahlbewehrung für die angegebenen Expositionsklassen durch die unten aufgeführte Tabelle ersetzt.

**Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite**

Für die Berechnung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1, 7.3.2 und 7.3.3 sowie für die Berechnung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1,7.3.4, darf Stahlfaserbeton berücksichtigt werden. Hier gilt:

$$A_{s,min}^f = f_{ct,eff} \cdot k_c \cdot k (1 - \alpha_f) \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

Hier wird bei einer Kombinationsbewehrung  $\alpha_f$  mit  $f_{ctR,s}^f$  ermittelt, bei reinem Stahlfaserbeton mit  $f_{ctR,L1}^f$

Expositionsklasse	Stahlfaserbeton ohne herkömmliche Betonstahlbewehrung für die quasi ständige Einwirkungskombination
X0, XC1 <sup>1)</sup>	0,4
XC2, XC3	0,3
XC4	0,2
XD1, XS1	0,2

<sup>1)</sup> Bei den Expositionsklassen X0 und XC1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und dieser Grenzwert wird i. Allg. zur Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes gesetzt. Fehlen entsprechende Anforderungen an das Erscheinungsbild, darf dieser Grenzwert erhöht werden.

Der Faktor  $\alpha_f$  gibt dabei das Verhältnis der Zugfestigkeit des Betons zur Nachrisszugfestigkeit an. Bei einer ansteigenden Last-Verformungskurve, mit einer höheren Nachrisszugfestigkeit als der Zugfestigkeit des Betons, müsste keine herkömmliche Stabstahlbewehrung mehr eingelegt werden.

Die Ermittlung der restlichen Werte wird im Abschnitt 7.3.2 der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ beschrieben.

### Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

Der Grenzdurchmesser der Bewehrungsstäbe nach DIN EN 1992-1-1/NA darf in Abhängigkeit von der Bauteilhöhe und muss in Abhängigkeit von der wirksamen Betonzugfestigkeit  $f_{ct,eff}$  bei Verwendung von Stahlfasern modifiziert werden.

Auch hier wurde der Faktor  $\alpha_f$  in der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ in die Formeln eingearbeitet. Hier zum Beispiel an der Formel zur Ermittlung der Mindestbewehrung Rissmoment Biegung exemplarisch dargestellt:

$$\phi_s^f = \phi_s^f \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot k_{cr} \cdot f_{ct,eff}}{4(h-d)} \cdot \frac{1}{2,9(1-\alpha_f)^2}$$

$$\geq \phi_s^f \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_f)^2}$$

Der modifizierte Grenzdurchmesser  $\phi_s^f$  steigt also mit wachsendem  $f_{ct,eff}^f$  und damit auch wachsendem  $\alpha_f$  an.

### Berechnung der Rissbreite

Die direkte Berechnung der Rissbreite erfolgt über das Produkt der Differenz der mittleren Dehnung des Betons und Betonstahls multipliziert mit dem maximalen Rissabstand. Sowohl bei der Ermittlung der Differenzdehnungen, als auch bei der Ermittlung des maximalen Rissabstandes fließt die Faserwirkung ein, auch hier jeweils über den bereits bekannten Faktor  $\alpha_f$ .

Differenz der mittleren Dehnung:

$$\varepsilon_{sm}^f - \varepsilon_{cm} = \frac{(1-\alpha_f) \cdot (\sigma_s - 0,4 \times \frac{f_{ct,eff}^f}{\rho_{p,eff}})}{E_s} \geq 0,6 \cdot (1-\alpha_f) \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

maximaler Rissabstand:

$$s_{r,max} = (1-\alpha_f) \frac{\phi_s}{3,6 \times \rho_{p,eff}} \leq (1-\alpha_f) \frac{\sigma_s \times \phi_s}{3,6 \times f_{ct,eff}^f}$$

Zu beachten ist hierbei, dass  $\sigma_s$  ein fiktiver Rechenwert ist, der die Streckgrenze des Stahls überschreiten darf. Unter Berücksichtigung der Faserwirkung  $f_{ct,eff}^f$  darf  $f_{yk}$  natürlich nicht überschritten werden.

Bei reinem Stahlfaserbeton ergibt sich die Rissbreite gemäß Richtlinie einfach zu:

$$\omega_k = s_w^f \cdot \varepsilon_{ct}^f$$

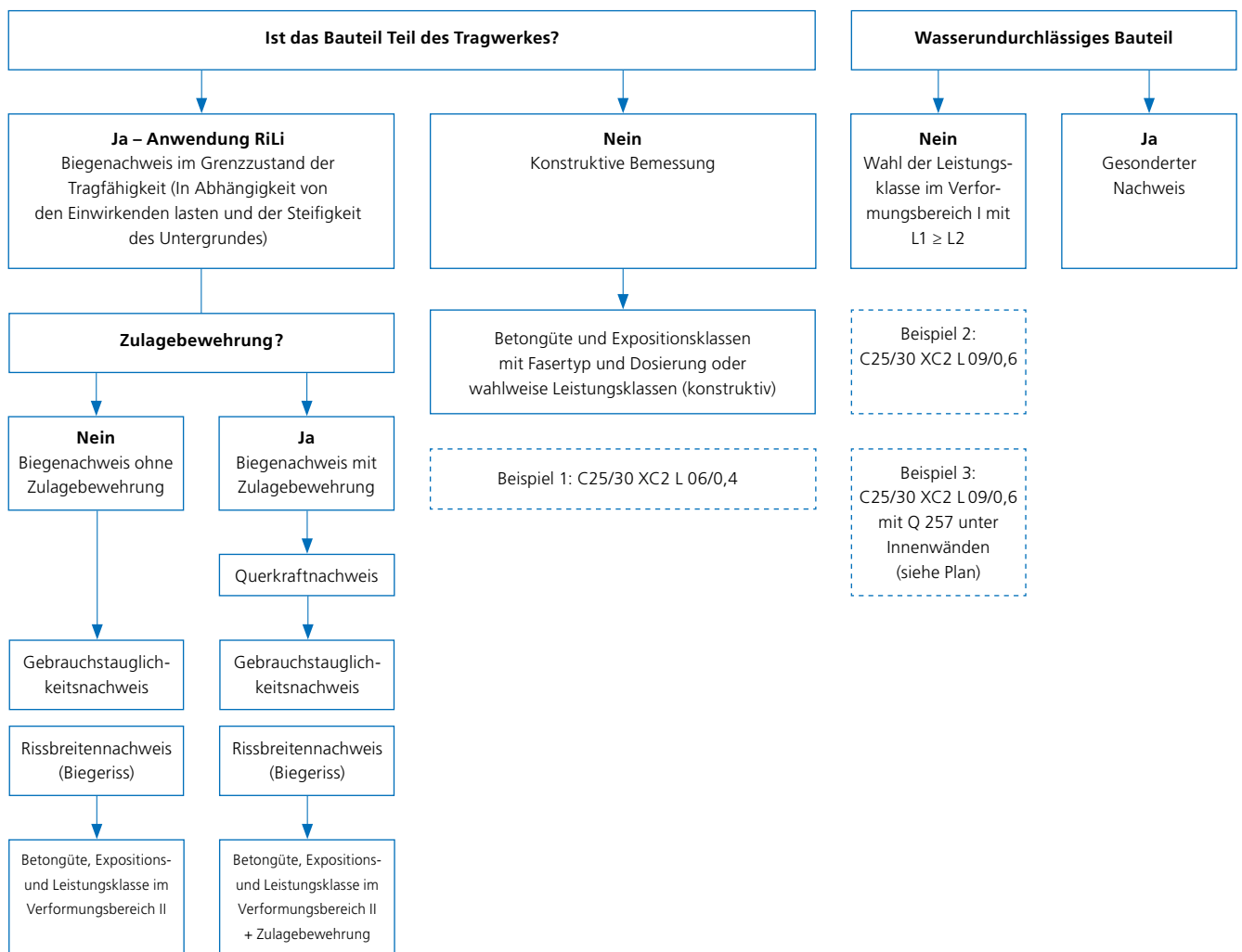
Hierbei muss aber unbedingt beachtet werden, dass der in der Richtlinie angegebene Rissabstand von 140 mm eine Näherung auf Grundlage von Biegebeanspruchung darstellt. Die Formel darf daher auch nur für Biegung angewendet werden!

### Begrenzung der Verformung

Hier gelten keine Besonderheiten im Vergleich zu herkömmlichen Beton. Die Richtlinie weißt allerdings auf die Möglichkeit von Verbundkriechen der Fasern im Zustand II hin. Negative Erfahrungen mit den in der Richtlinie lediglich zugelassenen Fasern mit Endverankerung hinsichtlich Verbundkriechen sind allerdings unbekannt.



#### 4.4 Planungsablauf (Diagramm)



# 5 Stahlfaserbeton

## Hinweise zur Betontechnologie

### 5.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Für die Verwendung von Ausgangsstoffen für FERRODUR-Beton gelten grundsätzlich die Anforderungen an Normalbeton der DIN EN 206-1 / DIN 1045-2, d.h., es dürfen nur Ausgangsstoffe mit nachgewiesener Eignung für die festgelegten Umweltbedingungen ausgewählt werden. Wesentliche Änderungen der Eigenschaften der Betonausgangsstoffe bedingen eine erneute Prüfung der Betonzusammensetzung und der Leistungsklassen. Der Planer einerseits muss auf die Endverwendung des Betons und die Umgebungsbedingungen achten, denen das Bauwerk ausgesetzt wird. Die Bauunternehmung andererseits muss die Einbau- und Nachbehandlungsbedingungen berücksichtigen. Hieraus leiten sich für den Betontechnologen insbesondere ab:

- die Festlegung des w/z bzw. (w/z)<sub>eq</sub>-Wertes
- die Wahl der Art und Menge des Zementes
- die Art, die Korngröße und die Kategorien der Gesteinskörnung
- die evtl. Verwendung weiterer Betonzusatzstoffe und Betonzusatzmittel

#### Zement

Als geeignet gelten Zemente nach DIN EN 197-1 /16/, DIN 1164-10 /17/ und nach DIN EN 14216 /18/.

Zur Erzielung eines optimalen Verbundes zwischen Betonmatrix und Stahlfaser sollte der Mörtel- und Zementleim-Gehalt gegenüber Normalbeton erhöht werden. Hieraus können erhöhte Zementgehalte gegenüber Normalbeton resultieren.

#### Zusatzstoffe

Gesteinsmehle nach DIN EN 12620 /19/ und anorganische Pigmente nach DIN EN 12878 /20/ (Zusatzstoffe Typ I), und Flugasche nach DIN EN 450-1 /21/, Silikastaub nach DIN EN 13263-1 /22/ sowie Trass nach DIN 51043 /23/ (Zusatzstoffe Typ II) sind grundsätzlich geeignet. Im Übrigen sind die Einschränkungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 (Punkt 5.1.6) bzw. der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung zu beachten.

#### Gesteinskörnungen

Als geeignet gelten natürliche Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 /19/ (Nachweis Konformitätsbescheinigung System „2+“) bzw. rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 /24/.

Ist das Größtkorn der Gesteinskörnung  $D_{max}$  größer als der mittlere Faserabstand kann dies zu einer vermehrten Faserkonzentration führen und eine ungleichmäßige Faserverteilung („Igelbildung“) begünstigen. Die Wahl des Größtkorns der Gesteinskörnung  $D_{max}$  wird im Wesentlichen von der Art der Betonförderung, den Einbaubedingungen am Bauteil sowie der verwendeten Faserart bestimmt.

Die Länge der Faser sollte in Abhängigkeit vom Größtkorn der Gesteinskörnungen eine ausreichende Einbindetiefe in der Matrix gewährleisten. Als Faustformel gilt, dass die Faserlänge ca. doppelt so groß sein soll wie das Größtkorn, um diese Einbindetiefe sicherzustellen. Aus den vorgenannten Gründen hat sich eine Begrenzung von  $D_{max}$  auf 16 mm bewährt bzw. als empfehlenswert erwiesen.

Sieblinien sollten einen möglichst stetigen Verlauf im Bereich A und B aufweisen. Für einen optimalen Faserverbund sowie gute Verarbeitungseigenschaften (Verdichtung und Oberflächenschluss) sollten ein ausreichend hoher Feinstsand und Mehlkorngelinhalt vorhanden sein.

### Zugabewasser

Als geeignet gilt Zugabewasser nach DIN EN 1008 /25/.

### Fasern

Für FERRODUR werden ausschließlich Fasern verwendet, welche nach DIN EN 14889 /8/ geregelt sind, eine CE-Kennzeichnung haben und regelmäßig durch eine zugelassene Zertifizierungsstelle nach dem System 1 zertifiziert und überwacht und somit für tragende Bauteile geeignet sind.

Für FERRODUR-Rezepturen wurden je nach regionaler Verfügbarkeit Leistungsklassen mit Stahlfasern verschiedener Hersteller wie:

- Arcelor Mittal
  - Bekaert
  - KrampeHarex
- nachgewiesen.

Die aktuellen FERRODUR-Datenblätter mit den nachgewiesenen Leistungsklassen finden Sie auf der Homepage [www.transportbeton.de](http://www.transportbeton.de) unter dem Button Produkte/Premiumprodukte/FERRODUR. Darüber hinaus gehende Faserzulassungen bedingen ergänzende Erstprüfungen am Beton.

Die Fasern werden entsprechend der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ grundsätzlich im Werk zugemischt!

### Zusatzmittel

Als geeignet gelten Zusatzmittel nach DIN EN 934-2 /26/ bzw. entsprechende mit bauaufsichtlicher Zulassung. Bei der Anwendung sind die Bestimmungen der DIN EN 206/ DIN 1045-2, Punkt 5.2.6 bzw. der bauaufsichtlichen Zulassung zu beachten. In der Erstprüfung wird bei Verwendung mehrerer Zusatzmittel die Verträglichkeit untersucht. Es ist zu beachten, dass bei Verwendung weiterer Zusatzmittel (z.B. zusätzliche Konsistenzveränderung auf der Baustelle), die nicht Bestandteil der EP (Art und Menge) waren, die Gewährleistung der Leistungsklassen entfällt.

### 5.2 Anforderungen aus DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und aus der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

Da FERRODUR den Anforderungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 entspricht, werden die Anforderungen an die Betonzusammensetzung und an die Auswahl

der Ausgangsstoffe aus den Expositionsklassen abgeleitet. Daraus ergeben sich auch alle wesentlichen Anforderungen an z.B. Erstprüfung, werkseigene Produktionskontrolle, Lieferschein und Betonsortenverzeichnis. Spezielle Hinweise für die Betonbestellung werden unter Punkt 5.4. gegeben. Die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ /1/ berücksichtigt rechnerisch die Wirkung der Fasern. Diese wird in der Erstprüfung und im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle durch Ermittlung der Leistungsklasse dargestellt und dokumentiert.

### 5.3 Stahlfaserbeton nach Eigenschaften

FERRODUR wird ausschließlich als Beton nach Eigenschaften entworfen, hergestellt, geprüft und geliefert. Dies bedeutet insbesondere, dass im Betonsortenverzeichnis und auf dem Lieferschein die durch Erstprüfung nachgewiesenen Leistungsklassen L1/L2 dokumentiert werden. Die Leistungsklassen entsprechen den charakteristischen Werten der Nachrissbiegezugfestigkeiten für die jeweiligen Verformungen (L1 für den Nachweis im



Abb. 23: Stahlfaserdosierung mittels Förderband



Abb. 24: Stahlfasereinblasgerät

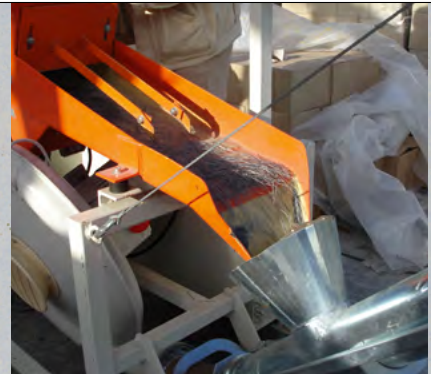


Abb. 25: Stahlfaservereinzelnung

Grenzzustand Gebrauchstauglichkeit; L2 für den Nachweis im Grenzzustand Tragfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung). Damit ist eine Übereinstimmung zwischen der Bemessung nach der DAFStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ /1/ und den Festigkeitseigenschaften des gelieferten Betons gewährleistet.

Der Fasergehalt einer Rezeptur ist nicht übertragbar, d.h. bei wesentlicher Änderung der Eigenschaften der Betonausgangsstoffe bzw. bei Verwendung einer neuen Betonzusammensetzung muss eine neue Erstprüfung und damit der Nachweis der Leistungsfähigkeit durchgeführt werden. Auf eine neue Erstprüfung kann nur dann verzichtet werden, wenn die Leistungsklassen aus der Interpolation bekannter Betonzusammensetzungen (Differenz des Fasergehaltes der geprüften Betone maximal 20 kg/m<sup>3</sup>) oder durch Extrapolation der Druckfestigkeit um nicht mehr als 5 N/mm<sup>2</sup> gewonnen werden. Für die Aussteuerung der Frisch-/Festbetoneigenschaften eines Betons dürfen

folgende Variationen in der Betonzusammensetzung vorgesehen werden:

Zement: ± 15 kg/m<sup>3</sup>

Zusatzstoff: ± 15 kg/m<sup>3</sup>

**Zusatzmittel**

Entsprechend Punkt 5.2.6 der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 kann die Dosierung zwischen 0 und Höchstdosierung erfolgen.

Bei Notwendigkeit der Ermittlung des Stahlfasergehaltes wird dieser dem Protokollausdruck an der Mischanlage bzw. der Produktionsaufzeichnung im Zusammenhang mit der Mischanweisung für die Ladung entnommen.

**5.4 Betonverzeichnis und Betonbestellung**

Für die Bestellung von FERRODUR nach DAFStb-Richtlinie werden die Angaben zum Beton nach Eigenschaften um die Leistungsklassen ergänzt. Die vollständigen Angaben sind im FERRODUR-Daten-

blatt, im Betonsortenverzeichnis und auf dem Lieferschein dokumentiert. Die Betonbestellung muss damit mindestens folgende Angaben enthalten (Beispiel):

Betongüte	C25/30
Leistungsklasse L1/L2	L0,9/0,6
Konsistenz	F4
Expositionsklassen	XC1

FERRODUR ist durch seine Zusammensetzung bei üblichen Fasergehalten von bis zu 50 kg/m<sup>3</sup> pumpbar und sedimentationsstabil. Eine nachträgliche Veränderung der Zusammensetzung ist deshalb nicht zulässig. Die Konsistenzangleichung auf der Baustelle durch Fließmittel bedarf der Abstimmung mit dem jeweiligen Herstellwerk hinsichtlich Art, Typ und maximaler Dosiermenge!

Die Verwendung größerer Gesteinskörnung (> 16 mm) kann zu einer ungleichmäßigen Faserverteilung bzw. Faserkonzentration (sogenannte Igelbildung) führen.



## 6 Stahlfaserbeton

### Hinweise zur Bauausführung



Abb. 26: Auswaschversuch mittels Kontrollsieb



Abb. 27: Ergebnis Auswaschversuch



Abb. 28: Einbau Stahlfaserbeton mit Pumpe

#### 6.1 Baustellenvorbereitung, Lieferung, Einbau und Annahme

Bei der Baustellenvorbereitung ist bei der Verwendung von Stahlfaserbeton im Vergleich zu herkömmlichem Beton nichts Spezielles zu beachten. Bei der Verwendung eines reinen Stahlfaserbetons kann auf die Anordnung einer aufwändigen Sauberkeitsschicht verzichtet werden. In der Regel wird unterhalb von Industriefußböden die Verlegung einer einlagigen oder zweilagigen PE-Folie vorgesehen um Zwangskräfte entsprechend zu minimieren. Eine fachgerechte, straffe und faltenfreie Verlegung der Folie ist von Bedeutung und generell einzuhalten. Der Stahlfaserbeton wird wie Normalbeton mit Betonpumpen gefördert und mit Rüttlern verdichtet. Das Verdichten erfolgt wie bei herkömmlichem Beton. Beim Einbringen des Stahlfaserbetons findet eine weitgehend zufällige Orientierung der Fasern statt. Das Fließen des Betons in der Schalung kann Einfluß auf eine gerichtete Orientierung der Fasern haben. Übermäßig langes Verdichten ist zu vermeiden, da dies zur Fasersedimentation führen kann. Bei Stahlbetonbauteilen muss er die Bewehrung umfließen, ohne dass

sich dabei Fasern vor den Bewehrungsstäben anreichern. Lange Fasern und ein zunehmender Fasergehalt erschweren das Verteilen des Betons mit der Schaufel. Werkzeuge mit Zinken, wie z.B. Rechen, schaffen hier Abhilfe. Auch durch ein geschicktes Verteilen des Betons mit dem Pumpenschlauch bzw. dem Krankübel lässt sich der Aufwand für die handwerkliche Feinverteilung und das nachfolgende Abziehen begrenzen. Erfahrungsgemäß wird Stahlfaserbeton in einer Konsistenz F4 geliefert. Stahlfaserbeton ist selbst bei recht hohen Faserdosierungen pumpbar. Der Schlauchdurchmesser sollte mindestens der 1,5-fachen Faserlänge entsprechen. Die eingemischten Fasern behindern vor allem dann das Pumpen nicht, wenn mittels eines Schutzgitters im Pumpenrichter eventuell vorhandene Faserzusammenballungen zurückgehalten werden. Bei leistungsfähigen Faserbetonen oder komplizierter Pumpleitung ist dennoch ein Vorab-Pumpversuch empfehlenswert.

Für die Überwachungskategorie 1 ist der Stahlfasergehalt des Frischbetons lediglich durch Augenscheinprüfung zu kontrollieren. Für jeden verwendeten FERRODUR-Beton der Überwachungskategorie 2

ist je 300 m<sup>3</sup> oder je 3 Betoniertage eine Fasergehaltsbestimmung durchzuführen. Hier ermöglicht die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ /1/ unter A.1 zwei Möglichkeiten, Bestimmung des Fasergehalts mittels Auswaschversuch oder Prüfung der Nachrissbiegezugfestigkeit mittels Balkenprüfung. Das Annahmekriterium für den Stahlfaserbeton ist in den Tabellen NB.1 und NB.4 geregelt. Eine ausführliche Beschreibung für die Verarbeitung und Qualitätssicherung auf der Baustelle inkl. der im Anhang aufgeführten Tafel 10.2: Umfang und Häufigkeit der Prüfungen bei Stahlfaserbeton finden Sie unter /27/.

#### 6.2 Oberflächenbearbeitung und Nachbehandlung

Hinsichtlich der Schalung gelten bei FERRODUR die gleichen Randbedingungen wie bei herkömmlichen Betonbauteilen. Grundsätzlich kann das Vorhandensein einzelner Stahlfasern an der Oberfläche nicht ganz ausgeschlossen werden. Die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ /1/ sagt dazu: „...Fasern können oberflächennah korrodieren und gegebenenfalls Rostverfärbungen verursachen.“



Abb. 29: Betonübergabe in Pumpe



Abb. 30: Betonverteilung mit Laser-Screed



Abb. 31: geglättete Oberfläche

Eine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit ist damit nicht gegeben.“ Sollten höhere Sichtbetonanforderungen relevant sein, ist der Einsatz korrosionsgeschützter Fasern empfehlenswert.

Die für den Einsatz als Stahlfaserbeton optimierte Zusammensetzung des Mischgutes, die Einbaukonsistenz (insbesondere bei  $\geq F4$ ) und der Schlankheitsgrad (je geringer, desto besser) haben einen wesentlichen Einfluss auf die Anzahl der Fasern an der Oberfläche. Erfahrungen und Untersuchungen zeigen, dass bei Betonen mit einer Konsistenz  $\geq F4$  (sehr weich und mehr) die Stahlfasern sich in Betonrichtung ausrichten und damit nicht mehr homogen verteilen, dies gilt i.d.R. schon bei Ausbreitmaßen größer 500 mm. Dies setzt die Wirkung der Stahlfasern im Beton herab und hat in Abhängigkeit der Bauteilgeometrie und bei ungünstiger Lasteinleitung Einfluss auf den Beiwert der Nachrisszugfestigkeit (Wandbauteil  $k_f = 0,5$ ; Bodenplatte  $k_f = 1,0$ ).

Bei der Herstellung von Industriefußböden wird in der Regel die Oberfläche veredelt, d.h. geschliffen bzw. je nach Beanspruchung und Verwendung wird "frisch in

frisch" eine Hartstoffeinstreuung (Korund-Zementgemisch) oder ein Hartstoffestrich (DIN 18560-7 /28/) aufgebracht.

Generell ist beim Einbau des Betons auf den Schutz vor schädigenden Witterungseinflüssen (Wind, Sonneneinstrahlung) zu achten. Gegebenenfalls ist eine Zwischennachbehandlung mit Curing vorzusehen. Als alleinige Nachbehandlung ist dies jedoch nicht ausreichend.

Die Nachbehandlungsdauer richtet sich nach dem Erhärtungsverhalten des Betons und der Umgebungstemperatur (DIN 1045-3 /29/). Empfehlenswert ist, dass bei Belastung der Bodenplatte, beispielsweise durch erste Einbaumaßnahmen der Ausrüstung, der Beton mindestens 70% seiner Endfestigkeit hat. Für eine vollständige Belastung ist das Erreichen der Endfestigkeit des Betons, die i.d.R. nach 28 Tagen erreicht ist, notwendig. Anstriche und Putze sind auf etwaige Reaktionen mit oberflächennah liegenden Fasern abzustimmen bzw. die Flächen entsprechend vorzubereiten.

Stahlfaserflächen eignen sich auch für die Aufnahme von Beschichtungen. Bei den

Vorbereitungsarbeiten (Kugelstrahlen) sind Zusatzarbeiten wie Spachtelausgleiche oder das Entfernen herausstehender Fasern mit einzukalkulieren.

### 6.3 Fugen

#### Scheinfugen

Die Scheinfuge wird in all jenen Fällen ausgeführt, bei denen die einzelnen Betonierabschnitte durch Schnittfugen in kleinere Felder unterteilt werden. So können die auftretenden Verkürzungen durch planmäßige Rissbildung in der Scheinfuge stattfinden. Die Schnittfuge ist ca. 3–4 mm breit und wird ca. 1/3 der Plattenstärke tief eingeschnitten. Sie wirkt als Sollbruchstelle. Die Rissverzahnung und die Stahlfasern gewährleisten eine Querkraftübertragung zu den jeweiligen Rissufer, vorausgesetzt die Fugenöffnung wird nicht zu groß. In der Praxis haben sich geschnittene Fugenfelder von 5 m bis max. 12 m bewährt. Die Fugenfelder sollten quadratisch gehalten werden. Ist das planerisch nicht möglich, muss im Bereich von Bodenplatten mit Scheinfugen das Länge/Breite (L/B)-Verhältnis 1,5 unterschreiten. Den entstehenden



Abb. 32: Nachbehandlung durch Curingmitte

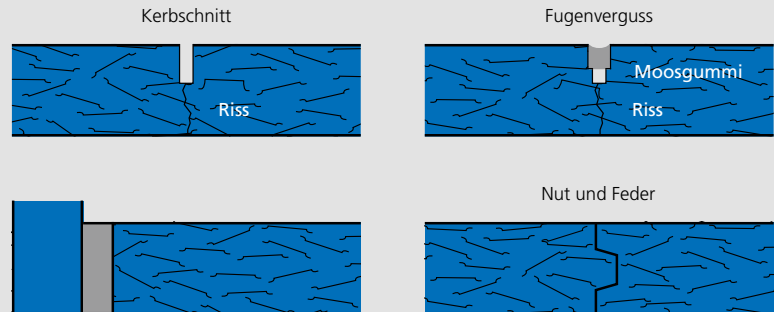


Abb. 33: Fugenarten

Kerbspannungen kann mit einem Rautenschnitt oder mit einer Kerbrissbewehrung entgegengewirkt werden. Sind hohe Beanspruchungen, Lasten oder große Fugenöffnungen zu erwarten, können zur Gewährleistung der Querkraftübertragung die Platten gegeneinander verdübelt werden. Zu beachten ist, dass Scheinfugen in der Regel Folgekosten verursachen. Die Stahlfasern wirken zwar positiv auf die Kanten im Fugenbereich, können aber bei stetig hoher Belastung ein Abbrechen des Betons im Kantenbereich langfristig nicht verhindern. Grundsätzlich sind für Scheinfugen Wartungspläne erforderlich. Je nach Nutzung und Beanspruchung ist eine Instandsetzung bereits nach wenigen Jahren erforderlich.

### Raumfugen

Raumfugen trennen die Bodenplatte von allen aufgehenden Bauteilen (z.B. Wände und Stützen). Je nach Fugenfeldgröße und Schwindmaß des Betons können Raumfugen von 5 mm bis zu 20 mm dick werden. Es gilt: je größer das Fugenfeld, desto breiter die Raumfugen. Als Material wird ein expandierter Polystyrol-Hartschaumstoff eingesetzt, der über die gesamte Plattendicke plus ca. 5 cm Überstand verlegt wird.

### Pressfugen

Sind die zu betonierenden Flächen sehr groß oder sehr verwinkelt, werden die einzelnen Abschnitte gegeneinander betoniert. Die so entstehenden Arbeitsfugen bezeichnet man als Pressfugen. Die Pressfugen durchtrennen die Bodenplatte in ganzer Dicke. Die aneinander liegenden Platten bieten keine oder nur eine sehr geringe Verzahnung und können sich so in vertikaler Richtung gegenläufig bewegen. Dem kann durch Einlegen von Profilleisten, es entstehen Nut und Feder, oder durch Einarbeiten von Dübeln entgegengewirkt werden. Um im Bereich der Pressfugen eine saubere und gradlinige Fuge zu erhalten, wird diese leicht eingeschnitten (ca. 6–8 mm breit und ca. 25 mm tief) und dann mit Dichtungsbändern und Fugenvergussmasse geschlossen.

### Fugengestaltung und Planung

Stützen und Vorsprünge entscheiden i.d.R. beim Scheinfugenschnitt über das Fugenraster. Neben den Wünschen der Bauherren ist auch die Machbarkeit entscheidend. Der Fugenplan ist durch den Planer zu erstellen und muss deshalb die Wünsche des Bauherren (Nutzung)

und der ausführenden Firma (z.B. Einbautechnologie) berücksichtigen.

### Fugenarme Systeme

Im Bereich der Industrieböden steigt der Anteil der fugenarmen Bodenplatten stetig. Fugenfelder von 35 m x 35 m und darüber hinaus sind heute keine Seltenheit mehr. Der werksgemischte FERRODUR-Beton ist schwindarm konzipiert, trotzdem muss auf Grund der Verformung der Bodenplatte (ca. 4 mm/m) sichergestellt werden, dass die Bodenplatte ausreichend von allen aufgehenden Bauteilen wie Stützen und Wänden getrennt ist. Die Raumfugen sind bei fugenarmen Systemen 15–20 mm breit. Die Betonierfelder sind möglichst quadratisch zu wählen, ein Verhältnis von 1 zu 1,3 darf jedoch nicht überschritten werden. Als Arbeits- bzw. Dehnfuge ist ein geeignetes Fugenprofil zu wählen, das sowohl die Verformung, als auch die Querkraftübertragung der einzelnen Betonierfelder gewährleistet. Um die Schwindspannungen möglichst gering zu halten, muss ausreichend nachbehandelt werden, beispielsweise mit Folie (s. Abschnitt 6).



# 7 Literatur

28

## Verzeichnis

- /1/ DAFStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“, Ausgabe November 2012
- /2/ DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton, Fassung Juli 2013
- /3/ DIN EN 206-1  
Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (mit Änderungen A1 und A2), September 2005
- /4/ DIN 1045-2  
Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, August 2008
- /5/ DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, incl. A1 und Ber1, Juni 2012
- /6/ DAFStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BUmWS)“, Ausgabe März 2011
- /7/ DAFStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“, incl. Berichtigung, Ausgabe November 2003
- /8/ DIN EN 14889-1  
Fasern für Beton – Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität, November 2006
- /9/ FEM 9.831-1 Berechnungsgrundlage für Regalbediengeräte, 08.2012
- /10/ FEM 9.832 Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte-Toleranzen. Verformungen und Freimaße im automatischen Kleinteilelager (keine Silobauweise), 08.2001
- /11/ FEM 9.841 Leitfaden Regallagersysteme mit schienengebundenen Regalbediengeräten sowie deren Schnittstellen, 01.2014
- /12/ DIN 18134  
Baugrund - Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch, April 2012
- /13/ DIN EN 14487  
Spritzbeton – Teil 2: Ausführung; Deutsche Fassung: EN 14487-2, Januar 2006
- /14/ DIN EN 14488  
Prüfung von Spritzbeton – Teil 2: Druckfestigkeit von jungem Spritzbeton; Deutsche Fassung EN 14488-2, Januar 2006
- /15/ DIN EN 14488-5  
Prüfung von Spritzbeton – Teil 5: Bestimmung der Energieabsorption bei faser verstärkten plattenförmigen Prüfkörpern; Deutsche Fassung EN 14488-5, August 2006
- /16/ DIN EN 197-1  
Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement, November 2011
- /17/ DIN 1164-10  
Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt, März 2013
- /18/ DIN EN 14216  
Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme, August 2004
- /19/ DIN EN 12620  
Gesteinskörnungen für Beton; 2002+A1, Juli 2008
- /20/ DIN EN 12878  
Pigmente zum Einfärben von zement- und/ oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren, Juli 2014
- /21/ DIN EN 450-1  
Flugasche für Beton – Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien, Oktober 2010
- /22/ DIN EN 13263-1  
Silikastaub für Beton – Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien, Juli 2009
- /23/ DIN 51043  
Traß; Anforderungen, Prüfung, August 1979
- /24/ DIN 4226-100  
Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen, Februar 2002
- /25/ DIN EN 1008  
Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton, Oktober 2002
- /26/ DIN EN 934-2  
Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; 2009+A1, August 2012
- /27/ Monika Helm: Stahlfaserbetone in der Praxis – Herstellung, Verarbeitung, Überwachung, Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2014
- /28/ DIN 18560-7  
Estriche im Bauwesen – Teil 7: Hochbeanspruchbare Estriche (Industrieestriche), April 2004
- /29/ DIN 1045-3  
Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670; 2012 + Berichtigung, Juli 2013



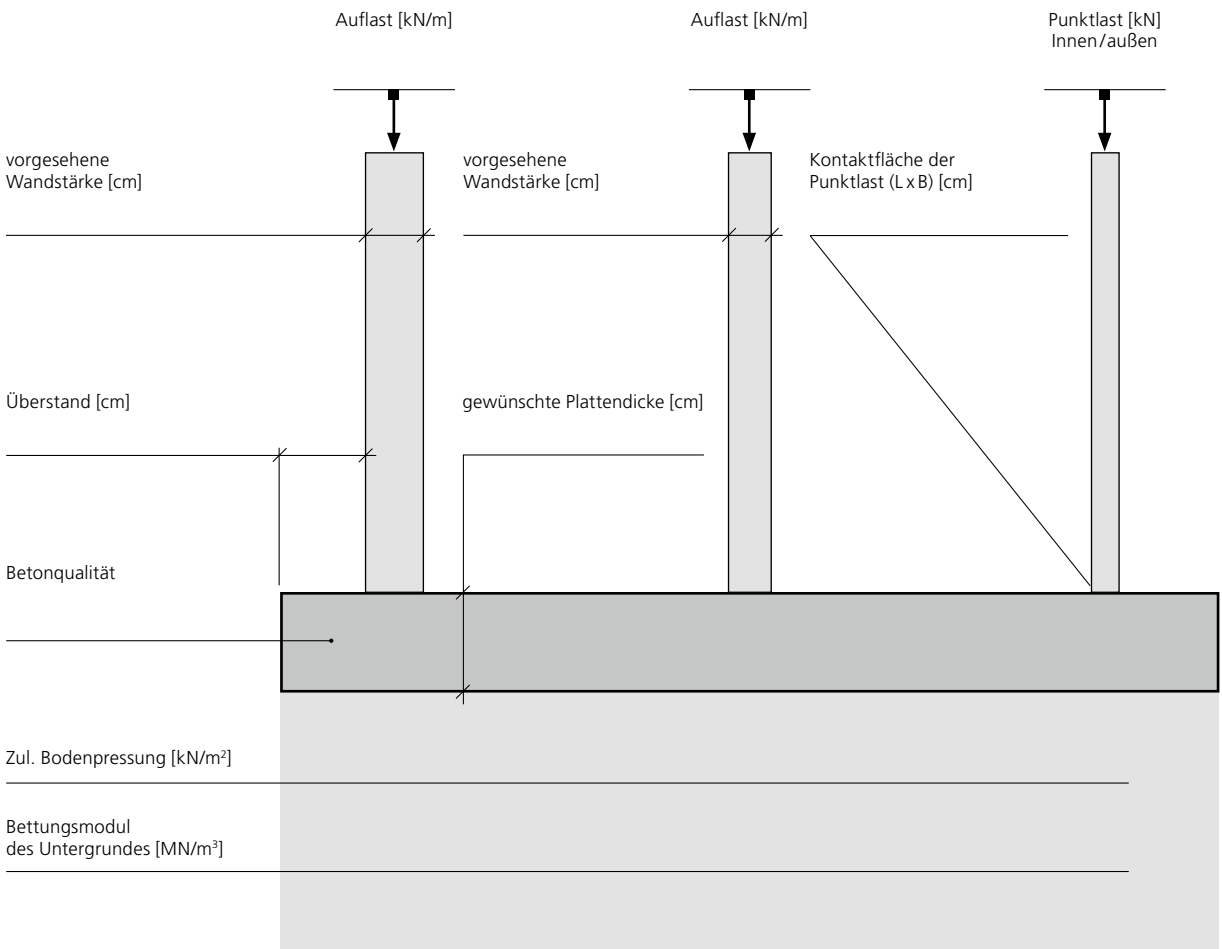
## 8 Anlagen

### Zusammenstellung Prüfungen bei Stahlfaserbeton aus /27/

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Gegenstand	Prüfverfahren	Anforderung	Häufigkeit für Überwachungsklasse	
				1	2
<b>Frisch- und Festbetoneigenschaften</b>					
1	Lieferschein	Augenscheinprüfung	Übereinstimmung mit der Festlegung	jedes Lieferfahrzeug	
2	Konsistenz <sup>a</sup>	Augenscheinprüfung	normales Aussehen wird festgelegt	Stichprobe	jedes Lieferfahrzeug
		DIN EN 12350-2 DIN EN 12350-3 DIN EN 12350-4 oder DIN EN 12350-5	wie festgelegt	in Zweifelsfällen	- beim ersten Einbringen jeder Betonzusammensetzung; - bei Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung; - in Zweifelsfällen
3	Frischbetonrohddichte von Leichtbeton und Schwerbeton	DIN EN 12350-6	wie festgelegt	- bei Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung; - in Zweifelsfällen	
4	Gleichmäßigkeit des Betons	Augenscheinprüfung	homogenes Erscheinungsbild	Stichprobe	jedes Lieferfahrzeug
		Vergleich von Betoneigenschaften	Stichproben müssen die gleichen Eigenschaften aufweisen	in Zweifelsfällen	
5	Druckfestigkeit	DIN EN 12390-3		in Zweifelsfällen	aller 300 m <sup>3</sup> eines Betons oder je drei Betoniertage
6	Luftgehalt von Luftporenbeton	DIN EN 12350-7 für Normal- und Schwerbeton sowie ASTM C 173 für Leichtbeton	wie festgelegt	nicht zutreffend	- zu Beginn jedes Betonierabschnitts; - in Zweifelsfällen
7	Frischbetontemperatur	Temperaturmessung	wie festgelegt	in Zweifelsfällen	bei Lufttemperaturen unter + 5 °C und über + 30 °C beim Einbau des Betons
8a <sup>b</sup>	Stahlfasergehalt des Frischbetons <sup>b</sup>	Augenscheinprüfung	normales Aussehen	Stichprobe	jedes Lieferfahrzeug
		nach Anhang M der Stahlfaserbetonrichtlinie	nach Tab. 10 - 3	–	in Zweifelsfällen
8b <sup>b</sup>	Nachrissbiegezugprüfung an in Formen hergestellten Betonprobekörpern	nach Anhang O der Stahlfaserbetonrichtlinie	nach Tab. 10 - 3	–	in Zweifelsfällen
<b>Technische Einrichtungen</b>					
9	Verdichtungsgeräte	Funktionskontrolle	einwandfreies Arbeiten	in angemessenen Zeitabständen	bei Beginn der Betonierarbeiten, dann mindestens monatlich
10	Mess- und Laborgeräte	Funktionskontrolle	ausreichende Messgenauigkeit	bei Inbetriebnahme, dann in angemessenen Zeitabständen	
<sup>a</sup> in Abhängigkeit vom gewählten Prüfverfahren <sup>b</sup> Prüfungen 8a und 8b dürfen alternativ durchgeführt werden.					

Firma \_\_\_\_\_  
 Straße \_\_\_\_\_  
 PLZ/Ort \_\_\_\_\_  
 Ansprechpartner \_\_\_\_\_  
 Telefon \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_  
 Datum \_\_\_\_\_ Bemessung bis \_\_\_\_\_

Bauvorhaben/Bemerkungen



### Notwendige Daten zur Bemessung des Bauteils

\_\_\_\_\_  
Bauvorhaben

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Tragwerkplaner / Ingenieurbüro

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ausführendes Bauunternehmen

\_\_\_\_\_

- Baugrundgutachten
- Deckblatt der statischen Bemessung
- Lastenplan und statische Bemessung der Position(en) der Bodenplatte
- Bemaßter Grundriss des Bauteils
- Zusätzliche Anforderungen (z.B. Wasserundurchlässigkeit)
- Ggf. vorgesehene Matten- bzw. Stabstahlbewehrung

### System der Fundamentierung

- Sohlplatte mit Streifenfundamenten
- Ideelles Streifenfundament
- Tragende Fundamentbodenplatte

Die in dieser Informationsschrift enthaltenen Angaben sind allgemeine Hinweise, die uns unbekannte chemische und/oder physikalische Bedingungen von Stoffen, mit denen unsere Produkte vermischt, zusammen verarbeitet werden, oder sonst in Berührung kommen (z.B. infolge unterschiedlicher Baustellenbedingungen) nicht berücksichtigen können. Sie sind deshalb unter Umständen für den konkreten Anwendungsfall nicht geeignet. Daher sind vor dem Einsatz unserer Produkte auf den Einzelfall bezogene Prüfungen und Versuche erforderlich. Die Angaben in dieser Informationsschrift beinhalten keine Beschaffheitsgarantie. Mängel- und Schadenersatzansprüche aufgrund der in dieser Informationsschrift gemachten Angaben sind gem. § 444 BGB ausgeschlossen.