

STEELCRETE®

Detailinformationen zu Stahlfaserbeton
für Planer und Verarbeiter



**HEIDELBERGER
BETON**

HEIDELBERGCEMENT Group

ECHT. STARK. GRÜN.



Verfasser

Dipl.-Ing. Raymund Böing studierte an der Universität Essen GH Bauingenieurwesen mit dem Schwerpunkt konstruktiver Ingenieurbau und ist Ressortleiter Betontechnologie Transportbeton in der Abteilung Engineering & Innovation Deutschland der HeidelbergCement AG mit Sitz in Leimen.

Dipl.-Ing. Philipp Guirguis studierte Bauingenieurwesen an der Universität Gesamthochschule Siegen. Seit 2008 ist er bei der Bekaert GmbH als Technischer Leiter für den Bereich Bauprodukte in Mittel- und Osteuropa sowie Westasien zuständig.

Dipl.-Ing. Michael Müller studierte Bauingenieurwesen an der TU München und ist Geschäftsführer der Firma wewaton GmbH Bamberg.

Frank Schuhmacher, Betontechnologe VDB, Vertriebsleiter National, KrampeHarex GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Markus Schulz studierte Bauingenieurwesen an der Universität Dortmund und ist Geschäftsführer der Schulz Concrete Engineering GmbH.

Dipl.-Ing. Martin Spindler studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der TU in Dresden und ist Vertriebsleiter bei ArcelorMittal Wire Solutions Sales Germany GmbH in Köln.

STEELCRETE

Vorwort

Die Idee, Baustoffe, die hohe Druckspannungen, aber lediglich geringe Zugspannungen aufnehmen können, mit Faserzusätzen zu verstärken, ist bereits sehr alt. Schon die Römer gaben ihrem betonähnlichen Baustoff „Opus Caementicium“ Fasern in Form von Stroh und Haaren zu, um Risse zu vermeiden.

Das erste Patent zu faserverstärktem Beton lag im Jahr 1874 in den USA vor. Durch die Zugabe unregelmäßiger Stahlabfälle wurde versucht den Beton zu verstärken. Obwohl in den folgenden Jahrzehnten in den USA, in Frankreich und Deutschland weitere Patente erschienen, gab es bedingt durch hohe Materialkosten, schlechte Prüfbedingungen und die zur gleichen Zeit einsetzende stürmische Entwicklung des Stahlbetons keine breite technische Anwendung des Verbundwerkstoffes Stahlfaserbeton.

Erst in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts hat infolge der fortschreitenden Formulierung theoretischer Grundsätze der Stahlfaserbeton als Baustoff an Bedeutung gewonnen. In den darauf folgenden ca. 20 Jahren hat er sich auch in Deutschland durchgesetzt. Erste Merkblätter des Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein (DBV) zu diesem Thema erschienen 1991 [1] und 1992 [2].

Die ersten bauaufsichtlichen Zulassungen für Stahlfasern erteilte das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) 1997. Hiernach hatten die Stahlfasern den Status eines Betonzusatzstoffes und durften einem Beton nach DIN 1045 zugegeben werden, wobei die Tragwirkung in der Bemessung nicht berücksichtigt werden durfte. Hierfür ist eine sogenannte Bauteilzulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall notwendig. Erste bauaufsichtliche Zulassungen für tragende Bauteile aus Stahlfaserbeton erschienen 1998.

Im Oktober 2001 erschien das DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton [3]. Es beschreibt Anforderungen zur Bemessung, Herstellung und Verarbeitung von Stahlfaserbeton.

Auf Grundlage dieses Merkblattes erarbeitete eine Arbeitsgruppe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton die auf die Bemessung nach DIN 1045-1 [4] abgestimmte Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [5], die im März 2010 veröffentlicht wurde. Seit Juli 2012 werden Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach DIN EN 1992-1-1 [6] bemessen und konstruiert. Die DAfStb Richtlinie Stahlfaserbeton Ausgabe November 2012 [7] berücksichtigt diese Neuerung. Für die nach der Richtlinie zulässigen Anwendungsbereiche und unter den dort beschriebenen Randbedingungen sind keine Bauteilzulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall mehr notwendig.

Das DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“ [3] wurde zurückgezogen. Ein neues DBV-Merkblatt speziell für Industrieböden aus Stahlfaserbeton im bauordnungsrechtlich nicht relevanten Anwendungsbereich ist im Juli 2013 erschienen [8].

Mittlerweile werden die Anforderungen an Stahlfasern in der harmonisierten europäischen Norm DIN EN 14889-1 [9] geregelt. DIN EN 14889-1 legt Anforderungen für Stahlfasern für alle Arten von Beton, Mörtel und Einpressmörtel fest. Nach DIN EN 206-1 [10]/DIN 1045-2 [11] dürfen Stahlfasern dem Beton zugegeben werden.

Ziel der folgenden Ausführungen ist es, Mitarbeitern von Architektur- bzw. Ingenieurbüros und Bauunternehmen Stahlfaserbeton näher zu bringen. Die Leistungsfähigkeit und die Einsatzbereiche dieses modernen Baustoffes werden aufgezeigt, Hinweise zur Bemessung, Herstellung und Verarbeitung des Stahlfaserbetons gegeben. Diese Broschüre gibt nur Hilfestellung und kann nicht als Ersatz für geltende Vorschriften wie z. B. Normen und Richtlinien dienen.

Wir wünschen viel Erfolg bei der Arbeit mit Stahlfaserbeton.

Inhaltsverzeichnis

1. STAHLFASERBETON – DEFINITIONEN UND WIRKUNGSWEISE	
1.1 Definitionen	6
1.2 Wirkungsweise	6
1.3 Vorteile	7
2. STAHLFASERN	
2.1 Allgemeines	8
2.2 Regelungen	9
2.3 Drahtfasern	9
2.4 Weitere Stahlfasern	9
3. LEISTUNGSKLASSEN	10
4. EINSATZBEREICHE	
4.1 Allgemeines	15
4.2 Industrieböden	16
4.2.1 Industrieböden mit Scheinfugen	16
4.2.2 Fugenloser Industrieböden (ohne Scheinfugen)	17
4.2.3 Industrieböden im Außenbereich und andere Freiflächen	17
4.2.4 Pfahlgestützter Industrieböden	17
4.3 Wohnungsbau	18
4.3.1 Bodenplatten	18
4.3.2 Streifenfundamente	18
4.3.3 Kellerwände	18
4.4 Weiße Wanne/Dichtes Bauwerk	19
4.5 Tunnelbau	20
4.5.1 Spritzbeton	20
4.5.2 Stahlfaserpumpbeton	21
4.6 Flächen nach WHG § 19	21
4.7 Weitere vorteilhafte und innovative Anwendungen	22
5. HINWEISE ZUR BEMESSUNG	
5.1 Bemessung von nicht tragenden und nicht aussteifenden Industrieböden	23
5.2 Bemessung anderer Bauteile	24
5.2.1 Bodenplatte/Fundamentplatte	25
5.2.2 Wände	25
5.2.3 Dichte Bauwerke	25
5.3 Mindestbewehrung	26
5.3.1 Berechnung der Rissbreite ohne und mit Betonstahlbewehrung	26
5.4 Konstruktive Zusatzbewehrung	28

6. BETONTECHNOLOGIE, -ANFORDERUNGEN, -HERSTELLUNG UND -BESTELLUNG

6.1 Hinweise zur Erstellung der Rezeptur	29
6.1.1 Zement	29
6.1.2 Gesteinskörnungen (Zuschläge)	29
6.1.3 Zugabewasser	30
6.1.4 Zusatzstoffe	30
6.1.5 Zusatzmittel	30
6.1.6 Stahlfasern	30
6.2 Anforderungen aus DIN EN 206-1/DIN 1045-2	30
6.3 Anforderungen aus Richtlinie/Zulassung	31
6.3.1 DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7]	31
6.3.2 Zustimmung im Einzelfall/bauaufsichtliche Zulassung	33
6.4 Stahlfaserbeton vom Transportbetonhersteller	31
6.4.1 Herstellung	32
6.4.2 Zugabe der Stahlfasern	33
6.5 Stahlfaserbeton nach Eigenschaften	34
6.6 Betonverzeichnis/Betonbestellung und -lieferung	34
6.6.1 Betonbestellung nach Richtlinie [7]	34
6.6.2 Bestellung von Stahlfaserbeton nach Zusammensetzung	35
6.6.3 Lieferung von Stahlfaserbeton	35

7. HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG

7.1 Allgemeines	36
7.2 Anforderungen an den Untergrund	36
7.3 Aufbau (Industrieböden/Gewerbeböden)	36
7.4 Schalung	36
7.5 Boden- und Wandschutzfolien	37
7.6 Randdämmstreifen	37
7.7 Einbau von Stahlfaserbeton	37
7.8 Oberflächenbearbeitungen	38
7.9 Nachbehandlung	39
7.10 Fugen	40
7.10.1 Fugenarten	40
7.10.2 Fugenprofile	41
7.10.3 Fugenplanung	41

8. SCHADENSVERMEIDUNG

8.1 Risse	42
8.2 Oberflächen	43

9. GLOSSAR

44

10. LITERATURVERZEICHNIS

47

11. ANLAGEN

49

1. Stahlfaserbeton – Definitionen und Wirkungsweise

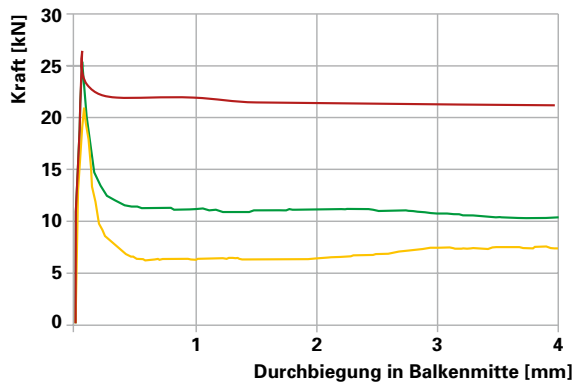
1.1 DEFINITIONEN

Stahlfaserbeton ist ein Normalbeton nach DIN EN 206-1 [10] in Verbindung mit DIN 1045-2 [11], dem zum Erreichen einer Nachrissfestigkeit Stahlfasern beigemischt werden; ein dreidimensional bewehrter Verbundwerkstoff.

Beton hat trotz hoher Druckfestigkeit eine niedrige Zugfestigkeit. Deshalb müssen Zugspannungen durch eine Betonstahlbewehrung aufgenommen werden. Der spröde Beton wird durch die Zugabe von Stahlfasern zu einem duktilen Verbundbaustoff verbessert (s. Bild 1). Diese Fasern sind im Zementstein eingebettet und verbessern vor allem das Nachrissverhalten des Betons. Die Stahlfasern übernehmen je nach Belastung des Betons teilweise oder ganz die Funktion einer traditionellen Bewehrung.

1.2 WIRKUNGSWEISE

Durch die Austrocknung des Betons schwindet dieser und es kommt zu ersten Mikrorissen, die auf die Dauerhaftigkeit in der Regel keinen Einfluss haben.



↑ Bild 1: Lastverformungslinien (Arbeitslinien) von Stahlfaserbetonen mit unterschiedlichem Leistungsvermögen

Beim Anwachsen der Risse stoßen diese bereits nach kurzer Zeit auf eine Stahlfaser, die das Risswachstum hemmt. Generell kann bei reinen Stahlfaserbetonbauteilen ein günstiger Einfluss der Faser auf das Rissverhalten festgestellt werden. Da Fasern fast nie senkrecht zur Rissebene verteilt liegen, entstehen infolge von Umlenkkraften und daraus resultierenden Zugspannungen, so genannte Sekundärrisse. Dies führt zur Rissverzweigung, -versatz und -aufspaltung. Der Eindringwiderstand gegenüber Flüssigkeiten sowie Kornverzahnung und Reibung wird deutlich gesteigert.

Im Vergleich zum bewehrten Beton stellen sich durch Zugabe von Stahlfasern zum bewehrten Beton deutlich kleinere Rissbreiten und Risse mit einem günstigeren Verlauf ein.





← Bild 2: Aufgebrochener Stahlfaserbeton

Im gerissenen Zustand werden die Rissufer miteinander „vernäht“ und somit wird die Kraftübertragung an diesen Stellen gewährleistet. Der mögliche Umfang der einzuleitenden Kräfte nimmt in der Regel mit größer werdender Verformung ab. Der Stahlfaserbeton weist somit eine entsprechende Nachrissfestigkeit auf. Die so genannte Nachrisszugfestigkeit kann, geeignete statische Systeme vorausgesetzt, eine erhebliche Tragfähigkeit von Betonbauteilen bewirken. Die Nachrisszugfestigkeit ist abhängig von der Leistungsfähigkeit der Stahlfaser (Arbeitsvermögen), deren Dosierung und Verteilung sowie der Güte und Zusammensetzung des Betons. Sie wird durch eine Leistungsklasse im Verformungsbereich I (Gebrauchstauglichkeit) oder im Verformungsbereich II (Tragfähigkeit) [7] beschrieben (s. auch Kapitel 3.2).

1.3 VORTEILE

Im Vergleich zu konventionellem Stahlbeton ergeben sich durch Stahlfaserbeton folgende Vorteile:

- Organisatorischer Mehraufwand für das Einbringen und die Kontrolle der Bewehrung entfällt
- Deutliche Vereinfachung des Bauablaufes
- Bewehrungsfehler können weitestgehend ausgeschlossen werden
- Keine Behinderung bei der Verdichtung durch Stabstahl- und Mattenbewehrung
- In der Regel kostengünstiger – es sind Einsparungen bis zu 25 % erreichbar
- Verbessertes Rissverhalten und höhere Schlagfestigkeit
- Deutlich weniger Abplatzungen an Ecken und Kanten des Bauteils, da Stahlfasern bis in die Randzonen des Bauteils wirken
- Die nach der Karbonatisierung auftretende Korrosion an den Stahlfasern erzeugt im Gegensatz zur herkömmlichen Bewehrung nur geringe Expansionskräfte, daher ergeben sich hierdurch in der Regel keine Abplatzungen

2. Stahlfasern

2.1 ALLGEMEINES

Stahlfasern werden unterschieden nach der Herstellungsart, dem verwendeten Material, der Fasergeometrie und der Zugfestigkeit des verwendeten Materials.

Aufgrund ihrer guten technischen Eigenschaften haben sich Stahldrahtfasern als überwiegend genutzte Stahlfasern durchgesetzt. Daneben gibt es Stahlfasern aus Blech, gefräste Stahlfasern und Segmentdrahtfasern. Die Auswahl der Stahlfaser richtet sich nach dem Anwendungsgebiet sowie der erforderlichen Betonqualität.

2.2 REGELUNGEN

Die Anforderungen an Stahlfasern werden in der harmonisierten europäischen Norm DIN EN 14889-1 [9] geregelt. DIN EN 14889-1 legt Anforderungen für Stahlfasern für alle Arten von Beton, Mörtel und Einpressmörtel fest. Für Stahlfasern gibt es zwei verschiedene Systeme der Konformitätsbescheinigung. Stahlfasern für Beton nach DIN EN 206/DIN 1045-2 sind nach System 1 zu zertifizieren. Dadurch ist in Deutschland für alle praktisch relevanten Fälle eine Konformitätsbescheinigung nach System 1 erforderlich. Nach System 1 zertifizierte Stahlfasern erkennt man deutlich an der im EG-Konformitätszertifikat angegebenen Kennnummer der Zertifizierungsstelle und der Zertifikatsnummer. Ausführlich informiert [12] zu diesem Thema.



↑ Bild 3: Stahldrahtfasertypen

2.3 DRAHTFASERN

Die Herstellung von Stahldrahtfasern erfolgt aus kaltgezogenen Drähten verschiedener Werkstoffgüten. Neben blanken Stahldrähten werden verzinkte oder auch Edelstahldrähte verwendet. Für verzinkte Stahlfasern ist bei Verwendung von chromatarmen bzw. chromatreduzierten Zementen die Eignung nachzuweisen.

Die Zugfestigkeit liegt in der Regel zwischen 1.000 N/mm² und 2.400 N/mm². Die Faserlängen variieren je nach Anwendungsfall zwischen 30 und 60 mm, die Durchmesser betragen 0,50 bis 1,30 mm.

Bei Bauteilen aus Stahlfaserbeton oder stahlfaserverstärktem Stahlbeton mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen, bei denen die Nachrisszugfestigkeit in Ansatz gebracht wird, werden ausschließlich Stahldrahtfasern eingesetzt. Die Leistungsfähigkeit der Stahldrahtfasern ist im Wesentlichen abhängig von Faserdurchmesser und -länge (l/d-Verhältnis), Verankerungsart und von der Drahtzugfestigkeit.

Der gebräuchlichste Stahldrahtfasertyp ist eine Stahldrahtfaser mit abgekröpften Enden (s. Bild 3). Daneben werden gewellte und/oder an den Enden gestauchte Stahldrahtfasern in der Baupraxis eingesetzt (s. Bild 3). Je nach Faserform haben diese Fasern unterschiedliche Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Rissbreite.

Bei Stahldrahtfasern mit gleicher Form steigt mit zunehmender Länge und abnehmendem Durchmesser deren Leistungsfähigkeit, die Verarbeitbarkeit hingegen wird anspruchsvoller (s. hierzu auch Kapitel 6.4.2).

Die Leistungsfähigkeit der Fasern steht im Zusammenhang mit der Betonqualität. Dabei hat sich in der Praxis herausgestellt, dass für Betondruckfestigkeitsklassen bis ca. C 30/37 Drahtzugfestigkeiten von 1.000 bis 1.200 N/mm² ausreichend sind, da sich die Fasern aus dem Beton herausziehen und in der Regel nicht reißen. Mit steigender Betondruckfestigkeit gewinnt die Drahtzugfestigkeit der Stahldrahtfaser immer mehr an Bedeutung, da die Rückverankerung der Faser im Beton immer stabiler wird.

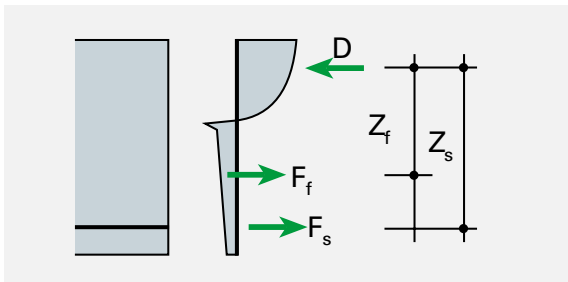
2.4 WEITERE STAHLFASERN

Blechfasern, gefräste Stahlfasern und Segmentdrahtfasern sind auf Grund ihrer geringen Leistungsfähigkeit für die in der Broschüre beschriebenen Anwendungsbereiche nicht zielführend.

Neben den kalt gezogenen Stahldrahtfasern werden in der DIN EN 14889-1 noch weitere Stahlfasertypen (Gruppe II bis V) genannt. Solche Fasern werden aber kaum noch eingesetzt und wenn nur konstruktiv für untergeordnete Anwendungen. Die Verwendung solcher Fasern ist nicht Bestandteil der DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton [7], so dass hier nicht näher auf die Fasertypen eingegangen werden muss.

3. Leistungsklassen

Bei den in der Praxis üblichen Stahlfasergehalten werden in erster Linie die Nachrissbiegezugfestigkeiten, die Schlagfestigkeit und das Verhalten bei dynamischen Belastungen positiv beeinflusst. Die bis zu 20-mal höhere Schlagfestigkeit und das verbesserte Verhalten bei dynamischen Belastungen kann die Lebensdauer bei stark beanspruchten Bauteilen, wie z. B. Müllbunkern, erhöhen. Die aus der Nachrissbiegezugfestigkeit abgeleitete Nachrisszugfestigkeit ist für die Bemessung sowohl im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit, als auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit ansetzbar. Stahlfasern sind dabei in der Lage, Zugkräfte im gerissenen Beton von Rissufer zu Rissufer zu übertragen, so dass ein sprödes Versagen bei geeigneten Bauteilen vermieden wird.

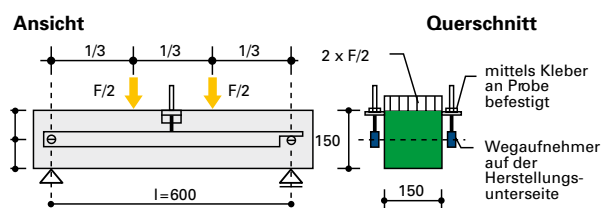


↑ Bild 4: Traganteil Stahlfaserbeton



↑ Bild 5: Stahlfaserbeton Balkenprüfung

Wurde der spröde Baustoff Beton bisher im Wesentlichen durch seine Druckfestigkeit charakterisiert, wird nun das bekannte Parabel-Rechteckdiagramm für die Verteilung von Druckspannungen im Beton um einen Zugkraftanteil ergänzt (s. Bild 4). Das veränderte Tragverhalten von Stahlfaserbetonen wird bei verformungsgesteuerten Versuchen an Biegebalken deutlich. Während ein Beton ohne Stahlfasern nach dem Erstriss spröde versagt, zeichnet sich der Stahlfaserbeton je nach Faserart und Dosierung durch ein ausgeprägtes Tragverhalten nach der Rissbildung aus. Die aus den Biegebalkenversuchen abgeleitete Nachrissfestigkeit stellt die wesentliche zusätzliche Eigenschaft des Stahlfaserbetons dar. Um diese Eigenschaft für den Bemessenden nutzbar zu machen wurde in der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7] des DAfStb eine Einteilung in Leistungsklassen vorgenommen, die abhängig von der Nachrissbiegezugfestigkeit sind.



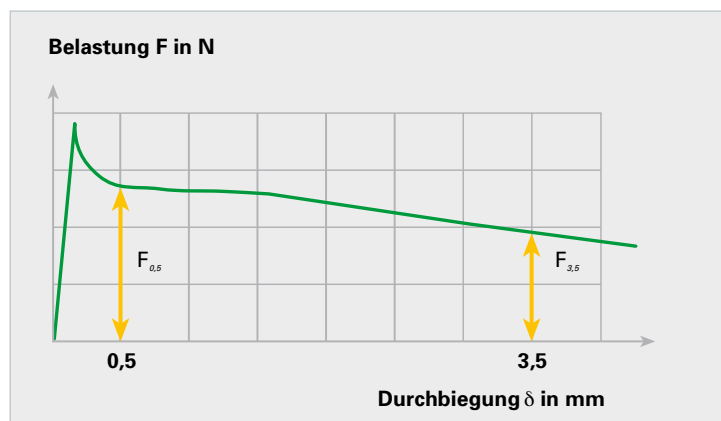
↑ Bild 6: Messvorrichtung zur Ermittlung der Nachrissbiegezugfestigkeit

In der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb[7] wird die Klasseneinteilung anhand der Nachrissbiegezugfestigkeiten vorgenommen.

Gemäß Richtlinie [7] müssen zur Bestimmung der Leistungsklassen mindestens 6 Balken der Maße 150 mm x 150 mm x 700 mm hergestellt werden.

Die Steuerung des Versuchs muss über die Durchbiegung des Prüfkörpers erfolgen, eine Steuerung über den Kolbenweg ist nicht zulässig. Die Durchbiegungsgeschwindigkeit darf bis zu einer Durchbiegung von 0,75 mm nicht mehr als 0,10 mm/min betragen. Bei Durchbiegungen größer als 0,75 mm darf die Durchbiegungsgeschwindigkeit schrittweise auf höchstens 0,30 mm/min erhöht werden. Lasten und Verformungen sind bis zu einer Durchbiegung des Probekörpers von 3,5 mm in Schritten von 0,01 mm zu messen und aufzuzeichnen.

Die Auswertung erfolgt mit Werten an definierten Durchbiegungspunkten. Zur Berechnung der Nachrissbiegezugfestigkeit werden die erzielten Werte aus der Last-Durchbiegungskurve entnommen. In der Regel ist dies für die Gebrauchstauglichkeit die Durchbiegung 0,5 mm, für Tragfähigkeit 3,5 mm (s. Bild 7).



↑ Bild 7: Auswertung einer Lastverformungskurve gemäß [7]

Die Einteilung von Leistungsklassen erfolgt dann anhand der charakteristischen Nachrissbiegezugfestigkeit (s. Tabelle 1).

charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
$f_{\text{cfk,Li}}^f$ [N/mm ²]	a)								b)	b)
Leistungsklasse L1-0,5 mm Durchbiegung L2-0,5 mm Durchbiegung	Einteilung entsprechend Versuchsauswertung, s. u.									
a)	nur für flächenhafte Bauteile $b > 5h$									
b)	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich									

↑ **Tabelle 1:** Einteilung von Leistungsklassen

Zuerst wird aus den einzelnen Ergebnissen gemäß den Gleichungen (1) und (2) der Mittelwert der Serie gebildet:

$$f_{\text{cfm,L1}}^f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_{0,5,i} \cdot l}{b_i \cdot h_i^2} \text{ in N/mm}^2 \quad (1)$$

$$f_{\text{cfm,L2}}^f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_{3,5,i} \cdot l}{b_i \cdot h_i^2} \text{ in N/mm}^2 \quad (2)$$

mit $f_{\text{cfm,Li}}^f$ Mittelwert der Serie für die jeweilige Verformung
 $F_{0,5}$ Last bei 0,5 mm Balkendurchbiegung
 $F_{3,5}$ Last bei 3,5 mm Balkendurchbiegung
 l, b, h Balkengeometrie, vergleiche Bild 6

Die charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit für die jeweilige Verformung ermittelt sich dann nach Gleichung (3) auf Basis einer logarithmischen Normalverteilung.

$$f_{\text{cfk,Li}}^f = e(Lf_{\text{cfm,Li}}^f - k_s \cdot L_s) \leq 0,51 \cdot f_{\text{cfm,Li}}^f \quad (3)$$

mit

$f_{\text{cfk,Li}}^f$ charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit für die jeweilige Verformung
 $Lf_{\text{cfm,Li}}^f$ Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse $f_{\text{cf,Li,i}}^f$

$$Lf_{\text{cfm,Li}}^f = 1/n \cdot \sum \ln(f_{\text{cf,Li,i}}^f)$$

L_s Standardabweichung der logarithmierten Einzelprüfergebnisse der Serie

$$L_s = \sqrt{\frac{\sum (Lf_{\text{cfm,Li}}^f - \ln(f_{\text{cf,Li,i}}^f))^2}{n-1}}$$

k_s Fraktilefaktor für unbekannte Standardabweichung für das 5 %-Quantil mit 75 % Aussagewahrscheinlichkeit gemäß Tabelle 2
 n Probenanzahl

Zeile	Probenanzahl n	Fraktilefaktor k_s
1	6	2,336
2	9	2,141
3	12	2,048
4	15	1,991
5	20	1,932
6	25	1,895
7	∞	1,645

↑ **Tabelle 2:** Schwellenwert t für t-Verteilung

Die Einschränkung auf $f_{cfk,Li} \leq 0,51 \cdot f_{cfm,Li}$ in Gleichung (3) steht in direktem Zusammenhang mit der Definition des Geometriefaktors K_G^i zur Ermittlung der Rechenwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeit.

In der folgenden Tabelle 3 werden beispielhaft die charakteristischen Nachrissbiegezugfestigkeiten für zwei Biegebalkenserien mit gleichem Mittelwert und unterschiedlicher Streuung der Einzelwerte bestimmt. Zum besseren Verständnis wird nur die Verformung L2 ausgewertet.

Die Leistungsklasse ist wesentlich von der gewählten Stahlfaser, der Dosierung und der Betongüte abhängig. Wie im gezeigten Beispiel deutlich wird, haben aber auch die Streuungen einen großen Einfluss. Im Beispiel ist die Leistungsklasse der Serie 2 trotz gleichen Mittelwertes aufgrund der höheren Streuungen niedriger.

Probekörper	Serie 1 [N/mm ²]	Serie 2 [N/mm ²]
1	1,80	1,30
2	1,90	1,40
3	2,00	2,60
4	2,20	3,00
5	2,10	1,20
6	2,00	2,50
$f_{cfm,L2}^f$	2,00	2,00
$f_{cfk,L2}^f$	1,02	0,78
mit	$f_{cfk,L2}^f = 0,51 \cdot f_{cfm,L2}^f$	$f_{cfk,L2}^f = e^{-(L_{f,cfm,L2} \cdot k_s \cdot L_s)}$
Leistungsklasse L2 (siehe Tabelle 1)	0,9	0,6

↑ **Tabelle 3:** Beispiel für den Einfluss der Streuungen bei der Ermittlung von Leistungsklassen

4. Einsatzbereiche

4.1 ALLGEMEINES

Stahlfaserbeton hat sich in der Praxis als effizienter Baustoff für viele Anwendungen etabliert. Für Bauteile mit niedrigem Gefährdungspotenzial kann dieser nach entsprechenden Nachweisen ohne Einschränkung eingesetzt werden. Die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [7] regelt die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus aus Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärktem Stahlbeton bis C50/60 als Ergänzung zur DIN EN 1992-1-1 [6]. Für Industriefußböden ohne bauordnungs- und wasserrechtliche

Anforderungen kann das DBV Merkblatt Industrieböden aus Stahlfaserbeton [8] angewendet werden, welches ebenfalls auf die Leistungsklassen aufbaut. Wegen des niedrigen Gefährdungspotenzials wird hierin ein niedrigeres Sicherheitsniveau in der Bemessung zugrunde gelegt. Für Bauteile mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen außerhalb des Geltungsbereiches der Richtlinie [7] ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt oder eine Zustimmung im Einzelfall notwendig.

Niedriges Gefährdungspotenzial (ohne bauordnungsrechtliche Anforderungen an die Fasern und ohne wasserrechtliche Anforderungen)	Nur mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen		Nur mit wasserrechtlichen Anforderungen	Mit wasserrechtlichen und bauordnungsrechtlichen Anforderungen
Keine tragenden Bauteile nach DIN EN 1992-1-1 [6] / DIN 1045-2 [11]	Unbewehrte Bauteile nach DIN EN 1992-1-1 [6] / DIN 1045-2 [11] (nur konstruktive Bewehrung)	Bewehrte Bauteile nach DIN EN 1992-1-1 [6] / DIN 1045-2 [11] und DAfStb Richtlinie Stahlfaserbeton [7] ¹⁾	DAfStb-Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [15]	Bewehrte Bauteile nach DIN EN 1992-1-1 [6] / DIN 1045-2 [11] und DAfStb Richtlinie Stahlfaserbeton [7] DAfStb-Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [15] ¹⁾
Nutzung der Biegezugfestigkeit (ungerissen) oder der äquivalenten Biegezugfestigkeit (gerissen) (Gebrauchstauglichkeit)	Stahlfasern angesetzt für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	Mindestbewehrung oder Dichtschicht mit Beschränkung der Rissbreiten	Nachweis im Grenzzustand von Trag-/ Gebrauchstauglichkeit sowie der Dichtheit und Mindestbewehrung
Industriefußböden Verkehrsflächen Kellerfußböden Stützmauern bis 1 m Geländesprung Schächte bis 0,9 m Tiefe Tresorbeton	Fundamente Wände Spritzbeton Dünnwandige Fertigteile	Sohlplatten (Fundamentfunktion) Deckenplatten Tragende Wände Tunnelschalen Baugruben- und Hangsicherungen Röhren	Ableitflächen Auffangwannen Ableitkanäle Tankstellenflächen z. B. aus FDE-Beton, SIFCon, SIMCon	Tragende Elemente in Bauwerken mit Dichtfunktion (z. B. Sohlplatten, Wände)

1) Über Zustimmung im Einzelfall oder bauaufsichtlicher Zulassung auch möglich

↑ Bild 8: Anwendungsmöglichkeiten von Stahlfaserbeton



↑ Bild 9: Herstellung Industrieboden



↑ Bild 10: Glätten des Industriebodens

4.2 INDUSTRIEBODEN

Überwiegend kommen elastisch gebettete und nicht für die Standsicherheit des Tragwerks relevante Industrieböden zur Ausführung. Die Bemessung erfolgt in der Regel mittels plastischen Verfahren.

Die Verwendung der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [7] kann gesondert vereinbart werden. Die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ ist als Grundlage bei der Bemessung und Herstellung von tragenden und aussteifenden Industrieböden heranzuziehen. Aus den verschiedenen Landesbauordnungen ergeben sich die maximal möglichen Lagerguthöhen für Regale, ohne dass eine bauaufsichtliche Prüfung und Freigabe der Bemessung notwendig ist.

Die wesentliche Voraussetzung für die Funktion elastisch gebetteter Industrieböden ist eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes. Mögliche Setzungsdifferenzen sind auszuschließen; die Belastungen aus Block-, Verkehrs-, Punkt- und Linienlasten sind mit nur geringen Verformungen in den Untergrund abzuleiten. Die erforderlichen Informationen hierfür liefert ein Bodengutachten. In Abhängigkeit der einwirkenden Belastungen sichert ein ausreichendes Bettungsmodul die Funktionsfähigkeit der elastisch gebetteten Bodenplatte. Grundsätzlich sind die Werte durch einen Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 [13] zu überprüfen.

Maximale Einzellast [kN]	Untergrund E_{v2} [MN/m ²]
≤ 32,5	≥ 30,0
≤ 60,0	≥ 45,0
≤ 100,0	≥ 60,0
≤ 150,0	≥ 80,0

↑ Tabelle 4: Richtwerte für den Untergrund bei elastisch gebetteten Bodenplatten [14]

Maximale Einzellast [kN]	Untergrund E_{v2} [MN/m ²]
≤ 32,5	≥ 80,0
≤ 60,0	≥ 100,0
≤ 100,0	≥ 120,0
≤ 150,0	≥ 150,0

↑ Tabelle 5: Richtwerte für die Tragschicht bei elastisch gebetteten Bodenplatten [14]

Können die geforderten Werte für den Untergrund nicht erreicht werden, ist ein Austausch des entsprechenden Bodenmaterials vorzunehmen oder das System zu verändern (z. B. pfahlgestützte Bodenplatte).

Die Tragschichten unter der Bodenplatte dienen der Lastverteilung. Die Ausführung und die erforderliche Tragfähigkeit werden durch die Einwirkungen auf der Bodenplatte bestimmt. Entspricht bereits der vorbereitete Untergrund den Anforderungen an die Tragschicht (s. Tabelle 4), kann auf diese verzichtet werden.

Dämmungen aus extrudiertem Hartschaum oder Schaumglas sind als zusätzliche Schicht (in Teilbereichen oder vollflächig) möglich. Die Materialien sind in Abhängigkeit der einwirkenden Lasten zu wählen und in der Bauteilbemessung entsprechend zu berücksichtigen. Die notwendigen Informationen sind den Unterlagen der Hersteller zu entnehmen.



↑ Bild 11: Fugenloser Industrieboden

4.2.1 Industrieboden mit Scheinfugen

Bei dieser Bauweise wird die Bodenplatte zum Abbau von Zwangsspannungen durch Scheinfugen (Sollbruchstellen) unterteilt. Die Ausführung in Stahlfaserbeton gilt als Stand der Technik. Hierbei werden meist im Stützenraster (häufig zwischen 6 und 9 m) schnellstmöglich nach dem Betoneinbau die Fugen auf ca. 1/3 Plattendicke eingeschnitten. Die Umweltbeanspruchungen des Bauteils können durch die Nennung der notwendigen Expositionsklassen beschrieben werden. Bei bauordnungsrechtlich nicht relevanten Bauteilen kann auf Anforderungen aus den Expositionsklassen XM verzichtet werden. Die erforderlichen Widerstände gegen mechanischen Verschleiß werden in der Praxis durch das Aufbringen einer Oberflächenvergütung erreicht.

Gerade bei Bauteilen wie Schrottladeplätzen und Müllbunkern (s. auch Kapitel 4.7) kann das duktile Materialverhalten des Stahlfaserbetons für eine Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit genutzt werden. Ebenso bezieht die Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [15] den Einsatz von Stahlfaserbeton mit ein.

4.2.2 Fugenloser Industrieboden (ohne Scheinfugen)

Scheinfugen in einer Bodenplatte sind Schwachstellen. Kantenausbrüche sind in der Regel durch die intensive Nutzung und mechanische Beanspruchung des Bauteils nicht zu vermeiden. Daher stellen Scheinfugen in den meisten Fällen Wartungsfugen dar. Zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften des Industriebodens, vor allem bei hohen Verkehrs- und Punktlasten und hohen Nutzungsfrequenzen, kann dieser fugenlos (ohne Scheinfugen) ausgeführt werden. Die Bodenplatte wird überwiegend auf einer entsprechend wirksamen Gleitschicht (z. B. 2 Lagen PE-Folie zu je 0,2 mm) hergestellt um Zwangsspannungen infolge Reibung zu minimieren.

Aufgrund der sich daraus ergebenden Feldgrößen (häufig bis zu 1200 m² und mehr) sind in der Regel Stahlfasern mit höheren Leistungsfähigkeiten und/oder höhere Stahlfasergehalte erforderlich. Zur Beeinflussung des Frühschwindens des Betons ist die Zugabe von Kunststoffmikrofasern möglich. Die Tagesfelder mit einem Längen zu Breiten-Verhältnis von 1:1 bis 1:1,3 werden durch Fugenprofile miteinander verbunden (Querkraftübertragung) (s. auch Kapitel 7.10.2). So ist es möglich kritische Scheinfugen zu vermeiden und das Bauteil bei gleicher oder verbesserter Gebrauchseigenschaft mit reduzierter Bauteildicke auszubilden. Industrieböden ohne Scheinfugen dürfen nur im Innenbereich, in denen der Industrieboden keinen extremen Witterungsbedingungen ausgesetzt ist, zur Ausführung kommen.



↑ Bild 12: Freifläche aus Stahlfaserbeton

4.2.3 Industrieböden im Außenbereich und andere Freiflächen

Grundsätzlich gelten hier die gleichen Grundlagen und Anforderungen wie für Industrieböden in anderen Einsatzbereichen. Freiflächen und Fahrbahnen unterliegen allerdings darüber hinaus direkt den täglichen und jahreszeitlich bedingten Temperatur- und Wetteränderungen (Wölbspansungen aus Wechsel Tag/Nacht, Hitze/Frost). Auch wenn hier die Stahlfasern günstig wirken, sind Fugenfelder möglichst nicht größer als 6 m x 6 m zu wählen. Durch die isotropen Eigenschaften des Stahlfaserbetons kann bei gleicher Anzahl von Frost/Tauwechselln mit Tausalzbeaufschlagung eine signifikant höhere Stabilität der Oberfläche beobachtet werden.

4.2.4 Pfahlgestützter Industrieböden

Bei schlechten Untergrundverhältnissen ist es häufig wirtschaftlich sinnvoller, den Industrieböden pfahlgestützt herzustellen, als teure Sanierungs- und Verbesserungsmaßnahmen am Untergrund vorzunehmen. Zur Ausführung kommen Systeme mit reiner Stahlfaserbewehrung und Kombinationen mit herkömmlicher Stabstahl- und Mattenbewehrung. Sowohl bei Rüttelstopf- als auch bei Betonpfählen ist eine Anwendung möglich.

Dabei wird die Bodenplatte als von Pfahl zu Pfahl freispannend auf Basis der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7] bemessen, sodass auch bei späteren Setzungen des Untergrundes die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Bauteils gewährleistet ist. Pfahlgestützte Böden werden von DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton [7] explizit eingeschlossen und können somit nach anerkanntem Stand der Technik bemessen und hergestellt werden. Das System kann für die verschiedensten Einwirkungen, also auch bei Hochregallagern eingesetzt werden. In weiten Teilen Europas gehören pfahlgestützte Industrieböden aus Stahlfaserbeton zur allgemeinen Baupraxis.



↑ Bild 13: Pfahlgestützter Industrieböden



↑ Bild 14: Kellerwände aus Halbfertigteilen (mind. 30 cm Wandstärke)



↑ Bild 15: Fertiger Keller aus Stahlfaserbeton

4.3 WOHNUNGSBAU

4.3.1 Bodenplatten

Bei einer Ausführung von Sohlplatten mit gesonderten Streifen- und Einzelfundamenten ist ein Einsatz von Stahlfaserbeton in der Regel ohne besondere Anforderungen möglich. Werden Lasten aus dem Gebäude über die Bodenplatte abgetragen, handelt es sich um eine Fundamentplatte und es ist ein Nachweis gemäß DAfStb Richtlinie Stahlfaserbeton [7] notwendig.

Bei Bodenplatten mit Anforderungen gemäß der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [16] ist eine Kombinationsbewehrung sinnvoll (s. a. Kapitel 4.4). Reine Faserbetonlösungen sind als „Weiße Wanne“ nicht zulässig.

4.3.2 Streifenfundamente

In der Regel sind Streifenfundamente unbewehrt bemessen und werden lediglich konstruktiv bewehrt. Diese konstruktive Bewehrung kann durch Stahlfasern ersetzt werden. Voraussetzung ist eine ausreichende und gleichmäßige Tragfähigkeit des Baugrundes.

4.3.3 Kellerwände

Die Aufgabe des stahlfaserbewehrten Bauteiles liegt vor allem in der Aufnahme des Erddrucks und der aufliegenden Lasten. Die Verbesserung des Rissverhaltens wirkt sich günstig auf die Wasserundurchlässigkeit des Betons aus. Rostpunkte sind bei Verwendung eines Betons mit ausreichendem Mörtel- und Mehlkorngelbalt an den geschalteten Oberflächen meist nicht zu erwarten. Diese können gegebenenfalls durch den Einsatz verzinkter Fasern vermieden werden (Hinweis: Kap. 2.3, 1. Absatz beachten).

Bei Kellerwänden mit Anforderungen gemäß WU-Richtlinie [16] ist eine Kombibewehrung technisch und wirtschaftlich sehr sinnvoll.



↑ Bild 16: Stahlfaserbetonbodenplatte im Wohnungsbau



↑ Bild 17: Einbau des Stahlfaserbetons in eine Kellerwandschalung



↑ Bild 18: Geschalte Kellerwand für Stahlfaserbeton

4.4 WEISSE WANNE / DICHTES BAUWERK

Bei Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit wirkt sich die Eigenschaft des Stahlfaserzusatzes, die Rissflanken zu verbinden sowie Risse aufzusplitten und zu verästeln, besonders positiv aus. Die Risse nehmen einen verzweigten Rissverlauf und sind deutlich feiner. Dadurch werden die Selbstheilungseffekte bei wasserführenden Rissen begünstigt.

Bei Betonbauteilen kommt es in der Regel aufgrund von Zwangsbeanspruchungen, wie das Abfließen der Hydrationswärme und dem Schwindprozess, bereits im frühen Stadium zur Rissbildung. Um für die Konstruktion schädliche Rissbreiten zu verhindern, wird entweder versucht durch konstruktive Maßnahmen, wie zum Beispiel die Anordnung von Fugen, die Rissbildung zu verhindern, oder es wird eine Bewehrung zur Rissbreitenbegrenzung vorgesehen. Die hierbei notwendigen sehr hohen Bewehrungsquerschnitte können durch den Einsatz von Stahlfaserbeton erheblich reduziert werden.

Die für die Rissbreitenbegrenzung notwendige Bewehrung ist wesentlich von der Zugfestigkeit des Betons abhängig. Die bei Rissbildung im wirksamen Beton-

querschnitt frei werdende Zugkraft muss von der Bewehrung aufgenommen werden. Um die Rissbreiten klein zu halten, muss die Bewehrung zusätzlich möglichst fein verteilt sein und die zulässigen Dehnungen im Stahl dürfen nur zu einem Teil ausgenutzt werden.

In der Richtlinie Stahlfaserbeton [7] wird der Wirkung der Stahlfasern durch den Faktor α_f Rechnung getragen. Die notwendige Mindestbewehrung zum Beispiel kann um das Verhältnis der Nachrisszugfestigkeit zur Zugfestigkeit des Betons abgemindert werden. Hierdurch kann in Abhängigkeit von der Leistungsklasse die notwendige Bewehrung wesentlich reduziert werden.

Je mehr sich die ermittelte Nachrissbiegezugfestigkeit der reinen Biegezugfestigkeit des Betons annähert, umso weniger herkömmliche Betonstahlbewehrung ist für den Nachweis der Rissbreite notwendig.

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, wird die Wirkung des Stahlfaserbetons berücksichtigt.

Für den erforderlichen Mindestbewehrungsquerschnitt von Stahlfaserbeton gilt Gleichung (7.1), in der über einen Faktor $(1-\alpha_f)$ der Wirkung der Stahlfasern Rechnung getragen wird. α_f ist dabei das Verhältnis der charakteristischen Nachrisszugfestigkeit zur Zugfestigkeit des Betons und ist in Gleichung (7.2a) und (7.2b) aufgeführt.

4.5 TUNNELBAU

Seit vielen Jahren wird Stahlfaserbeton erfolgreich und in großen Volumina im Tunnelbau eingesetzt. In zahlreichen Ländern gilt dieser Werkstoff als erste Wahl im Tunnelbau. Aufgrund vielfältiger Ursachen ist die Entwicklung in Deutschland leider noch weit von der Situation in Ländern wie z. B. der Schweiz, Spanien und Norwegen entfernt. Nichtsdestotrotz wurden auch in Deutschland eine Reihe von Tunnelbauwerken mit Stahlfaserbeton ausgeführt. Stellvertretend dafür seien der Tunnel Berg Bock in Thüringen und der Tunnel Königshainer Berge in Sachsen (Spritzbeton), die U-Bahn in Essen oder der Hofoldingner Stollen bei München (Tübbing) genannt.

Der grundlegende Unterschied beim Tunnelbau im Vergleich zum üblichen Hochbau liegt in der Art der Beanspruchung. Während beim Hochbau vorwiegend relativ genau bestimmbare Belastungen dominieren, ist dies beim Tunnelbau nicht ganz so einfach. Hier überwiegen Beanspruchungen aus Deformationen (Spritzbetonbauweise) und den Einbauständen (Tübbing).

Sicherheit, Geschwindigkeit und Dauerhaftigkeit sind mit die wichtigsten Kriterien, die ein Baustoff/eine Bauweise erfüllen muss. Stahlfaserbeton hat sich dabei sehr erfolgreich bewährt – allein oder in Kombination mit einer Bewehrung.

4.5.1 Spritzbeton

Der Einsatz von Stahlfaserspritzbeton hat den Vorteil, dass sich der Aufenthalt von Personen im ungesicherten Tunnelbereich minimieren lässt. Eine Verlegung von herkömmlicher Bewehrung ist nicht notwendig, die Bewehrung wird direkt mit dem Beton gespritzt. Der Stahlfaserspritzbeton soll dabei das Gebirge stabilisieren und den Wasserfluss frühestmöglich unterbinden. Im Hinblick auf die Stabilisierung muss das verwendete Material möglichst verformungsfähig („duktil“) und schnell einzubauen sein. Die Kombination aus Stahlfaserbeton und Felsankern hat sich dabei bewährt. Der Einbau der Anker und auch des Spritzbetons kann vom gesicherten Bereich aus mit Robotern bzw. speziellen Maschinen erfolgen, ohne dass sich ein Arbeiter in der unmittelbaren Gefahrenzone aufhalten muss. Das gefährliche, zeitaufwendige und daher auch kostspielige Anbringen von Baustahlmatten entfällt. Bauzeit-



↑ Bild 19: Stahlfaserspritzbetonauftrag im Tunnel

verkürzungen von 30 % sind gegenüber der mattenbewehrten Bauweise durchaus üblich.

Zudem sind deutliche Einsparungen in der Betonmenge möglich, da der Stahlfaserspritzbeton, anders als die Matte, der Kontur des Querschnittes folgen kann. Hohlräume hinter den Matten müssen naturgemäß nicht aufgefüllt werden. Auch der sogenannte „Spritzschatten“ hinter der Bewehrung, der den Verbund reduziert, ist nicht vorhanden. Gleichzeitig wird der Rückprall durch den Wegfall der beim Spritzen störenden Bewehrungsstäbe reduziert. Die Bemessung erfolgt, anders als im Hochbau, nicht über Lasten und daraus ermittelten Schnittgrößen. Vielmehr hilft die Spritzbetonschicht dem Gebirge, sich selbst zu tragen.

International bewährt hat sich das Kriterium der Energieaufnahmefähigkeit in Joule. Abhängig vom anstehenden Gebirge und der Tunnelgeometrie lassen sich erforderliche Werte für den zu verwendenden Stahlfaserspritzbeton ermitteln. Diese sind hauptsächlich aus der Erfahrung abgeleitet und haben sich über Jahre hinweg bewährt [17]. Die international etablierten Plattenprüfungen, die zur Ermittlung des Energieaufnahmevermögens notwendig sind, werden in der DIN EN 14488-5 [18] beschrieben. Die Versuchsergebnisse können nicht für eine Querschnittsbemessung herangezogen werden, da über das Testverfahren eine Systemeigenschaft ermittelt wird. Allerdings entspricht das Prüfverfahren dem statischen System einer rückverankerten Spritzbetonschale, sodass die Verhältnisse im Tunnel dadurch sehr gut abgebildet werden.

4.5.2 Stahlfaserpumpbeton

Stahlfaserpumpbeton wird im Tunnelbau beispielsweise für die Betonage der Innenschale verwendet. Der Bauablauf wird durch den Entfall der Bewehrungsarbeiten wesentlich beschleunigt und vereinfacht. Insbesondere in der Kalotte ist es dann einfacher, ein homogenes und vor allem dichtes Betongefüge herzustellen. In Österreich nimmt die Richtlinie „Tunnelinnenschalen“ [17] explizit Bezug auf die Verwendung von Stahlfaserbeton.

4.6 FLÄCHEN NACH WHG § 19

Bauteile wie Auffangwannen, Dichtflächen von Tankstellen, Ab- und Umfüllstationen oder Gefahrgutlager unterliegen den Anforderungen des § 19 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG). Einer solchen Betonfläche kommt eine Barrierefunktion zu, die das Grundwasser und die Umwelt vor Verunreinigungen durch austretende Lager- oder Umschlaggüter schützen soll. Die Bemessung dieser Bauteile und die Verwendung von Stahlfaserbeton wird in der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ geregelt [15].

Dabei verweist die DAfStb-Richtlinie im Falle des Einsatzes von Stahlfaserbeton bei der Auslegung von Leistungsklassen und Ermittlung der Mindestbewehrung bzw. Beschränkung der Rissweite explizit auf die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7]. Der positive Effekt von Stahlfasern hinsichtlich Rissbildung, Erhöhung des Eindringwiderstandes und der Dichtigkeit im gerissenen und ungerissenen Beton wird daher schon seit längerer Zeit auch praktisch genutzt [19].

Ziel ist es, je nach Anforderung ein rissfreies Bauteil, ein trennrissfreies Bauteil oder ein Bauteil mit Trennrissen mit sehr kleinen Rissbreiten zu erhalten. Verschiedene Regelbauweisen stehen zur Verfügung, die unterschiedliche Abdichtungsmaßnahmen verwenden. Der Betonfläche kann dabei eine ausschließlich tragende oder auch eine tragende und abdichtende Funktion zukommen. Beim letzteren Fall gilt das Prinzip „so viele Fugen wie nötig, jedoch so wenige Fugen wie möglich“. Jede Fuge stellt eine prinzipielle Schwach-

stelle mit Wartungsaufwand dar. Andererseits lassen sich damit Zwangskräfte im Beton, die zur Rissbildung führen können, wirkungsvoll reduzieren.

Häufig werden entsprechend [15] Fugenabstände von 4 m ausgeführt, was jedoch eine erhebliche Zahl an Fugen zur Folge hat. Eine Reihe von Tankstellen wurde beispielsweise nach diesem Prinzip mit Stahlfaserbeton ausgeführt. Die Fasermenge bzw. die Leistungsfähigkeit des Faserbetons wurde dabei anhand der Regelungen in [15] ermittelt.

Abhängig von der Art der auf die Dichtfläche einwirkenden Stoffe kann auch eine rissbreitenbegrenzende Bewehrung bei entsprechend größerem Fugenabstand nachgewiesen werden. In den meisten Fällen ist der Nachweis für einen Trennriss mit $w_k = 0,1$ mm notwendig und/oder eine zusätzliche Beschichtung. Bewährt hat sich dabei eine Kombination aus Stahlfasern und herkömmlicher Bewehrung (s. Kapitel 5.2.3). Ein rechnerischer Nachweis der Rissbreite mit Stahlfaserbeton allein ist nur in Ausnahmefällen möglich (permanente Druckzone in jedem Querschnitt, z. B. infolge von Vorspannung oder Auflast). Für die hier betrachteten Anwendungen mit großen Fugenabständen wird daher immer eine Kombinationsbewehrung erforderlich sein. Mit entsprechend positiven Effekten hinsichtlich Einbaubarkeit von Bewehrung und Beton sowie Verdichtung und damit insgesamt der Bauteildichtigkeit sind dabei deutliche Einsparungen gegenüber der herkömmlichen Bewehrung möglich.



↑ Bild 20: Fahrzeugwaschplätze ausgeführt in Steelcrete



↑ Bild 21: Biodieselanlage – Auffangwanne mit Fundamenten für ein Tanklager ausgeführt in Steelcrete



↑ Bild 22: Biomüllkompostanlage – Bodenplatte und Wände ausgeführt in Steelcrete

4.7 WEITERE VORTEILHAFT UND INNOVATIVE ANWENDUNGEN

Aufgrund der duktilen und isotropen Eigenschaften des Stahlfaserbetons eignet er sich besonders zur Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit von Bauteilen, welche schlagenden und/oder schleifenden Beanspruchungen ausgesetzt sind, wie zum Beispiel bei Schrottladepätzen, Müllbunkern oder Hochwasserschutzmauern. Die Gesetzeslage sieht vor, dass unbehandelte Abfälle nicht deponiert werden dürfen. Die Vorbehandlung dieser Stoffe geschieht auf Dichtflächen im Bereich von Müllaufbereitungsanlagen. Auch hier ist Stahlfaserbeton als Baustoff prädestiniert.

Die Standsicherheit solcher Bauteile wird in der Regel mit herkömmlicher oder in Kombinationsbewehrung (Stahlfaserbeton mit zusätzlicher herkömmlicher Bewehrung) nachgewiesen. In der Regel bestehen bei den genannten Bauteilen Anforderungen aus dem Wasserhaushaltsgesetz. Durch die bessere Risskontrolle des stahlfaserbewehrten Betons (in Kombination mit klassischer Bewehrung) wird die Dauerhaftigkeit (Wasserundurchlässigkeit, Dichtigkeit, Schlagzähigkeit) verbessert. Die DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [15] verweist ausdrücklich auf die empfehlenswerte Verwendung von Stahlfasern. Zur weiteren Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Bauteilen, welche starken schlagenden oder schleifenden Belastungen ausgesetzt sind, empfiehlt es sich, zu der aus der Bemessung resultierenden erforderlichen Bewehrung (Stahlfasern und/oder Bewehrungsstahl) weitere feine Stahlfasern (z. B. Spritzbetonfasern) zuzugeben und somit die Gesamtanzahl der Stahlfasern in der Matrix signifikant zu erhöhen.

Die Unterwasserbetonsohle als temporäres Bauwerk ist schon seit geraumer Zeit bekannt. Der Einbau einer Betonstahlbewehrung zur Aktivierung einer UW-Betonsohle als Biegetragwerk findet kaum noch Anwendung. Das Herunterführen und Befestigen herkömmlicher Bewehrung und das Verdichten im Bereich der Bewehrung unter Wasser ist höchst problematisch. Unbewehrter rückverankerter Beton resultiert durch sein sprödes Materialverhalten (keine Lastumlagerungseigenschaft) und seine begrenzte Querschnittsbiegetragfähigkeit in einer sehr dicken Betonlösung. Unter dem Aspekt höherer Sicherheit (duktiler Verhalten im Bruchzustand) und erhöhter Biegetragfähigkeit durch das günstige Systemtragverhalten (Lastumlagerungsmöglichkeiten nach Erstrissbildung) wird der Stahlfaserbeton bevorzugt. Neben deutlich geringerer Bauteilstärke einer Stahlfaserbetonlösung im Vergleich zu einer unbewehrten Ausführung ist auch die kürzere Bauzeit und die Ausführbarkeit als erheblicher Vorteil zu nennen. Versuche am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (IBMB) der TU Braunschweig haben eindrucksvoll das unterschiedliche Tragverhalten von unbewehrten und stahlfaserbewehrten verankerten Betonplatten demonstriert (s. a. [20]).

5. Hinweise zur Bemessung

5.1 BEMESSUNG VON INDUSTRIEBÖDEN

Überwiegend kommen elastisch gebettete, in Einzelfällen auch pfahlgestützte Industrieböden zur Ausführung. Die Bemessung erfolgt aufgrund der Wirkungsweise des Stahlfaserbetons üblicherweise mittels plastischer Verfahren. Die Fließgelenktheorie (plastisches Verfahren) stellt ein geeignetes Verfahren zur Bemessung stahlfaserbewehrter Platten dar. Mit ihr ist es möglich, den Versagens- und damit auch den Wirkungsmechanismus elastisch gebetteter Platten mit unterkritischer, duktiler Bewehrung (= Stahlfaserbeton) rechnerisch zu erfassen. Nichtlineare Verfahren sind ebenfalls denkbar, erfordern vom Benutzer allerdings eine entsprechend große Erfahrung mit dem Umgang nichtlinearer Software im Zusammenhang mit dem Materialverhalten des Stahlfaserbetons.

Eine Schnittkraftermittlung mittels elastischem Verfahren ist grundsätzlich möglich, bildet allerdings die Systemtragfähigkeit des Stahlfaserbetons nicht vollständig ab und somit bleiben Traglastreserven unberücksichtigt. Bauordnungsrechtlich untergeordnete Bauteile stellen den Großteil aller Industriefußböden dar. Der Deutsche Beton- und Bautechnikverein e. V. (DBV) erarbeitete als Ergänzung zur DAfStb Richtlinie Stahlfaserbeton [7] ein Merkblatt für Industrieböden an die keine bauordnungsrechtliche Anforderungen hinsichtlich Standsicherheit gestellt werden. Das DBV Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“ [8] Ausgabe Juli 2013 bildet die bewährte Bauweise von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton ab.

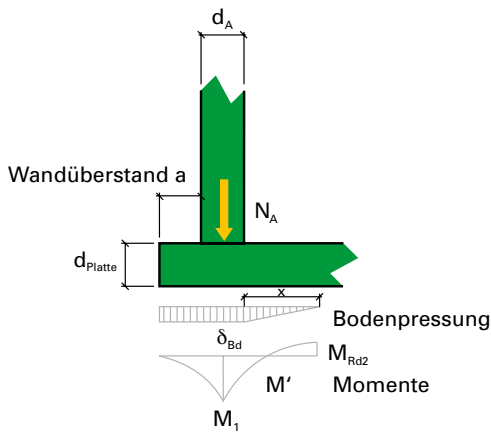
Die Verwendung der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7] kann für Industrieböden ohne bauordnungsrechtliche Anforderungen an die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit und ohne besondere Anforderungen an die Dichtheit gesondert vereinbart werden. Bei bauordnungsrechtlicher Relevanz dieses Bauteils ist die Richtlinie als Grundlage bei der Bemessung und Herstellung heranzuziehen. Mit diesem Regelwerk werden die erforderlichen Grundlagen für die Berechnung und Konstruktion von Bauteilen aus Stahlfaserbeton mit und ohne Betonstahlbewehrung bereitgestellt. Die DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton [7] bezieht sich auf die DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN 1992-1-1/NA [6], DIN EN 206-1 [10] in Verbindung mit DIN 1045-2 [11] und DIN EN 13670 [24] in Verbindung mit DIN 1045-3 [25].

Ein entscheidender Punkt für die Dimensionierung des Industriebodens ist die Steifigkeit des Untergrundes bzw. der Tragschicht. Die notwendigen Informationen liefert ein Bodengutachten. 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 [13] zu überprüfen. Für die Tragschicht ist ein E_{v2} -Wert von mindestens 80 MN/m² notwendig (s. a. Tabelle 5). Das Verhältnis E_{v2}/E_{v1} sollte den Wert 2,5 nicht überschreiten (s. a. Kapitel 4.2). Falls eine Dämmung unter der Bodenplatte verlegt wird, so hat dies einen Einfluss auf das Tragverhalten, indem das Bettungsmodul reduziert wird und somit die Spannungen in der Platte ansteigen. Das resultierende Bettungsmodul kann anhand eines Modells zweier seriell geschalteter Federn ermittelt werden, wobei eine Feder den Untergrund und die zweite Feder die Dämmung darstellt. Die Federkonstanten entsprechen den Steifigkeiten der jeweiligen Materialien.

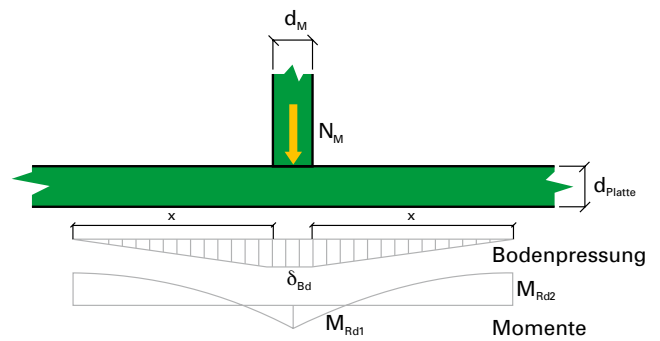
Schwinden und Temperaturschwankungen erzeugen Normalkräfte in der Bodenplatte. Diese sind abhängig von dem Reibungskoeffizienten zwischen Untergrund und Bodenplatte und den Feldabmessungen. Je geringer diese sind, umso geringer sind die Spannungen. Gerade hinsichtlich der Funktionalität sind große Feldabmessungen zum Teil unerlässlich. Neben einem entsprechenden Nachweis ist hier eine empirisch gestützte Einschätzung notwendig.

In der Regel kommt ein Beton mit einer Druckfestigkeitsklasse C25/30 oder C30/37 zum Einsatz. Ein C35/45 sollte nicht überschritten werden. Aus den Umweltbeanspruchungen ergeben sich die dementsprechenden Expositionsklassen. Da bei Industrieböden ohne bauordnungsrechtliche Anforderungen an die Standsicherheit DIN 1045-2 nicht berücksichtigt werden muss, kann je nach Beanspruchung auf die Expositionsklasse XM verzichtet werden.

Anhand eines Formulars (s. Anlage 1, S. 49 „Zur Bemessung von Industriefußböden“) wird unser Kundenbetreuer Ihre Anfrage aufnehmen und zielgerichtet bearbeiten. Rufen Sie uns an. Die passenden Kontaktdaten für Ihre Region finden Sie unter www.heidelberger-beton.de/Kontakt&Verkauf



↑ Bild 24: Darstellung Bemessungsansatz Außenwand auf einer Fundamentplatte



↑ Bild 25: Darstellung Bemessungsansatz Innenwand auf einer Fundamentplatte

5.2.1 Bodenplatte/Fundamentplatte

Wie bereits im Kapitel 5.2 beschrieben, gibt es verschiedene Ausführungsvarianten von Gründungen.

Erfolgt die Gründung auf Streifenfundamenten, so hat die Bodenplatte keine tragende Funktion im Bauwerk (s. Bild 23 links). Es ist nur eine konstruktive Bewehrung erforderlich. Eine Bemessung kann durch den Faserhersteller erfolgen.

Bei Gründung auf einer Fundamentplatte sind Nachweise entsprechend der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7] zu führen (s. Bild 23 rechts). Die Grundlage zur Schnittgrößenermittlung bildet häufig die Plastizitätstheorie. Die Schnittgrößen werden bestimmt aus den ständigen und veränderlichen lotrechten Einwirkungen auf die Fundamentplatte. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich im Abstand x von der Außenwand (AW) bzw. Innenwand (IW) plastische Gelenke bilden.

Der Anteil der Platte zwischen den plastischen Gelenken (AW–IW, IW–IW oder AW–AW) bleibt ohne Berücksichtigung. Der Nachweis auf Biegung erfolgt unter Ermittlung des aufnehmbaren Momentes M_{Rd} und des Abstandes x des plastischen Gelenkes in der Zugzone, jeweils für Außen- und Innenwand getrennt. Auf der Bauteilseite ist nun der Nachweis zu erbringen, dass die Bodenplatte in der Lage ist, das ermittelte Moment M_{Rd} aufzunehmen (s. a. Bilder 24 und 25).

Die Bemessung erfolgt gemäß DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7]. An einspringenden Ecken oder Aussparungen ist eine zusätzliche konstruktive Bewehrung erforderlich (s. hierzu Bilder 28a bis 28c).

5.2.2 Wände

Bei der Bemessung von Wänden ist ebenfalls ein Standsicherheitsnachweis erforderlich. Einwirkende Lastfälle sind beispielsweise Gebäudeauflast, Erddruck oder Wasserdruck. Die Bemessung erfolgt gemäß DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7]. Bei der Ermittlung der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten gemäß der Richtlinie [7] ist wegen der Faserorientierung der Faktor $K_f = 0,5$ zu berücksichtigen.

5.2.3 Dichte Bauwerke

Dichte Bauwerke sind in der DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [16] und in der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [15] geregelt. Diese können ohne gesonderte konstruktive Maßnahmen bei einer rechnerisch nachzuweisenden Rissbreite nicht allein aus reinem Stahlfaserbeton hergestellt werden. Dazu ist in jedem Fall eine Kombinationsbewehrung (Stahlfasern und Betonstahlbewehrung) erforderlich. Die Betonstahlbewehrung kann bei Anwendung von Kombinationsbewehrung reduziert werden, was zu einer wirtschaftlicheren Bauweise führt und auch die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes positiv beeinflusst.



Bild 26: Dichte Bauwerke –
← Einbau des Fugenbandes

5.3 MINDESTBEWEHRUNG

Die positive Wirkung der Stahlfasern wird bereits bei der Ermittlung der Mindestbewehrung deutlich. Die Gleichung zur Ermittlung der Mindestbewehrung gemäß DIN EN 1992-1-1 [6] wurde um einen Faseranteil $(1 - \alpha_f)$ ergänzt. Je höher die Nachrisszugfestigkeit $f_{ctR,s}^f$ wird, desto weniger herkömmliche Bewehrung ist erforderlich.

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

Dabei ist:

$$\alpha_f = \frac{f_{ctR,s}^f}{f_{ctm}}$$

$f_{ctR,s}^f$ Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung.

5.3.1 Berechnung der Rissbreite ohne und mit Betonstahlbewehrung

I. Ohne Betonstahlbewehrung

Die rechnerische Rissbreite ohne Betonstahlbewehrung ergibt sich bei reiner Biegung zu:

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

Dabei ist:

w_k	Rechenwert der Rissbreite
s_w^f	0,140 m
ε_{ct}^f	Zugdehnung des Stahlfaserbetons

Um auf eine herkömmliche Bewehrung vollkommen verzichten zu können ist eine der folgenden Randbedingungen einzuhalten:

- 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 das dauerhafte Vorhandensein einer Druckzone;
- für $\alpha_f \geq k \cdot k_c$

Weiterhin ist stets zu überprüfen, ob die ermittelten Rissbreiten mit den Systemverformungen verträglich sind.



↑ Bild 27: Fertig betonierte Bodenplatte mit vorbereiteten Fugenbändern

II. Mit Betonstahlbewehrung

Für Bauteile mit herkömmlicher Betonstahlbewehrung ergibt sich die rechnerische Rissbreite w_k wie folgt:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}^f - \epsilon_{cm})$$

Dabei ist:

$s_{r,max}$ Maximaler Rissabstand bei abgeschlossenem Rissbild

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

α_f nach Gl. (R.7.2a oder R.7.2b) [7]

ρ_{eff} Effektiver Bewehrungsgrad nach DIN EN 1992-1-1 [6], Gl. (7.10)

ϵ_{sm}^f die mittlere Dehnung des Betonstahls im Stahlfaserbeton unter der maßgebenden Einwirkungskombination unter Berücksichtigung der Mitwirkung des Stahlfaserbetons auf Zug zwischen den Rissen;

ϵ_{cm} die mittlere Dehnung des Betons zwischen den Rissen;

$f_{ct,eff}$ die wirksame Betonzugfestigkeit zum betrachteten Zeitpunkt nach DIN EN 1992-1-1/NA [6], 7.3.3 (2) (hier ohne Ansatz einer Mindestbetonzugfestigkeit);

σ_s Betonstahlspannung im Riss ohne Berücksichtigung der Faserwirkung

ϕ_s Durchmesser des Bewehrungsstahls in mm

Die Differenz der mittleren Dehnung von Beton und Betonstahl kann wie folgt ermittelt werden:

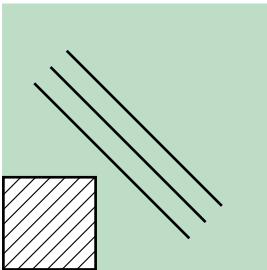
$$(\epsilon_{sm}^f - \epsilon_{cm}) = \frac{(1 - \alpha_f) \cdot \left(\sigma_s - 0,4 \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{1}{\rho_{eff}} \right)}{E_s} \geq 0,6 \cdot (1 - \alpha_f) \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Hierdurch können die Gehalte an herkömmlicher Bewehrung in Abhängigkeit vom Faserbeiwert α_f reduziert werden. Dies ist in erster Linie bei hohen Bewehrungsgehalten wirtschaftlich, wenn von Stabstahlbewehrung auf Mattenbewehrung umgeschwenkt werden kann.

5.4 KONSTRUKTIVE ZUSATZBEWEHRUNG

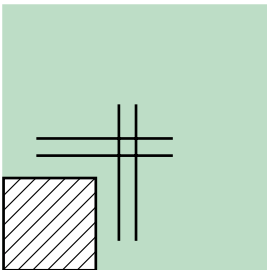
Grundsätzlich sollten alle hinsichtlich der Eigen-
spannungen kritischen Punkte durch konstruktive
Zulagebewehrung aufgenommen werden. Dies
betrifft insbesondere einspringende Ecken, Stützen
oder eckige Plattenaussparungen; hier sind Parallel-
oder Schrägzulagen gegen die hier auftretenden

Kerbspannungen einzulegen. Konstruktive Schwind-
bewehrungen verhindern keine Risse, sie reduzieren
die Rissbreiten auf ein baupraktisch unbedenkliches
Maß. Nachfolgend werden einige Ausführungs-
beispiele für die Anordnung von Bewehrung zur
Aufnahme der Kerbspannung aufgezeigt (s. a. [6]):



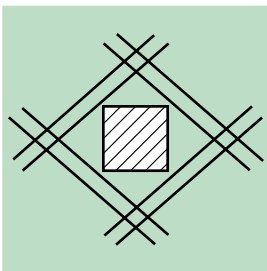
3 x d = 10 mm (o+u)
BSt 500/550 S
l = 1200 mm

← Bild 28 a: Detailvorschlag zur Anordnung konstruktiver Schwindbewehrung an einspringenden Ecken in Bodenplatten (Plattendicke 20 cm).



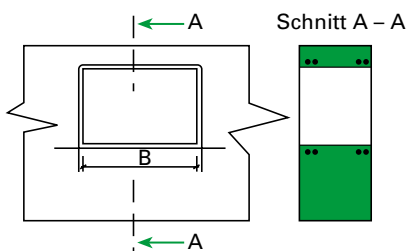
4 x d = 10 mm (o+u)
BSt 500/550 S
l = 1200 mm

← Bild 28 b: Detailvorschlag zur Anordnung konstruktiver Schwindbewehrung an einspringenden Ecken in Bodenplatten (Plattendicke 20 cm).



8 x d = 10 mm (o+u)
BSt 500/550 S

← Bild 28 c: Detailvorschlag zur Anordnung konstruktiver Schwindbewehrung an Pfeilern und Stützen in Bodenplatten (Plattendicke 20 cm).



4 x d = 10 mm, als U gebogen
4 x d = 10 mm, l = B + 1,50 m, als Verbindung U-Stab
BSt 500/550 S

← Bild 29: Konstruktives Detail einer Bewehrung zur Aufnahme von Kerbspannungen an einem Wanddurchbruch (z. B. Kellerfenster)

Achtung: Konstruktive Zusatzbewehrung ersetzt nicht die statisch erforderliche Bewehrung für den Nachweis der Tragfähigkeit!

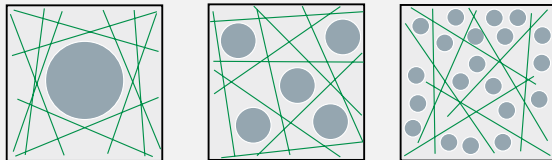
6. Betontechnologie, -anforderungen, -herstellung und -bestellung

6.1 HINWEISE ZUR ERSTELLUNG DER REZEPTUR

Nach [7] ist Stahlfaserbeton ein Beton nach DIN EN 206-1 [10]/DIN 1045-2 [11], dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Stahlfasern zugegeben werden. Der Beton muss u. a. im Mörtelgehalt, dem Größtkorn der Gesteinskörnung und der Konsistenz auf den Einsatzfall angepasst werden.

In der Regel kommen Stahlfaserbetone in den Druckfestigkeitsklassen C25/30 bis C30/37 zum Einsatz. Sind höhere Druckfestigkeitsklassen gefordert, dann ist der Stahlfaserauswahl und -menge besonderes Augenmerk zu schenken. Stahlfasern sind in der Stoffraumrechnung als Zusatzstoff anzusetzen. Dabei kann von einer Dichte von $7,85 \text{ kg/dm}^3$ ausgegangen werden.

An die Ausgangsstoffe für den Stahlfaserbeton werden nach [10] und [11] nachfolgende Forderungen gestellt.



↑ Bild 30: Zusammenhang zwischen Größtkorn und Faserverteilung [21]

6.1.1 Zement

Als geeignet gilt Zement laut DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 Kapitel 5.1.2 und 5.2.2 [10], [11].

Um eine wirksame Ummantelung der Stahlfasern und damit einen ausreichenden Verbund zwischen Betonmatrix und Stahlfaser zu erreichen, benötigt ein Stahlfaserbeton einen ausreichend hohen Mörtelgehalt. Aus diesem Grund weisen Stahlfaserbetone gegenüber den sonst eingesetzten Betonen einen höheren Mörtelgehalt auf, woraus auch höhere Zementgehalte resultieren können.

6.1.2 Gesteinskörnungen (Zuschläge)

Als geeignet gelten Gesteinskörnungen und rezyklierte Gesteinskörnungen gemäß DIN 1045-2 Kapitel 5.1.2 und 5.2.2 [10], [11].

Bei Stahlfaserbeton führen alle Gesteinskörner, die größer als der mittlere Faserabstand sind, zu Faserkonzentrationen. Hierdurch ergibt sich eine ungleichmäßige Faserverteilung, eine sogenannte Igelbildung ist möglich. Dies verschlechtert die Frisch- und Festbetoneigenschaften und die Wirksamkeit der Stahlfasern wird reduziert.

Der (theoretische) mittlere Faserabstand lässt sich nach Romualdi und Mendel [21] nach folgender Formel ermitteln (s. a. Bild 30):

$$d_m = \frac{122 \cdot d}{\sqrt{V_f}} \geq D_{max}$$

- d_m mittlerer Faserabstand in mm
- d mittlerer Faserdurchmesser in mm
- V_f Nominalwert des Fasergehaltes (kg/m^3)
- D_{max} Größtkorn der Gesteinskörnung in mm

Generell ist darauf zu achten, dass ausreichende Mengen an Feinstsand und Mehlkorn vorhanden sind, damit die Fasern ausreichend in der Betonmatrix eingebunden werden können. Beim Abziehen der Betonoberfläche bzw. Verdichten des Bauteils muss ausreichend Mörtel vorhanden sein, um einen Oberflächenschluss zu ermöglichen.

Ausfallkörnungen sind grundsätzlich zu vermeiden.

Ein entscheidendes Kriterium für die Auswahl des Größtkorns ist die Art des Einbringens des Betons, die gewählte Faserart und -dosierung.

6.1.3 Zugabewasser

Als geeignet gilt Zugabewasser nach DIN EN 1008 [22]. Hierbei sind die Kapitel 5.1.4 und 5.2.4 der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 zu beachten [10], [11].

6.1.4 Zusatzstoffe

Als geeignet gelten Zusatzstoffe nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 Kapitel 5.1.6 [10], [11] und solche mit bauaufsichtlicher Zulassung. Für die Verwendung ist Kapitel 5.2.5 der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [10], [11] bzw. die bauaufsichtliche Zulassung zu beachten.

6.1.5 Zusatzmittel

Als geeignet gelten gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [10], [11] Zusatzmittel nach DIN EN 934-2 und solche mit bauaufsichtlicher Zulassung. Bei der Anwendung ist Kapitel 5.2.6 der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [10], [11] bzw. die bauaufsichtliche Zulassung zu beachten. Stahlfaserbeton ist auch als Luftporenbeton möglich.

6.1.6 Stahlfasern

Als geeignet gelten lose Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 [9]. Geklebte oder in einer Dosierverpackung zugegebene Stahlfasern sind nach DIN EN 14889-1 einsetzbar, wenn zusätzlich die Eignung der Lieferform über eine allgemein bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen wird. Die Kennzeichnung von Stahlfasern erfolgt über das CE-Konformitätszeichen und gegebenenfalls einem zusätzlichen Ü-Zeichen. Letzteres trifft z. B. bei geklebten Stahlfasern oder losen Stahlfasern in einer Dosierverpackung zu. Für die in dieser Broschüre genannten Anwendungsbereiche sind ausschließlich Stahlfasern für tragende Zwecke, die nach System 1 zertifiziert sind, zu verwenden (s. hierzu auch Kapitel 2.2).

6.2 ANFORDERUNGEN AUS DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Ein Stahlfaserbeton muss den Anforderungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [10], [11] genügen. Über die Expositionsklassen werden auch hier die Anforderungen an die Zusammensetzung und eventuell die Wahl der Ausgangsstoffe gestellt. Regelungen z. B. bezüglich Erstprüfung, werkseigener Produktionskontrolle, Lieferschein etc. gelten hier in gleicher Weise.

Für den Stahlfaserbeton ergänzende Anforderungen sind in der Richtlinie [7] getroffen (s. hierzu auch Kapitel 6.3.1).

6.3 ANFORDERUNGEN AUS RICHTLINIE/ZULASSUNGEN

6.3.1 DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [7]

Die Richtlinie [7] regelt Eigenschaften und Anwendungen des Baustoffes „Stahlfaserbeton“, die nicht durch DIN EN 1992-1-1 [6], DIN 1045-2 [11] und DIN 1045-3 [26] bzw. die DAfStb-Richtlinien „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [15] bzw. „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [16] abgedeckt sind. In beiden o. g. Richtlinien ist der Einsatz von Stahlfaserbeton bereits vorgesehen.

Die Richtlinie [7] gilt für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus aus

- Stahlfaserbeton und
- Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung

bis einschließlich zur Druckfestigkeitsklasse C50/60. Stahlfaserbeton darf nach dieser Richtlinie nur als Beton nach Eigenschaften hergestellt werden. Stahlfasern müssen im Herstellwerk zugegeben werden.

Die Richtlinie [7] gilt nur bei Verwendung von Stahlfasern mit formschlüssiger, mechanischer Verankerung.

ANMERKUNG: Mechanisch verankerte Fasern sind in der Regel gewellte oder gekröpfte Fasern oder Fasern mit aufgestauchten Köpfen.

Sinngemäß ist die Anwendung dieser Richtlinie [7] auch auf nichttragende Bauteile möglich. Die Anwendung der Richtlinie sollte hierfür im Einzelfall vereinbart werden.

Die Richtlinie [7] „Stahlfaserbeton“ regelt nicht:

- Bauteile aus vorgespanntem Stahlfaserbeton
- gefügedichten und haufwerksporigen Leichtbeton
- hochfesten 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
- selbstverdichtenden Beton
- Stahlfaserspritzbeton

Für die in der Richtlinie [7] geregelten Anwendungen sind keine bauaufsichtlichen Zulassungen mehr notwendig.

Im Rahmen von Erstprüfungen wird an Betonbalken die Leistungsklasse des Stahlfaserbetons nachgewiesen. Die Richtlinie ermöglicht, anhand von Ergebnissen durchgeführter Erstprüfungen, auch ohne Balkenprüfung über den Weg der Interpolation, die Leistungsklassen weiterer Stahlfaserbetone festzulegen (s. [7] Teil 2 Anlage N).

6.3.2 Zustimmung im Einzelfall/bauaufsichtliche Zulassung

Bauordnungsrechtlich relevante Bauteile (z. B. tragende und/oder aussteifende Bauteile), die über den in der Richtlinie [7] beschriebenen Anwendungsbereich hinausgehen, bedürfen auch zukünftig einer „Bauteilzulassung“ des Deutschen Institut für Bautechnik Berlin oder einer Zustimmung im Einzelfall.

Anforderungen zur Betontechnologie, wie Anwendungsbereiche, zu verwendende Stahlfasern, Mindest- und Maximaldosierung, Mindestbetondruckfestigkeitsklasse, Dosierung, Herstellung, Erstprüfung, werkeigene Produktionskontrolle, Transport usw. werden in der Bauteilzulassung definiert.

Bei Stahlfaserbetonen nach bauaufsichtlicher Zulassung ist im Rahmen der werkeigenen Produktionskontrolle die Leistungsklasse nach [7] des Stahlfaserbetons an Betonbalken zu ermitteln.

6.4 STAHLFASERBETON VOM TRANSPORTBETONHERSTELLER

Bei der Bemessung eines Bauteils legt der Planer die Betondruckfestigkeitsklasse und die Leistungsklasse fest. Die Leistungsklassen werden im Rahmen einer Erstprüfung im hierfür zuständigen Labor des Transportbetonlieferanten ermittelt. Hierbei wird die für die Leistungsklassen notwendige Menge an Stahlfasern festgelegt.

Stahlfaserbeton darf nach Richtlinie [7] nur als Beton nach Eigenschaften hergestellt werden. Beton nach Zusammensetzung oder Standardbeton sind hiernach nicht zulässig. Nach [7] ist die Zugabe von Stahlfasern nur im Herstellwerk zulässig. Eine Dosierung der Fasern im Transportbetonwerk gewährleistet sowohl die gleichbleibende Einhaltung der geforderten Leistungsklasse (auf dem Lieferschein dokumentiert) als auch eine durchgängige gleichbleibende Betonqualität durch speziell auf den Stahlfaserbeton abgestimmte Rezepturen (s. weiter Kapitel 6.4.2).

Die Mischanweisung muss neben der Zusammensetzung des Betons Angaben über die Art und Menge der Stahlfasern sowie über die Mischzeit und den Zeitpunkt der Faserzugabe enthalten.

Der Stahlfaserbeton wird als Verbundbaustoff durch den Transportbetonhersteller nach aktuell geltenden Normen hergestellt, laufend überwacht, geprüft und ausgeliefert.

6.4.1 Herstellung

Nach Richtlinie [7] sind die zulässigen Betondruckfestigkeitsklassen C20/25 bis C50/60. Bestimmend für die Güte des Betons sind die Beanspruchungen des Bauteils, die über die Expositionsklassen der Betonnorm [23] beschrieben werden. Hiermit wird die Dauerhaftigkeit des Stahlfaserbetons sichergestellt. Über die Expositionsklassen ergeben sich die Anforderungen an den Beton u. a. bezüglich des Mindestzementgehaltes, des maximal zulässigen Wasserzementwertes und der Mindestbetondruckfestigkeitsklasse. Aus statischen Erfordernissen heraus können höhere Betondruckfestigkeitsklassen, als für die Dauerhaftigkeit des Betons gefordert, notwendig werden.

In der Regel werden Stahlfaserbetone in den Konsistenzklassen F3 bis F5 (Ausbreitmaß 420 bis 620 mm) eingebaut. Noch weichere Konsistenzen sind auch möglich. Hierbei kommen Fließmittel zum Einsatz. Leistungsfähige Fließmittel lassen es zu, den Stahlfaserbeton schon im Transportbetonwerk auf die gewünschte Einbaukonsistenz einzustellen.

Stahlfaserbeton bedarf im Vergleich zu einem Beton ohne Stahlfasern, zum Erreichen eines guten Verbundes, eines höheren Mörtelanteils. Ein nicht ausreichender Feinstkornanteil der Gesteinskörnung kann über die Zugabe von z. B. Steinkohlenflugasche oder Kalksteinmehl ausgeglichen werden.



↑ Bild 31: Transportbetonwerk



↑ Bild 32 a: Aufzug zur Zugabe von Stahlfasern in den Mischer

6.4.2 Zugabe der Stahlfasern

Die Stahlfasern müssen bei bauordnungsrechtlich relevanten Bauteilen im Transportbetonwerk zugegeben werden [7]. Hiermit ist die optimale Integration der Stahlfasern in den Beton gewährleistet. Eine Zugabe auf der Baustelle ist nur bei nicht bauordnungsrechtlich relevanten Bauteilen zulässig, aber wegen des sehr großen Aufwandes nicht zu empfehlen und geschieht in der Regel nicht auf Verantwortung des Betonlieferanten. Aus diesem Grund bleiben hierbei unter Umständen folgende Fragen offen:

- Stimmt die Fasermenge je m^3 ?
- Wurde ausreichend lange gemischt?
- Ist die Rezeptur auf das jeweilige Anwendungsgebiet abgestimmt?
- Ist die Verträglichkeit mit den Zusatzmitteln gewährleistet?
- Ist die Gewährleistung gesichert?

Der Transportbetonhersteller übernimmt für die Eigenschaften des nachträglich veränderten Betons keine Gewährleistung.



↑ Bild 32 b: Rütteltrichter zur Aufgabe von Stahlfasern

Bei einem Verhältnis von Länge/Durchmesser (l/d) von mehr als 60 bzw. bei komplizierten Verankerungsformen (Wellenform etc.) müssen spezielle Maßnahmen getroffen werden, um die Fasern gleichmäßig untermischen zu können. Möglichkeiten sind die Verwendung von verklebten Einzelfasern oder die Nutzung spezieller Dosiertechnik. Eventuell sind spezielle Integrationstechniken (Vereinzelung, längere Mischzeit etc.) zu berücksichtigen. Angaben in den technischen Merkblättern des Faserherstellers sind hierbei zu beachten.

Nachfolgend sind weitere Möglichkeiten für eine Stahlfaserzugabe angegeben:

- per Hand durch Einschütten der Fasern aus der Verpackung in den Mischer (sehr aufwändig)
- per Aufzug (s. Bild 32 a)
- per Förderband mit Rütteltrichter (s. Bild 32 b)
- per Einblasgerät

Die Zugabe der Stahlfasern in den Mischer im Transportbetonwerk bedingt keine Verlängerung der üblichen Mischzeiten.

Sollte bei bauordnungsrechtlich nicht relevanten Bauteilen eine Zugabe der Stahlfasern auf der Baustelle erfolgen, ist zum Erreichen einer gleichmäßigen Verteilung und einer ausreichenden Integration der Stahlfasern in den Beton eine Mindestmischzeit zu beachten. Nach Zugabe der Stahlfasern und des Fließmittels in den Fahrmascher ist bei maximaler Drehzahl (12 Umdrehungen pro Minute) der Fahrzeugtrommel mindestens eine Minute pro Kubikmeter, aber nicht weniger als 5 Minuten zu mischen.

6.5 STAHLFASERBETON NACH EIGENSCHAFTEN

Stahlfaserbeton ist ein über Richtlinie [7] oder bauaufsichtlicher Bauteilzulassung geregelter Baustoff. Mit Stahlfasern können zielsicher die Eigenschaften, insbesondere die Nachrissfestigkeit, von Bauteilen beeinflusst werden. Die angestrebten Eigenschaften werden dabei u. a. von der Stahlqualität, der Stahlfaserart, deren Geometrie (Verankerung), der Menge und der Betongüte bestimmt.

Die Leistungsfähigkeit von Stahlfaserbeton kommt durch die Leistungsklasse nach [7] zum Ausdruck (s. auch Kapitel 3). Der Stahlfaserbeton ist hiermit ein Beton nach Eigenschaften.

Wird ein Stahlfaserbeton mit $x \text{ kg/m}^3$ Stahlfasern bestellt, handelt es sich um einen Beton nach Zusammensetzung. Der Betonhersteller übernimmt in diesem Fall nur die Gewährleistung für die korrekte Stahlfaserdosierung.

Für die Bemessung eines Stahlfaserbetonbauteiles werden vom Tragwerksplaner die Leistungsklassen L1 bzw. L2 (z. B. L1,5/1,2) ausgewählt. Hiermit bemisst er das Bauteil. Beim Transportbetonwerk wird dann der Stahlfaserbeton in entsprechend gewünschter Klasse bestellt.

In der Verantwortung des Betonherstellers steht es, den Beton in der gewünschten Eigenschaft zielsicher herzustellen. Mit seiner werkseigenen Produktionskontrolle stellt er dies sicher. Der Auftraggeber bekommt das Produkt in der gewünschten Qualität.

6.6 BETONVERZEICHNIS, -BESTELLUNG UND -LIEFERUNG

Wird ein Stahlfaserbeton nach Zulassung, nach Richtlinie [7] oder nach Zusammensetzung (Beton mit $x \text{ kg/m}^3$ Stahlfasern) bestellt, so müssen die Angaben zu diesem Beton um verschiedene stahlfaserbetonspezifische Informationen ergänzt werden.

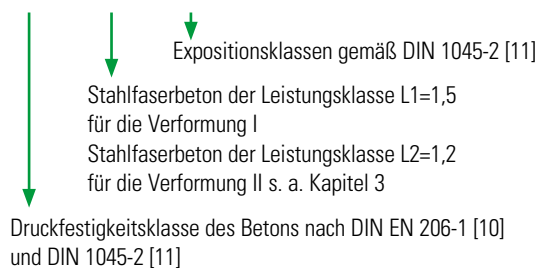
Nachfolgend werden verschiedene Beispiele hierfür gegeben.

6.6.1 Betonbestellung nach Richtlinie

Die DAfStb-Richtlinie [7] teilt den Stahlfaserbeton in Leistungsklassen ein. Der Planer legt bei seiner Bemessung eines Bauteiles die Leistungsklasse fest. Die Richtlinie gibt Auskunft über die korrekte Bestellung eines Stahlfaserbetons. Ein Beispiel hierfür wird nachfolgend gegeben.

Stahlfaserbeton nach DAfStb-Richtlinie [7]

C25/30 L1,5/1,2 XC4, XF1



6.6.2 Bestellung von Stahlfaserbeton nach Zusammensetzung

Stahlfaserbeton wird auch nach Zusammensetzung bestellt. Dem Betonhersteller ist mindestens die gewünschte Menge an Stahlfasern zu nennen. Hierbei sind die Angaben noch durch den Fasertyp und den Faserhersteller zu ergänzen.

Der hiernach gelieferte Stahlfaserbeton darf nicht zur Herstellung von bauordnungsrechtlich relevanten Bauteilen verwendet werden, weil aus dieser Art Bestellung keine Aussage über seine Leistungsfähigkeit hervorgeht.

Hierbei handelt es sich um einen Stahlfaserbeton nach Zusammensetzung. Der Betonhersteller kann in diesem Fall nur für die gewünschte Stahlfaserbetonzusammensetzung gewährleisten.

6.6.3 Lieferung von Stahlfaserbeton

Der Transportbetonhersteller ist auf korrekte und vollständige Angaben bzgl. der gewünschten Produkte angewiesen, damit er aus seinem umfangreichen Lieferprogramm das geeignete Produkt anbieten kann. Wenn er alle Stahlfaserbeton-Varianten anbietet, dann wird im Betonverzeichnis zwischen folgenden Stahlfaserbetonen unterschieden.

- A. Stahlfaserbeton nach DAFStb-Richtlinie [7] unter Angabe der Leistungsklasse
- B. Stahlfaserbeton nach Zusammensetzung (x kg Stahlfasern Y von Faserlieferant Z)

Nur beim Stahlfaserbeton nach A gewährleistet der Hersteller dessen Leistungsfähigkeit (s. a. Kapitel 6.5). Die hiermit verbundene Eigenschaft (Leistungsklasse) wird von ihm durch die in der betreffenden Vorschrift geforderte Erstprüfung, Eigen- und Fremdüberwachung sichergestellt. Er ist somit verantwortlich für das Erreichen der gewünschten Leistungsfähigkeit und in diesem Zusammenhang für die Faserauswahl/-menge und die Betonzusammensetzung.

Beim Stahlfaserbeton B gewährleistet der Betonhersteller nur die Zusammensetzung, d. h. den gewünschten Fasergehalt und wenn gefordert, den Einsatz der gewünschten Stahlfaser.

Zwischen den verschiedenen Stahlfaserbetonen kann im Betonverzeichnis, in der Preisliste, im Angebot, in der Auftragsbestätigung, dem Lieferschein und in der späteren Rechnung des Stahlfaserbetonherstellers eindeutig unterschieden werden, weil dort z. B. folgende zusätzliche stahlfaserbetonspezifische Angaben zu finden sind.

- zu A **Stahlfaserbeton nach DAfStb-Richtlinie [7]**
Stahlfaserbeton L1,2/0,9
- zu B **Stahlfaserbeton mit 25 kg Stahlfasern**

Der Kunde kann an den in den genannten Dokumenten gegebenen Informationen erkennen, welchen Stahlfaserbeton (gemäß A oder B) er bekommt und was der Hersteller bezüglich dieses Baustoffes gewährleistet.

7. Hinweise zur Bauausführung

7.1 ALLGEMEINES

Stahlfaserbeton ist im Wesentlichen wie herkömmlicher Beton einzubauen, zu verdichten und nachzubehandeln. Einige wenige Besonderheiten sowie wesentliche Konstruktionsdetails für typische Bauteile aus Stahlfaserbeton werden nachfolgend erläutert.

7.2 ANFORDERUNGEN AN DEN UNTERGRUND

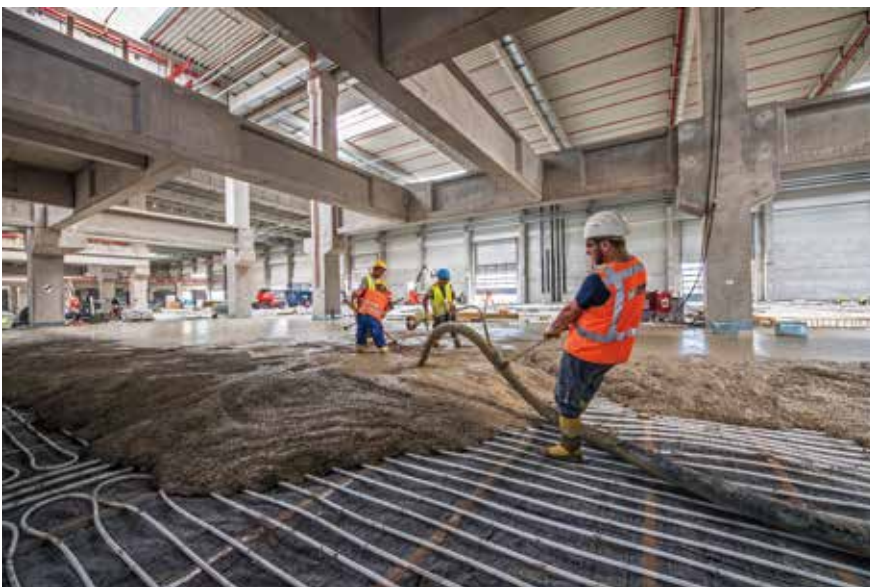
Die Anforderungen, die an den Untergrund von z. B. Industrieböden oder Fundamentplatten im Wohnungsbau gestellt werden, hängen von der jeweiligen Bemessungssituation, insbesondere der vorhandenen Belastung, ab. Es wird daher auf die Kapitel 4.2 „Industrieböden“ und 4.3.1 „Bodenplatten“ verwiesen.

7.3 AUFBAU (INDUSTRIEFUSSBÖDEN)

Industrieböden aus Stahlfaserbeton werden in der Regel in monolithischer Bauweise ausgeführt. Auf den vorbereiteten, verdichteten Untergrund wird in der Regel eine ausreichend tragfähige und ebenfalls sorgfältig verdichtete Tragschicht mit einer entsprechenden Ebenheitstoleranz aufgebracht. Maßgebend sind die Werte des durchgeführten Lastplattendruckversuches [13]. Ist eine Trennlage vorgesehen, kommt in der Regel eine PE-Folie zum Einsatz. Auf ein straffes, faltenfreies Verlegen der Folie ist zu achten. Bei Überlappungen ist die Betonierichtung zu berücksichtigen. Die Folienstärke sollte mindestens 0,2 mm betragen. Bei fugenarmen Böden auf Gleitschicht ist eine geeignete doppellagige Folie notwendig. Der Stahlfaserbeton wird analog zu unbewehrtem Beton direkt aus dem Fahrzeug oder per Pumpe eingebaut, abgezogen, über die Oberfläche verdichtet und in der Regel mit einem Hartstoffeinstreumörtel oder einem Hartstoffestrich vergütet.

7.4 SCHALUNG

In der Regel sind keine Besonderheiten zu beachten.



↑ Bild 33: Einbau des Stahlfaserbetons mit Betonpumpe in der Luftfrachthalle Köln/ Bonn

7.5 BODEN- UND WANDSCHUTZFOLIEN

Beim Betonieren in bestehenden Gebäuden (hauptsächlich Industrieböden) werden vorhandene Oberflächen mittels Folie abgedeckt und vor Verschmutzung geschützt. Beim nachträglichen Betonieren von Bodenplatten (Industrieböden) sollten die Wände mindestens über einen Meter Höhe abgedeckt werden.

7.6 RANDDÄMMSTREIFEN

Randdämmstreifen werden bei Industrieböden und Estrichen zur Ausbildung von Raumfugen verwendet (s. Kapitel 7.10).

7.7 EINBAU VON STAHLFASERBETON

Der Einbau erfolgt analog dem von normalem Beton. Teilweise kann auf den Einsatz einer Betonpumpe verzichtet werden, da der Fahrmischer im günstigsten Fall direkt an den Einbauort fahren kann.

An der Oberfläche befindliche Fasern (im Bauteil vollständig eingeschlossen) sind möglich, stellen aber keinen Mangel und keine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit dar. Um herausstehende Fasern weitgehend zu verhindern, ist ein sachgerechter Einbau (Einrütteln, Abziehen) und eine homogene und geeignete Betonzusammensetzung wesentlich. Bei Industrieböden wird ein sehr guter Einschluss der Stahlfasern in den Beton zusätzlich durch den Einbau einer Hartstoffschicht erreicht.

Stahlfaserbeton ist pumpbar. Hinweise zur Zusammensetzung von Stahlfaserbeton werden in Kapitel 6.1 gegeben. Der Schlauchdurchmesser sollte mindestens der 1,5-fachen Faserlänge entsprechen.

Das Verdichten erfolgt wie bei herkömmlichem Beton. Übermäßig langes Verdichten ist zu vermeiden, da sich ansonsten der Beton entmischen kann.



↑ Bild 34: Einbau von Stahlfaserbeton: Industrieböden



↑ Bild 35: Betonage eines Industriebodens

7.8 OBERFLÄCHENBEARBEITUNGEN

Oberflächennahe Stahlfasern können z. B. bei Freiflächen oder im Bauzustand rosten und dadurch punktuelle Rostverfärbungen an der Oberfläche bilden. Dies ist jedoch hinsichtlich der Dauerhaftigkeit unbedenklich (siehe DAfStb Richtlinie [7] Seite 15 erster Absatz), da der Korrosionsprozess bereits nach wenigen Millimetern unterhalb der Betonoberfläche zum Erliegen kommt. Zudem führen rostende Stahlfasern, anders als die herkömmliche Baustahlbewehrung, nicht zu Abplatzungen des Betons. Aufgrund der Umgebungsbedingungen und entsprechender Oberflächenvergütung ist bei Innenbauteilen in der Regel nicht mit Rostbildung zu rechnen. Freiflächen werden meistens nicht mit einer Hartstoffeinstreuung, sondern nur mit einem Besenstrich versehen. Dabei sind der richtige Zeitpunkt und die Qualität der Ausführung von besonderer

Bedeutung, um nicht nachträglich Fasern an die Oberfläche zu ziehen. Geschalte, gerüttelte Bauteile sind an der Oberfläche meist faserfrei, da sich die Stahlfasern durch das Rütteln etwas von der Schalung entfernen und dadurch von Zementleim vollständig umschlossen werden. Eine zusätzliche Sicherheit bietet die Verwendung verzinkter Fasern (s. hierzu Kapitel 2.3).

Nachträgliches Beschichten von Stahlfaserbeton ist ebenfalls möglich. In Abhängigkeit des eingesetzten Stahlfasertyps und des Einbau- und Verdichtungsverfahrens ist es möglich, dass nach dem Kugelstrahlen der Oberfläche einzelne Stahlfasern herausstehen. Daher muss ein zusätzlicher Arbeitsgang zum Entfernen der zu weit herausstehenden Stahlfasern mit eingeplant werden.



Bild 36: Nachbehandlung im Sommer: → Schutz u. a. vor dem Austrocknen



↑ Bild 37: Glätten eines Industriebodens mit Flügelglätter



↑ Bild 38: Glätten eines Industriebodens mit Rüttelpatsche

7.9 NACHBEHANDLUNG

Auch bei Stahlfaserbeton ist auf eine fachgerechte Nachbehandlung zu achten. Stahlfasern ersetzen die üblichen Regeln für den Betoneinbau und die Nachbehandlung nicht.

Zum Erreichen der gewünschten Betoneigenschaften muss der Beton bis zur ausreichenden Erhärtung, insbesondere der oberflächennahen Schicht, gegen schädigende Einflüsse geschützt werden. Die hierfür durchzuführenden Maßnahmen bzw. Randbedingungen sind in der DIN 1045-3 [25] dargelegt.

Im Industriebodenbau wird in vielen Fällen nach dem Verdichten ein Hartstoffestrich aufgezogen oder Hartstoffestreichmörtel in die Oberfläche eingearbeitet und abschließend geglättet. Unmittelbar nach der Endbearbeitung ist eine Nachbehandlung des Stahlfaserbeton, z. B. durch das Auflegen einer PE-Folie und/oder das vollflächige Auftragen eines Nachbehandlungsmittels durchzuführen.

Ist eine Beschichtung des Betons vorgesehen, ist das Nachbehandlungsmittel hierauf abzustimmen. Andernfalls sollte z. B. das Abdecken mit PE-Folie vorgezogen werden.



Bild 39: Nachbehandlung im Winter: → Schutz u. a. vor dem Auskühlen

7.10 FUGEN

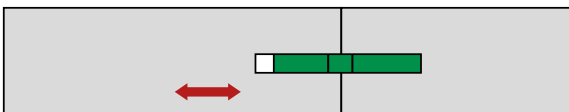
7.10.1 Fugenarten

Scheinfugen

Scheinfugen werden in die Bodenplatte eingeschnitten, um einen planmäßigen Riss herbeizuführen. Sie werden auch als Schnittfugen bezeichnet und wirken als Sollbruchstelle. Mit der Rissbildung werden Zugspannungen abgebaut. Die Fuge ist ca. 3 bis 4 mm breit und wird über 1/3 der Plattendicke eingeschnitten.

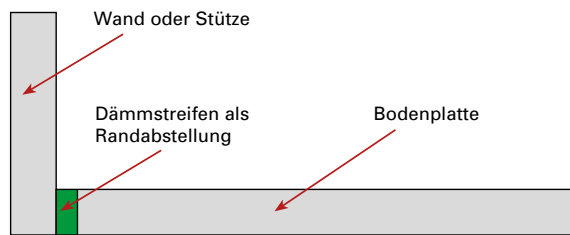
Stützen sind mit einem „Rautenschnitt“ von der Platte zu trennen (s. Bild 42). Alternativ kann eine um die Stütze herum verlaufende Schaumstoffeinlage in Verbindung mit Kerbrissbewehrung verwendet werden.

Nachteilig an Schnittfugen kann der Unterhaltsaufwand durch abgeplatzte Kanten infolge des Befahrens mit harter Bereifung (Stahlrollen, Polyamid, teilweise auch Vulkolan) sein. Stahlfasern verzögern hier zwar das Herausbrechen von Beton, können den Schädigungsprozess jedoch nicht komplett aufhalten. Aus diesem Grund werden hochbeanspruchte Böden meist als fugenarme Konstruktion unter Verwendung von Fugenprofilen ausgeführt (s. Kapitel 4.2.2).



↑ Bild 40: Verdübelung an der Pressfuge

Durch die Fasern wird die Rissoberfläche unregelmäßiger und rauer. Dadurch sind gegenüber unbewehrtem Beton größere Kräfte über die Rissufer hinweg übertragbar. Dies setzt jedoch keine allzu großen Fugenöffnungen voraus. Aus diesem Grund haben sich in der Praxis Fugenabstände von 5 bis 8 m bewährt. Vereinzelt werden auch Schnittfugenabstände bis 12 m realisiert. In der Bemessung wird die Querkraftübertragung über die Fuge hinweg oft durch eine Spannungsabminderung berücksichtigt. Bei höheren Beanspruchungen oder größeren Fugenöffnungen können Schnittfugen auch verdübelt ausgeführt werden.



↑ Bild 41: Raumfuge



↑ Bild 42: Rautenschnitt

Pressfugen

Pressfugen durchtrennen die Bodenplatte in gesamter Dicke (s. Bild 40). Sie entstehen, wenn einzelne Bauabschnitte gegeneinander betoniert werden. Durch einen Nachschnitt erhält man eine saubere Fugenlinie. Die Querkraftübertragung ist durch eingelegte Dübel oder Profile sicherzustellen. Dübel Durchmesser und -abstand werden durch die zu erwartende Belastung bestimmt. Eine horizontale Bewegung ist zu sichern.

Es sind mittlerweile auch spezielle Dübel erhältlich, die zusätzlich eine Bewegungsmöglichkeit parallel zum Plattenrand sicherstellen. Dies ist besonders wichtig bei großen Fugenlängen oder zeitlich sehr weit auseinander liegenden Betonierabschnitten. Im Industriebodenbau hat sich der Einsatz von Fugenprofilen durchgesetzt (s. Kapitel 4.2.2).

Raumfugen

Raumfugen trennen einzelne verschiedene Bauteile voneinander (z. B. Bodenplatte gegen Wände s. Bild 41). Sie bestehen aus einem komprimierbaren Schaumstoff und reichen über die gesamte Plattendicke. Die Anordnung einer Raumfuge ist insbesondere an allen Plattenrändern und um sämtliche Einbauteile herum erforderlich, die den Industrieboden durchdringen.

7.10.2 Fugenprofile

Mit zunehmender Verbreitung von fugenarmen Industrieböden stehen eine Reihe verschiedener Fugenprofile zur Verfügung. Sie stellen zum einen durch integrierte Stahlprofile eine wirksame Sicherung gegen abplatzende Kanten dar. Zum anderen ermöglichen fest angeschweißte Dübel, Knaggen o. ä. die Übertragung höherer Lasten selbst bei größeren Fugenöffnungen. Die horizontale Beweglichkeit ist senkrecht und parallel zur Fuge gegeben.

Fugenprofile sind integraler Bestandteil fugenarmer Böden und stellen zudem für bestimmte Fälle eine sinnvolle Ergänzung herkömmlicher Böden dar.

Für die Fugenanordnung sollten folgende Randbedingungen eingehalten werden:

- Möglichst quadratische Feldeinteilung ($l/b < 1,5$)
- Kein Versprung im Fugenraster („T-Fuge“)
- Keine spitzen Winkel
- Keine einspringenden Ecken oder zumindest Absicherung durch Kerbrissbewehrung

7.10.3 Fugenplanung

Vor Ausführungsbeginn sollte stets ein Fugenplan erstellt werden, der Lage und Art der Fugen eindeutig beschreibt und auf den Bauablauf abgestimmt ist. Eine „baubegleitende“ Fugenplanung führt oftmals nicht zum beabsichtigten Ergebnis. Meist wird das Stützenraster als Grundlage des Fugenrasters herangezogen.

8. Schadensvermeidung

8.1 RISSE

Da bei herkömmlichen Fasergehalten die Zugfestigkeit (Biegezugfestigkeit) des Betons höher ist als die Nachrisszugfestigkeit (Nachrissbiegezugfestigkeit) sind Rissbreitenbegrenzungen – bei zentrischem Zwang – nur durch den Einsatz von Stahlfasern nicht möglich. Entweder wird durch konstruktive Maßnahmen versucht eine Rissbildung zu vermeiden, oder aber eine der folgenden Randbedingungen ist für einen Nachweis der Rissbreite gegeben:

- Es sind Normalkräfte vorhanden, wobei deren Exzentrizität unter Berücksichtigung der Momente II. Ordnung zu so geringen Zugspannungen führt, dass die aus der Betonstauchung am gedrückten Rand ermittelte klaffende Fuge am gezogenen Rand die Begrenzung der Rissbreiten einhält.
- Das System ist äußerlich statisch unbestimmt und lässt Schnittgrößenumlagerungen zu, die zu weiteren Rissbildungen führen.
- Das System ist innerlich statisch unbestimmt (z. B. durch Stabstahlbewehrung) und lässt im Querschnitt Spannungsumlagerungen zu, die in benachbarten Querschnitten weitere Risse erzwingen.

Konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung von Rissen sind zum Beispiel das Einschneiden von Scheinfugen bei Industrieböden als geplante Sollbruchstellen und reibungsmindernde Maßnahmen zwischen Betonplatte und Tragschicht durch z. B.:

- Viskose (bituminöse) Gleitschichten
- zweilagige PE-Folien
- PTFE-Folien
- Sandschichten aus rolligem Material

Verzahnungen mit dem Untergrund z. B. durch Streifenfundamente oder Pumpensümpfe und Querschnittsänderungen, die zu Spannungskonzentrationen führen können (rechteckige Aussparungen und sprunghafte Änderungen von Querschnittsdicken), sind zu vermeiden. Ausrundungen einspringender Ecken sind zu empfehlen.

Zwangspannungen können durch Raumfugen (s. Bild 41) oder durch eingeschnittene Sollbruchfugen (s. Bild 42) vermindert werden. Fugenschnitte sollten mindestens 1/3 der Plattendicke erfassen und zum frühestmöglichen Zeitpunkt (spätestens nach 24 h) erfolgen.

Sollten sich einspringende Ecken nicht vermeiden lassen, muss in jedem Fall eine konstruktive Zusatzbewehrung (s. Kapitel 5.4) angeordnet werden. Diese Bewehrung kann Risse zwar nicht verhindern, allerdings werden die Rissbreiten begrenzt.

8.2 OBERFLÄCHEN

Stahlfasern stellen eine dreidimensional verteilte Bewehrung im Beton dar. Daher können Fasern auch im oberflächennahen Bereich liegen. Fasern an der Oberfläche können unter ungünstigen Umgebungseinflüssen rosten. Dies stellt lediglich eine optische Beeinträchtigung dar. Aufgrund der geringen Faserquerschnitte reicht die Volumenzunahme beim Korrosionsprozess nicht aus um Abplatzungen hervorzurufen. Durch einen Hartstoffestreichmörtel/-estrich oder Beschichtung der Oberfläche können Rostpunkte in der Regel sicher vermieden werden.

9. Glossar

→ **BETON NACH EIGENSCHAFTEN [23]**

Beton, für den die geforderten Eigenschaften und zusätzliche Anforderungen dem Hersteller gegenüber festgelegt sind, der für die Bereitstellung eines Betons, der den geforderten Eigenschaften und den zusätzlichen Anforderungen entspricht, verantwortlich ist.

→ **BETON NACH ZUSAMMENSETZUNG [23]**

Beton, für den die Zusammensetzung und die Ausgangsstoffe, die verwendet werden müssen, dem Hersteller vorgegeben werden, der für die Lieferung eines Betons mit der festgelegten Zusammensetzung verantwortlich ist.

→ **BIEGEZUGFESTIGKEIT [3]**

wird aus der Last beim Erstriss im Biegezugversuch im maßgebenden Intervall von etwa 0,1 mm Durchbiegung (an Balken 15 x 15 x 70 cm) ermittelt.

→ **DUKTILITÄT (ZÄHIGKEIT)**

Vermögen eines Werkstoffes, eines Bauteils oder eines Verbindungsmittels, sich unter Beanspruchung zu verformen, ohne zu versagen.

→ **ELASTIZITÄTSMODUL [6]**

nennt man den Materialkennwert für das elastische Verformungsverhalten eines durch Druck oder Zug beanspruchten Werkstoffs.

→ **EXPOSITIONSKLASSE [23]**

Klassifizierung der chemischen und physikalischen Umgebungsbedingungen, denen der Beton ausgesetzt werden kann und die auf den Beton, die Bewehrung oder metallische Einbauteile einwirken können und die nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung eingehen.

→ **FASERGEHALT [3]**

ist der Gehalt an Stahlfasern im Festbeton. Er kann in Massenanteilen m_f (kg/m³) oder in Volumenteilen V_f (m³/m³) angegeben werden. Bei Stahlfaserspritzbeton ergibt sich dieser als Differenz aus Faserdosierung minus Faserverlust durch den Rückprall.

→ **FROST-TAUSALZ-WIDERSTAND**

nennt man die Fähigkeit des erhärteten Betons im durchfeuchteten Zustand Frost- und Frost-Tauwechseln einschließlich der Tausalzeinwirkungen zu widerstehen.

→ **LEISTUNGSKLASSEN [7]**

Kennzeichnung der charakteristischen Werte der Nachrissbiegezugfestigkeiten von Stahlfaserbeton für die Verformungen 1 und 2. Den Verformungen 1 und 2 sind Durchbiegungswerte im Versuch nach [7] Teil 2, Anhang O, zugeordnet.

→ **NACHRISSZUGFESTIGKEIT [7]**

Fiktive Festigkeit des Stahlfaserbetons in der Zugzone nach Überschreiten der Zugfestigkeit des reinen Betons. Die tatsächlich in den Stahlfasern auftretenden Zugkräfte werden auf die Fläche der Betonzugzone bezogen; die resultierende Krafrichtung ist normal zur Rissfläche orientiert.

→ **NACHRISSBIEGEZUGFESTIGKEIT [7]**

Der Biegezugfestigkeit entsprechender Wert des Querschnittswiderstandes bei Biegung nach Ausbildung von Rissen.

→ **STAHLFASERBETON [7]**

Stahlfaserbeton ist ein Beton nach DIN EN 206-1 [10]/DIN 1045-2 [11], dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Stahlfasern zugegeben werden.

→ **STANDBETON [23]**

Beton nach Zusammensetzung, dessen Zusammensetzung in einer am Ort der Verwendung des Betons gültigen Norm vorgegeben ist.

→ **SCHEINFUGEN**

sind Sollbruchstellen in Betonflächen, die unkontrollierte Temperatur- und Schwindrisse vermeiden.

→ **SCHWINDEN [26]**

Unter Schwinden wird die Volumenverringerng des unbelasteten Betons während des allmählichen Austrocknens verstanden. Das Ausmaß des Schwindens hängt vor allem von den Austrocknungsbedingungen, den Bauteilabmessungen, dem Wasserzementwert und dem Zementsteinvolumen ab. Bei langsamer Austrocknung gelten für Normalbeton in der Regel Schwindmaße von 0,2 bis 0,5 mm/m.

→ **SCHLAGFESTIGKEIT [27]**

Als Schlagfestigkeit wird die Beanspruchbarkeit des Betons durch eine Vielzahl gleicher Schläge mit vorgegebener Energie verstanden. Sie kann durch die bis zur vollständigen Zerstörung ertragene Schlagzahl beschrieben werden. Die Schlagfestigkeit kann durch die Betonzusammensetzung und die Erhärtingsbedingungen beeinflusst werden. Bei Beanspruchung des Betons durch Schlag oder Stoß wird eine bestimmte kinetische Energie in einer extrem kurzen Zeit übertragen. Das Verhalten unter Schlagbeanspruchung hat praktische Bedeutung vor allem für Betonrammpfähle. Stoßartige Beanspruchungen treten z. B. bei Dalben und Eisenbahnschwellen auf. Eine erhebliche Verbesserung wird durch die Zugabe von Stahlfasern erreicht.

Für Beton mit hoher Schlagfestigkeit soll der Wasserzementwert möglichst bei etwa 0,40 liegen und 0,45 nicht überschreiten. Der Abfall der Schlagfestigkeit ist bei einer Erhöhung des Wasserzementwertes von 0,40 auf 0,50 besonders hoch und viel größer als der Abfall der Druckfestigkeit oder der Spaltzugfestigkeit.

→ **STRECKGRENZE**

heißt diejenige Spannung, bei der Fließen von Stahl einsetzt, ohne dass die anliegende Spannung weiter erhöht wird. Kommt es bei Fließbeginn sogar zu einem Spannungsabfall, zeigt der Werkstoff eine obere und eine untere Streckgrenze. Diese werkstoffspezifische Größe wird im Zugversuch ermittelt.

→ **ZENTRISCHE ZUGFESTIGKEIT [3]**

kann aus der Biegezugfestigkeit abgeleitet werden.

→ **ZUSTAND I**

Als Zustand I wird im Stahlbetonbau der ungerissene Zustand bezeichnet. Der Beton ist ungerissen. Es gilt die lineare Elastizitätstheorie.

→ **ZUSTAND II**

Der Zustand II wird im Stahlbetonbau als der gerissene Zustand bezeichnet. Der Beton zeigt Risse. Die lineare Elastizitätstheorie hat keine Gültigkeit mehr.

10. Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
Merkblatt Grundlagen zur Beanspruchung von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton
Fassung 1991
- [2] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
Merkblatt Bemessungsgrundlagen für Stahlfaserbeton im Tunnelbau
Fassung 1992
- [3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
Merkblatt Stahlfaserbeton
Fassung Oktober 2001
- [4] DIN 1045-1, 2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- [5] DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“
Ausgabe März 2010; Beuth Verlag
- [6] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter
Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [7] DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“
Ausgabe November 2012; Beuth Verlag
- [8] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.,
Merkblatt Industrieböden aus Stahlfaserbeton
Fassung Juli 2013
- [9] DIN EN 14889-1:2006-11 Fasern für Beton
Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität
- [10] DIN EN 206-1:2001-07 Beton
Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
Deutsche Fassung EN 206-1:2000
- [11] DIN 1045-2, 2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [12] Gerhard Vitt, CE-Kennzeichnung für Stahlfasern verbindlich,
Beton 12/2008, S. 558 ff.
- [13] DIN 18134, 2012-04 Baugrund
Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch
- [14] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen
November 2004

- [15] DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
Ausgabe 2011-03; Beuth Verlag
- [16] DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)
Ausgabe 2017-12; Beuth Verlag
- [17] ÖVBB: Richtlinie „Innenschalenbeton“
Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik; Wien, 2003
- [18] DIN EN 14488-5:2006-08, Prüfung von Spritzbeton
Teil 5: Bestimmung der Energieabsorption bei faserverstärkten plattenförmigen Prüfkörpern
- [19] Schnütgen, B.: Stahlfaserbeton für den Umweltschutz
Heft 100 des iBMB der TU Braunschweig, 1993, S. 125-140
- [20] H. Falkner, V. Henke, U. Hinke: Stahlfaserbeton für tiefe Baugruben im Grundwasser, Unterwasserbeton-
sohlen am Potsdamer Platz, Berlin
Erschienen: Bauingenieur 72 (1997) 47-52, Springer-VDI Verlag 1997
- [21] Bernhard Maidl: „Stahlfaserbeton“, 1991
Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften
- [22] DIN EN 1008, 2002-10: Zugabewasser für Beton - Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurtei-
lung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabe-
wasser für Beton; Deutsche Fassung EN 1008:2002
- [23] DIN-Fachbericht 100 Beton, Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton - Teil 1: Festlegung,
Eigenschaften, Herstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und
Spannbeton - Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln
zu DIN EN 206-1, Ausgabe: 2010-03; Beuth Verlag
- [24] DIN EN 13670:2011-03 Ausführung von Tragwerken aus Beton
- [25] DIN 1045-3:2012-03 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
Teil 3: Bauausführung
- [26] „Guter Beton“
19. Auflage, Beton-Verlag GmbH
- [27] Weigler/Karl; „Beton Arten Herstellung Eigenschaften“
Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften

→ Wir danken den Firmen ArcelorMittal Wire Solutions Sales Germany GmbH (Bilder 10-13, 32b und 42),
Bekaert GmbH (Bilder 23, 39-40, 42 und 43), KrampeHarex GmbH & Co. KG (Bilder 4, 9, 32 a und 34)
und wewaton GmbH (Bilder 14-15, 19-22, 26-27, 33, 37 und 39) für die Bereitstellung des genannten Bildmaterials.

ANGABEN ZUR BEMESSUNG VON INDUSTRIEFUSSBÖDEN

Firma _____

Straße _____

PLZ/Ort _____

Ansprechpartner _____

Telefon _____ Telefax _____

E-Mail _____

Datum _____ Bemessung bis _____

Bauvorhaben/Bemerkungen

LKW
Anz. Achsen:

Achslast:

Zwillingsreifen:
Ja / Nein

Gabelstapler
Gewicht:

Bereifung:

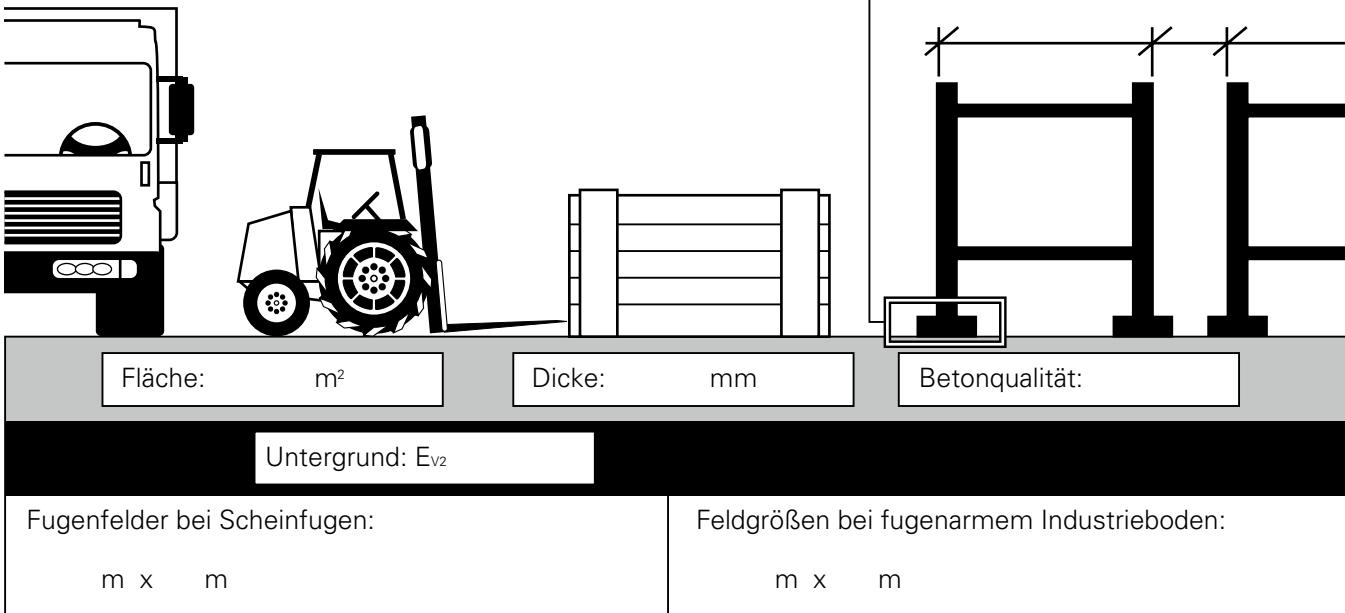
Flächenlasten

Regale

Stiellasten:

Regalhöhe:

Regalfuß: L x B



↑ Anlage 1: Formblatt „Anfrage zur Bemessung eines Industriebodens“

ANGABEN ZUR BEMESSUNG VON FUNDAMENTPLATTEN IM WOHNUNGSBAU

Firma _____

Straße _____

PLZ/Ort _____

Ansprechpartner _____

Telefon _____ Telefax _____

E-Mail _____

Datum _____ Bemessung bis _____

Bauvorhaben/Bemerkungen

Auflast [kN/m]:

Auflast [kN/m]:

vorgesehene Wandstärke [cm]:

vorgesehene Wandstärke [cm]:

Überstand [cm]:

gewünschte Plattendicke [cm]:

Betonqualität:

Zul. Bodenpressung [kN/m²]:

Vorgesehene Mattenbewehrung:

ANGABEN ZUR BEMESSUNG VON KELLERWÄNDEN

Firma _____

Straße _____

PLZ/Ort _____

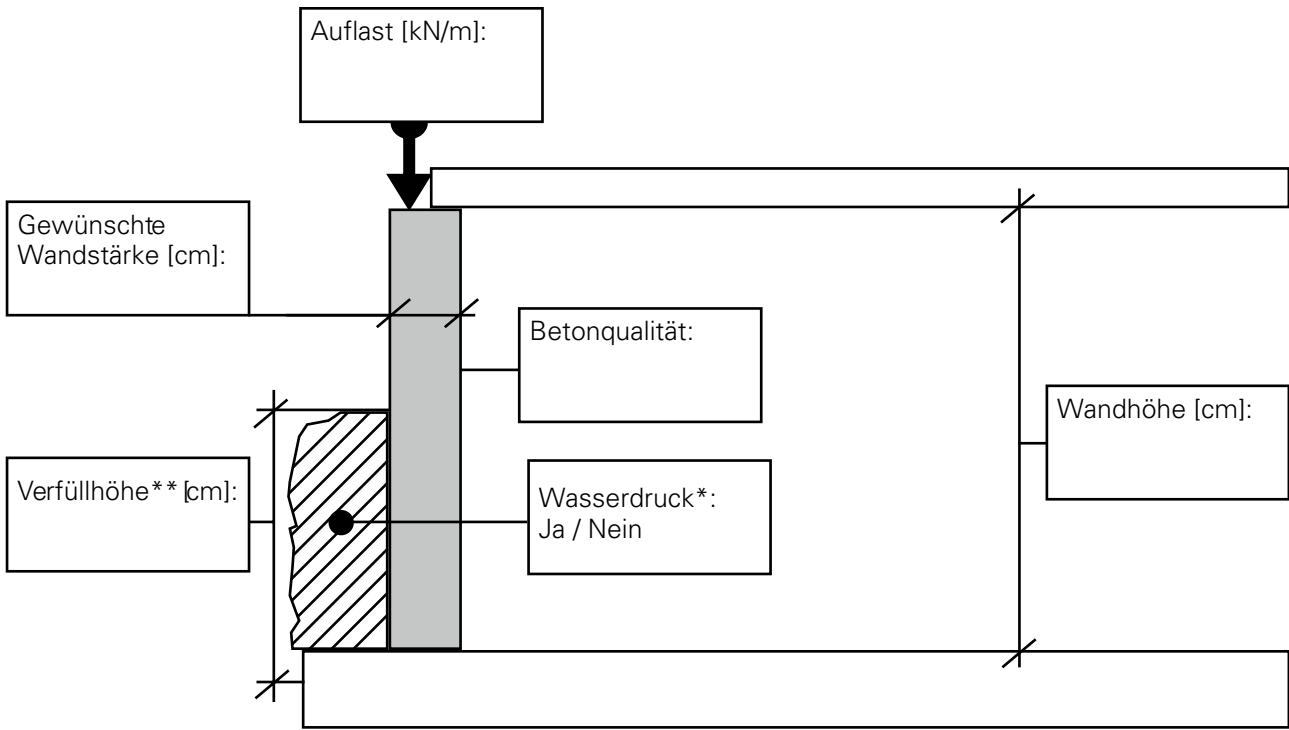
Ansprechpartner _____

Telefon _____ Telefax _____

E-Mail _____

Datum _____ Bemessung bis _____

Bauvorhaben/Bemerkungen



Vorgesehene Mattenbewehrung:

*gegebenenfalls ist [16] zu beachten **Unbelastete Verfüllung

**ECHT.
STARK..
GRÜN.**





WWW.HEIDELBERGER-BETON.DE



**HEIDELBERGER
BETON**
HEIDELBERGCEMENT Group

Diese Broschüre ist lediglich als allgemeine Information über Stahlfaserbeton ohne Garantie auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu verstehen. Die in dieser Broschüre enthaltenen Angaben, Abbildungen, Hinweise und Empfehlungen wurden mit der gebotenen Sorgfalt erstellt und sorgfältig recherchiert. Dennoch ersetzt diese Broschüre unter keinen Umständen eine individuelle Beratung. Soweit gesetzlich zulässig, ist jede Gewährleistung und Haftung ausgeschlossen.

Die vorliegende Broschüre einschließlich aller darin enthaltenen Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt und Eigentum der Heidelberg Beton GmbH. Verwertungen sind ohne Zustimmung der Heidelberg Beton GmbH nicht zulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Heidelberg Beton GmbH

Berliner Straße 10
69120 Heidelberg

Weitere technische Details finden Sie im aktuellen technischen Datenblatt unter www.heidelberg-beton.de/steelcrete



Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass das Erreichen der vorgenannt beschriebenen Eigenschaften eine sachgerechte, nach dem Stand der Technik durchzuführende Vorbereitung auf der Baustelle und Verarbeitung des Betons voraussetzt.

Weitere Informationen und Hinweise zu unseren Produkten und Dienstleistungen können Sie auf Wunsch gerne bei uns anfordern.