

Steelcrete®

Detailinformationen zu Stahlfaserbeton für Planer und Verarbeiter

heidelbergmaterials.de



Inhaltsverzeichnis

1. Stahlfaserbeton – Definitionen und Wirkungsweise	
1.1 Definitionen	04
1.2 Wirkungsweise	04
2. Stahlfasern	
2.1 Allgemeines	06
2.2 Regelungen	06
2.3 Drahtfasern	07
2.4 Weitere Stahlfasern	07
3. Leistungsklassen	08
4. Einsatzbereiche	
4.1 Allgemeines	12
4.2 Industrieböden	13
4.2.1 Industrieböden mit Scheinfugen	14
4.2.2 Fugenloser Industrieböden (ohne Scheinfugen)	14
4.2.3 Industrieböden im Außenbereich und andere Freiflächen	15
4.2.4 Pfahlgestützter Industrieböden	15
4.3 Wohnungsbau	16
4.3.1 Bodenplatten	16
4.3.2 Streifenfundamente	16
4.3.3 Kellerwände	16
4.4 Weiße Wanne/Dichtes Bauwerk	17
4.5 Tunnelbau	18
4.5.1 Spritzbeton	18
4.5.2 Stahlfaserpumpbeton	18
4.6 Flächen nach WHG § 19	19
4.7 Weitere vorteilhafte und innovative Anwendungen	20

Wir sind für Sie da!

Die Erfahrung und das Know-how von Heidelberg Materials und nicht zuletzt die individuelle Beratung durch unsere Experten vor Ort geben Ihnen die notwendige Zuverlässigkeit und Sicherheit für Ihre geplanten Projekte mit Steelcrete.

Schreiben Sie uns eine Mail an:

beton.spezialprodukte@heidelbergmaterials.com

Mehr Informationen zu Steelcrete finden Sie unter **steelcrete.de**

5. Hinweise zur Bemessung	
5.1 Bemessung von Industrieböden	21
5.2 Bemessung anderer Bauteile	22
5.2.1 Bodenplatte/Fundamentplatte	23
5.2.2 Wände	23
5.2.3 Dichte Bauwerke	23
5.3 Mindestbewehrung	24
5.3.1 Berechnung der Rissbreite ohne und mit Betonstahlbewehrung	24
5.4 Konstruktive Zusatzbewehrung	26
6. Betontechnologie, -anforderungen, -herstellung und -bestellung	
6.1 Hinweise zur Erstellung der Rezeptur	27
6.1.1 Zement	27
6.1.2 Gesteinskörnungen (Zuschläge)	27
6.1.3 Zugabewasser	28
6.1.4 Zusatzstoffe	28
6.1.5 Zusatzmittel	28
6.1.6 Stahlfasern	28
6.2 Anforderungen aus DIN 1045-2: 2023-08	28
6.3 Anforderungen aus Richtlinie/Zulassung	29
6.3.1 Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2]	29
6.3.2 Zustimmung im Einzelfall/bauaufsichtliche Zulassung	29
6.4 Stahlfaserbeton vom Transportbetonhersteller	30
6.4.1 Herstellung	30
6.4.2 Zugabe der Stahlfasern	31
6.5 Stahlfaserbeton nach Eigenschaften	32
6.6 Betonverzeichnis/Betonbestellung und -lieferung	32
6.6.1 Betonbestellung nach Richtlinie [2]	32
6.6.2 Bestellung von Stahlfaserbeton nach Zusammensetzung	33
6.6.3 Lieferung von Stahlfaserbeton	33
7. Hinweise zur Bauausführung	
7.1 Allgemeines	34
7.2 Anforderungen an den Untergrund	34
7.3 Aufbau (Industriefußböden)	34
7.4 Schalung	34
7.5 Boden- und Wandschutzfolien	34
7.6 Randdämmstreifen	34
7.7 Einbau von Stahlfaserbeton	34
7.8 Oberflächenbearbeitungen	35
7.9 Nachbehandlung	35
7.10 Fugen	36
7.10.1 Fugenarten	36
7.10.2 Fugenprofile	37
7.10.3 Fugenplanung	37
8. Schadensvermeidung	
8.1 Risse	38
8.2 Oberflächen	38
9. Glossar	39
10. Literaturverzeichnis	41
11. Anlagen	43

1. Stahlfaserbeton – Definitionen und Wirkungsweise

1.1 Definitionen

Stahlfaserbeton ist ein Normalbeton nach DIN 1045-2: 2023-08 [5], dem zum Erreichen einer Nachrissfestigkeit Stahlfasern beige-mischt 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 2). 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.

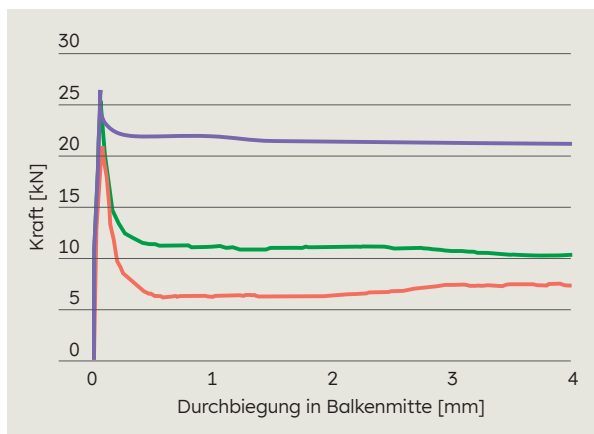


Bild 2: Lastverformungslinien (Arbeitslinien) von Stahlfaserbetonen mit unterschiedlichem Leistungsvermögen

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, sogenannte Sekundärrisse. Dies führt zur Rissverzweigung, -versatz und -aufspaltung. Der Eindringwiderstand gegenüber Flüssigkeiten sowie Kornverzahnung und Reibung wird deutlich gesteigert.

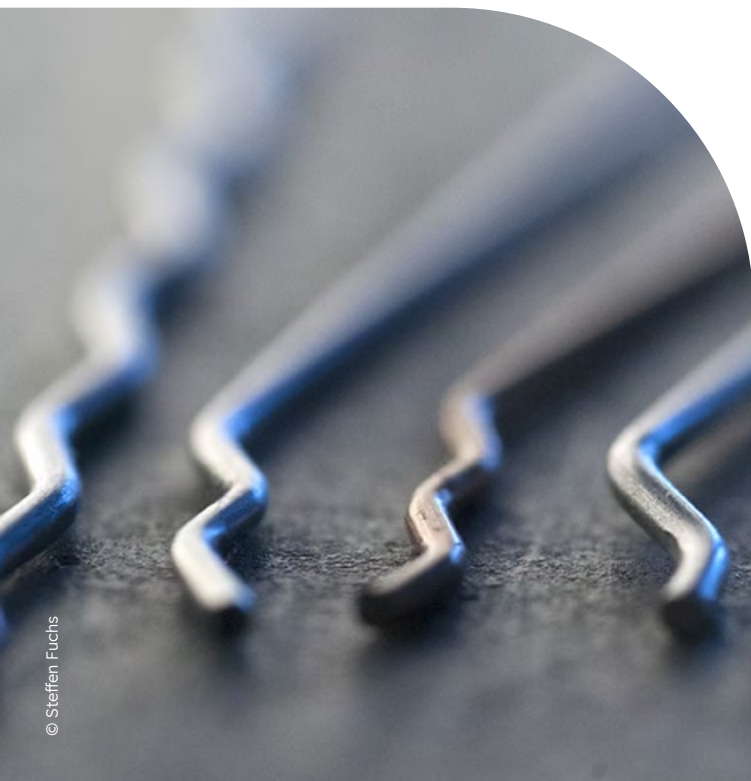


Bild 1: Stahldrahtfasern



Bild 3: Aufgebrochener Stahlfaserbeton

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

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 damit eine entsprechende Nachrissfestigkeit auf. Die sogenannte 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) in der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2] beschrieben (s. auch Kapitel 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 Bauablaufs
- 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 [4] geregelt. Diese 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 1045-2: 2023-08 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.



Bild 4: 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. chromat-reduzierten Zementen die Eignung nachzuweisen.

Die Zugfestigkeit liegt in der Regel zwischen 1.000 N/mm^2 und 2.400 N/mm^2 . 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 4). Daneben werden gewellte und/oder an den Enden gestauchte Stahldrahtfasern in der Baupraxis eingesetzt (s. Bild 4). Je nach Faserform haben diese Fasern eine 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/mm^2 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 aufgrund ihrer geringen Leistungsfähigkeit für die in der Broschüre beschriebenen Anwendungsbereiche nicht verwendbar.

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 Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb, 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 Gebrauchstauglichkeit, 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.

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 5). 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 (s. Bild 6) abgeleitete Nachrissfestigkeit stellt die wesentliche zusätzliche Eigenschaft des Stahlfaserbetons dar. Um diese Eigenschaft für den Bemessenden nutzbar zu machen, wurde in der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb eine Einteilung in Leistungsklassen vorgenommen, die abhängig von der Nachrissbiegezugfestigkeit sind.

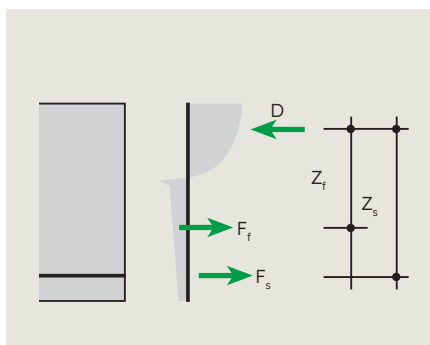


Bild 5: Traganteil Stahlfaserbeton

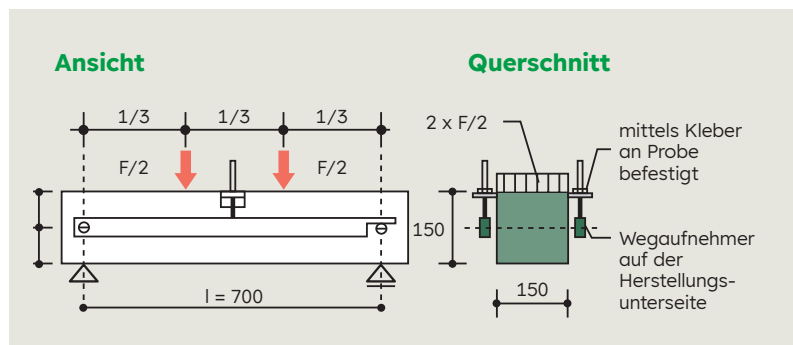


Bild 6: Messvorrichtung zur Ermittlung der Nachrissbiegezugfestigkeit



Bild 7: Stahlfaserbeton Balkenprüfung

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

Gemäß Richtlinie müssen zur Bestimmung der Leistungsklassen mindestens sechs Balken der Maße 150 mm x 150 mm x 700 mm hergestellt werden.

Die Steuerung des Versuchs (s. Bild 7) 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 8).

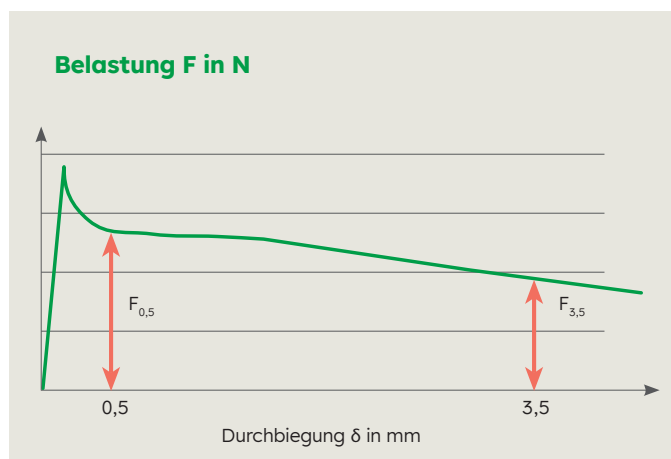


Bild 8: Auswertung einer Lastverformungslinie gemäß [2]

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

Tabelle 1: Einteilung von Leistungsklassen

Charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit	$f_{cfk,Li}^f$ [N/mm ²]	Leistungsklasse L1 - 0,5 mm Durchbiegung L2 - 0,5 mm Durchbiegung
0,4	a)	
0,6		
0,9		
1,2		
1,5		
1,8		Einteilung entsprechend Versuchsauswertung, s. u.
2,1		
2,4		
2,7	b)	
3,0	b)	

a) nur für flächenhafte Bauteile $b > 5h$

b) allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich

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

(1)

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

(2)

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

mit $f_{cfm,Li}^f$ 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 7

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

(3)

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

mit $f_{cfk,Li}^f$ Charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit für die jeweilige Verformung
 $Lf_{cfm,Li}^f$ Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse $f_{cfi,Li,j}^f$

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

mit L_s Standardabweichung der logarithmierten Einzelprüfergebnisse der Serie

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

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

Tabelle 2: Schwellenwert t für t-Verteilung

Zeile	Probenanzahl n	Fraktilenfaktor 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

Die Einschränkung auf $f_{cfk,Li}^f \leq 0,51 \cdot f_{cfm,Li}^f$ in Gleichung (3) steht in direktem Zusammenhang mit der Definition des Geometriefaktors K_G 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 Mittelwerts aufgrund der höheren Streuungen niedriger.

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

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	$f_{cfk,L2}^f = 0,51 \cdot f_{cfm,L2}^f$	$f_{cfk,L2}^f = e \cdot (f_{cfm,L2}^f \cdot s^2 \cdot L_s)$
Leistungsklasse L2 (siehe Tabelle 1)	0,9	0,6

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 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. Für Industriefußböden ohne

bauordnungs- und wasserrechtliche Anforderungen kann das DBV Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“ angewendet werden, welches ebenfalls auf die Leistungsklassen aufbaut. Aufgrund des niedrigen Gefährdungspotenzials wird darin ein niedrigeres Sicherheitsniveau in der Bemessung zugrunde gelegt. Für Bauteile mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen, außerhalb des Geltungsbereichs der Richtlinie [2] ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt oder eine Zustimmung im Einzelfall notwendig.

Bild 9: Anwendungsmöglichkeiten von Stahlfaserbeton

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 / DIN 1045-2: 2023-08	Unbewehrte Bauteile nach DIN EN 1992-1-1 / DIN 1045-2: 2023-08 (nur konstruktive Bewehrung)	Bewehrte Bauteile ¹⁾ nach DIN EN 1992-1-1 / DIN 1045-2: 2023-08 und der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb	DAfStb-Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	Bewehrte Bauteile ¹⁾ nach DIN EN 1992-1-1 / DIN 1045-2: 2023-08 und der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb, DAfStb-Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
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 Dichtsicht mit Beschränkung der Rissbreiten	Nachweis im Grenzzustand von Trag-/Gebrauchstauglichkeit sowie der Dichtigkeit 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 10: Herstellung Industrieboden



Bild 11: Glätten des Industriebodens

4.2 Industrieböden

Überwiegend kommen elastisch gebettete und nicht für die Standsicherheit des Tragwerks relevante Industrieböden zum Einsatz. Die Bemessung erfolgt in der Regel mittels plastischen Verfahrens. Die Verwendung der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton kann gesondert vereinbart werden. Die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb 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 Untergrunds. 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 Funktions-

fähigkeit der elastisch gebetteten Bodenplatte. Grundsätzlich sind die Werte durch einen Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 [6] zu überprüfen.

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 (s. Tabelle 5). 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.

Maximale Einzellast [kN]	Untergrund EV2 [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 [7]

Maximale Einzellast [kN]	Untergrund EV2 [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 [7]

4.2.1 Industrieboden mit Scheinfugen

Bei dieser Bauweise wird die Bodenplatte zum Abbau von Zwangsspannungen durch Scheinfugen (Sollbruchstellen) unterteilt. Diese 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 Schrottmladeplätzen und Müllbunkern (s. auch Kapitel 4.7) kann das verformungsfähige („duktil“) Materialverhalten des Stahlfaserbetons für eine Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit genutzt werden. Ebenso bezieht die Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [8] 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 wirk-samen Gleitschicht (z.B. zwei Lagen PE-Folie zu je 0,2 mm) hergestellt, um Zwangsspannungen infolge Reibung zu minimieren.

Aufgrund der sich daraus ergebenden Feldgrößen (häufig bis zu 1.200 m² und mehr) sind in der Regel Stahlfasern mit höheren Leistungsfähigkeiten und/oder höhere Stahlfasergehalte erforderlich.

Zur Beeinflussung des Fröhschwindens 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



Bild 13: Fugenloser Industrieboden

4.2.3 Industrieboden 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 den täglichen und jahreszeitlich bedingten Temperatur- und Wetteränderungen (Wölbspannungen 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/Tauwechseln mit Tausalzbeaufschlagung eine signifikant höhere Stabilität der Oberfläche beobachtet werden.

4.2.4 Pfahlgestützter Industrieboden

Bei schlechten Untergrundverhältnissen ist es häufig wirtschaftlich sinnvoller, den Industrieboden 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“ des DAfStb [2] bemessen, so dass auch bei späteren Setzungen des Untergrunds die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Bauteils gewährleistet ist. Pfahlgestützte Böden werden von der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2] 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 14: Pfahlgestützter Industrieboden



Bild 15: Kellerwände aus Halbfertigteilen
(mind. 30 cm Wandstärke)



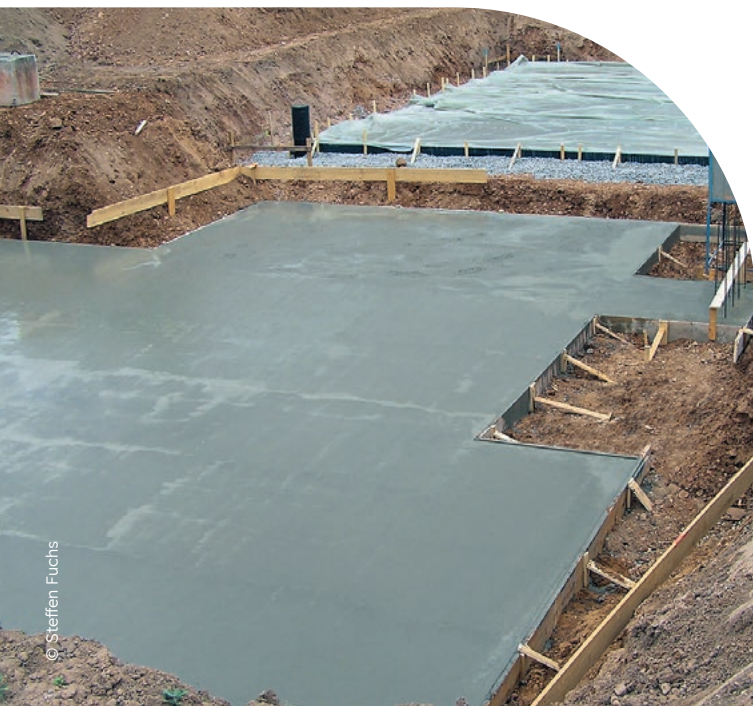
Bild 16: Fertiger Keller aus Stahlfaserbeton

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. Es ist ein Nachweis, gemäß der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2], notwendig.

Bei Bodenplatten mit Anforderungen, gemäß der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [9], 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 Baugrunds.

4.3.3 Kellerwände

Die Aufgabe des stahlfaserbewehrten Bauteils 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 Mehlkorngesamt 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 [9], ist eine Kombibewehrung technisch und wirtschaftlich sehr sinnvoll.

Bild 17: Stahlfaserbetonbodenplatte im Wohnungsbau



Bild 18: Einbau des Stahlfaserbetons in eine Kellerwandschalung



Bild 19: Geschaltete 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 Betonquerschnitt 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“ des DAfStb [2] wird der Wirkung der Stahlfasern durch den Faktor α_f Rechnung getragen. Zum Beispiel kann die notwendige Mindestbewehrung 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 die Gleichung nach DIN 1992-1-1, 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.

α_f : Verhältniswert des Rechenwerts der Nachrisszugfestigkeit zum Mittelwert der Betonzugfestigkeit

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 oder 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 Hofoldingen 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 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. Bauzeitverkürzungen 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 Energieaufnahme 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. Die international etablierten Plattenprüfungen, die zur Ermittlung des Energieaufnahmevermögens notwendig sind, werden in der DIN EN 14488-5 [11] 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, so dass 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 „Innenschalenbeton“ [10] 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.

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“ des DAfStb [2]. Der positive Effekt von Stahlfasern hinsichtlich Rissbildung, Erhöhung des Eindringwiderstands und der Dichtigkeit im gerissenen und ungerissenen Beton wird daher schon seit längerer Zeit auch praktisch genutzt [12].

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

Häufig werden entsprechend 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 [8] 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 $w_k = 0,1 \text{ mm}$ 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: Stahlfaserspritzbetonauftrag im Tunnel





Bild 21: Fahrzeugwaschplätze, ausgeführt in Steelcrete



Bild 22: Biodieselanlage, Auffangwanne mit Fundamenten für ein Tanklager ausgeführt in Steelcrete



Bild 23: Biomüllkompostanlage, Bodenplatte und Wände ausgeführt in Steelcrete

4.7 Weitere vorteilhafte 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 Schrottoumladeplätzen, 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“ [8] 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 (duktilen Verhalten im Bruchzustand) und erhöhter Biegetragfähigkeit durch das günstige Systemtragverhalten (Lastumlagerungsmöglichkeiten nach Erst-rissbildung), wird Stahlfaserbeton bevorzugt. Neben deutlich geringerer Bauteilstärke einer Stahlfaserbetonlösung, im Vergleich zu einer unbewehrten Ausführung, sind 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. [13]).

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 Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2] ein Merkblatt für Industrieböden an die keine bauordnungsrechtliche Anforderungen hinsichtlich Standsicherheit gestellt werden. Das DBV Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“ [3] bildet die bewährte Bauweise von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton ab.

Die Verwendung der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb 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 Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb bezieht sich auf die DIN EN 1992-1-1 in

Verbindung mit DIN 1992-1-1/NA [1], DIN 1045-2: 2023-08 [5] und DIN EN 13670 [17] in Verbindung mit DIN 1045-3 [18].

Ein entscheidender Punkt für die Dimensionierung des Industriebodens ist die Steifigkeit des Untergrunds, bzw. der Tragschicht. Die notwendigen Informationen liefert ein Bodengutachten. Untergrund und Tragschicht dürfen sich unter Belastung nicht signifikant verformen. Grundsätzlich sind die Werte des Untergrunds und der Tragschicht durch einen Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 [6] zu überprüfen. Für die Tragschicht ist ein EV2-Wert von mindestens 80 MN/m² notwendig (s. a. Tab. 5, S. 13). Das Verhältnis EV2/EV1 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: 2023-08 [5] nicht berücksichtigt werden muss, kann je nach Beanspruchung auf die Expositionsklasse XM verzichtet werden.

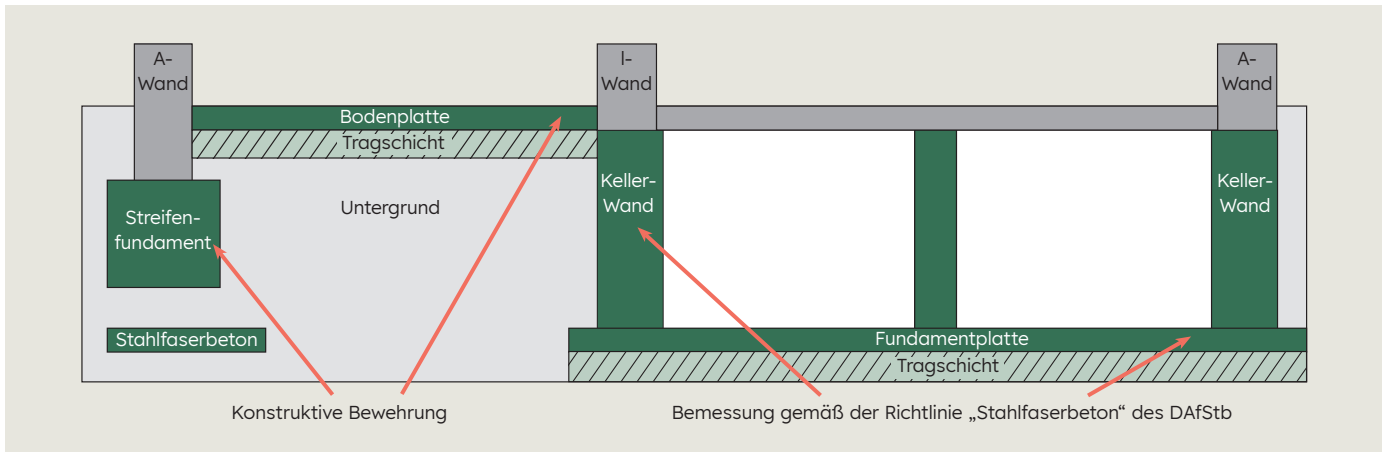


Bild 24: Prinzipdarstellung von Konstruktionsmöglichkeiten im Wohnungsbau

5.2 Bemessung anderer Bauteile

Die Bemessung von Streifenfundamenten mit mittiger Lasteinleitung ist in der DIN EN 1992-1-1 geregelt. Streifenfundamente sind in der Regel Bauteile mit konstruktiver Bewehrung. Aufgrund der Anforderung an konstruktiv bewehrte Streifenfundamente ist eine Ausführung in reinem Stahlfaserbeton möglich.

Fundamentplatten sind ein häufiges Anwendungsgebiet für Ausführungen in Stahlfaserbeton. Bei einer frostfreien Gründung empfiehlt sich besonders eine Ausführung als Fundamentplatte aus Stahlfaserbeton oder stahlfaserverstärktem Stahlbeton. Bei nicht frostfreier Gründung ist es notwendig, eine Fundamentplatte mit Frostschrägen auszuführen.

Auch Wände können in Stahlfaserbeton oder stahlfaserverstärktem Stahlbeton ausgeführt werden. Bei einer Wand, die z.B. durch den Lastfall Erddruck und/oder drückendes Wasser beaufschlagt ist, handelt es sich wie bei einer Fundamentplatte um ein Bauteil mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen.

Für die Ausführung von Fundamentplatten oder Wände in Stahlfaserbeton oder stahlfaserverstärktem Stahlbeton ist die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb zu berücksichtigen.

Auch bei Forderungen nach Rissbreitenbegrenzungen in den genannten Bauteilen ergeben kombinationsbewehrte Bauteile Sinn, da im Zusammenhang mit Stahlfaserbeton eine Reduzierung der Bewehrung vorgenommen werden kann.

Um Fundamentplatten zu bemessen, sind nachfolgende Eingangsgrößen u. a. wichtig:

- Anforderungen nach DIN EN 1992-1-1
- Maximale Belastung auf Außen- und Innenwand, inklusive der Wandstärken
- Zulässige Bodenpressung oder vorhandenes Bettungsmodul
- Plattenabmessung (Dicke, Länge, Breite)
- Plattenüberstand an den Außenwänden
- Evtl. Höhe des Bemessungswasserstands
- Evtl. rechnerisch nachzuweisende Rissbreite

Für die Bemessung von Wänden sind nachfolgende Eingangsgrößen u. a. erforderlich:

- Anforderungen nach DIN EN 1992-1-1
- Auflast auf Wand
- Dicke der Bodenplatte und der Geschossdecke
- Wandhöhe
- Evtl. Höhe der Erdanschüttung
- Evtl. Höhe des Bemessungswasserstands
- Evtl. rechnerisch nachzuweisende Rissbreite

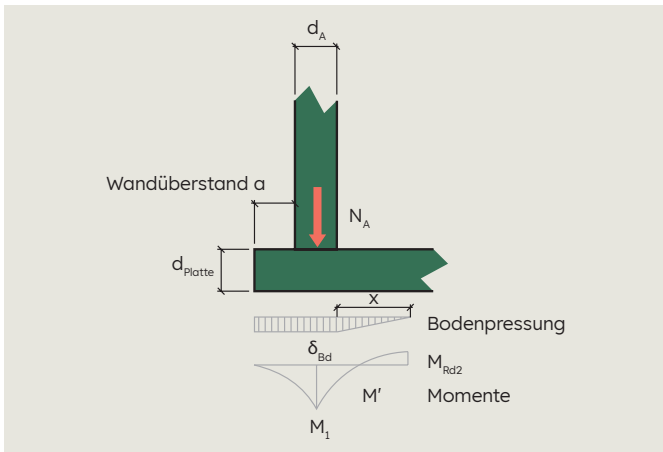


Bild 25: Darstellung Bemessungsansatz Außenwand auf einer Fundamentplatte

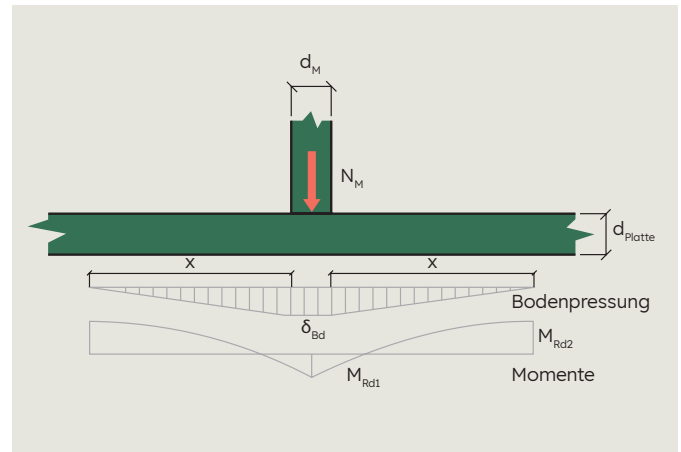


Bild 26: Darstellung Bemessungsansatz Innenwand auf einer Fundamentplatte

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 Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb zu führen (s. Bild 24 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 Gelenks 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 25 und 26).

Die Bemessung erfolgt gemäß der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb. An einspringenden Ecken oder Aussparungen ist eine zusätzliche konstruktive Bewehrung erforderlich (s. hierzu Bilder 30a bis 30c).

5.2.2 Wände

Bei der Bemessung von Wänden ist ebenfalls ein Stand sicherheitsnachweis erforderlich. Einwirkende Lastfälle sind beispielsweise Gebäudeauflast, Erddruck oder Wasserdruck. Die Bemessung erfolgt gemäß der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb. Bei der Ermittlung der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten, gemäß der Richtlinie [2], ist wegen der Faserorientierung der Faktor $K_F^f = 0,5$ zu berücksichtigen.

5.2.3 Dichte Bauwerke

Dichte Bauwerke sind in der DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [9] und in der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [8] 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 Bauwerks positiv beeinflusst.

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, 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 Gebrauchstauglichkeit 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:

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

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: Dichte Bauwerke –
Einbau des Fugenbandes

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

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

α_f nach Gl. (R.7.2a oder R.7.2b) [2]

ρ_{eff} Effektiver Bewehrungsgrad nach DIN EN 1992-1-1, 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, 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:

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

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.

Bild 28: Kontrolle einer Fügung mit der Hochspannungsprüfpistole



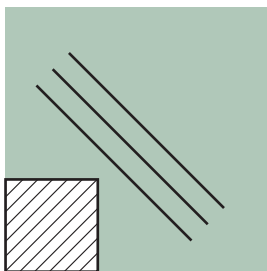
Bild 29: Fertig betonierte Bodenplatte mit vorbereiteten Fugenbändern



5.4 Konstruktive Zusatzbewehrung

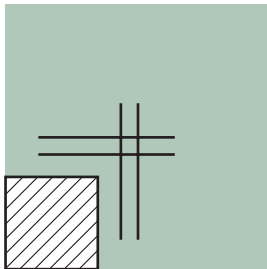
Grundsätzlich sollten alle, hinsichtlich der Eigen-
spannungen, kritischen Punkte durch konstruk-
tive Zulagebewehrung aufgenommen werden.
Dies betrifft insbesondere einspringende Ecken,
Stützen oder eckige Plattenaussparungen;
hier sind Parallel- oder Schrägzulagen gegen
die auftretenden Kerbspannungen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

Konstruktive Schwindbewehrungen verhindern
keine Risse, sie reduzieren die Rissbreiten auf
ein baupraktisch unbedenkliches Maß. Nach-
folgend werden einige Ausführungsbeispiele für
die Anordnung von Bewehrung zur Aufnahme
der Kerbspannung aufgezeigt (s. a. [1]):



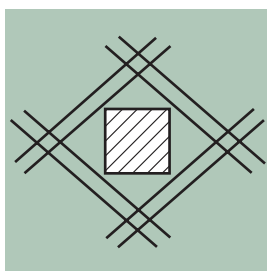
$3 \times d = 10 \text{ mm (o+u)}$
BSt 500/550 S
 $l = 1200 \text{ mm}$

Bild 30 a: Detailvorschlag zur Anordnung konstruktiver Schwindbewehrung an einspringenden Ecken in Bodenplatten (Plattendicke 20 cm).



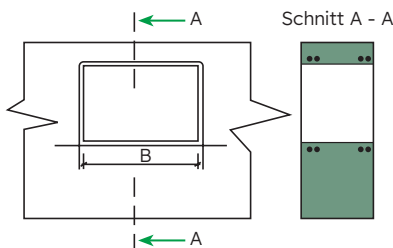
$4 \times d = 10 \text{ mm (o+u)}$
BSt 500/550 S
 $l = 1200 \text{ mm}$

Bild 30 b: Detailvorschlag zur Anordnung konstruktiver Schwindbewehrung an einspringenden Ecken in Bodenplatten (Plattendicke 20 cm).



$8 \times d = 10 \text{ mm (o+u)}$
BSt 500/550 S

Bild 30 c: Detailvorschlag zur Anordnung konstruktiver Schwindbewehrung an Pfeilern und Stützen in Bodenplatten (Plattendicke 20 cm).



$4 \times d = 10 \text{ mm, als U gebogen}$
 $4 \times d = 10 \text{ mm, } l = B + 1,50 \text{ m, als Verbindung U-Stab}$
BSt 500/550 S

Bild 31: 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 [2] ist Stahlfaserbeton ein Beton nach DIN 1045-2: 2023-08 [5], 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 [5] nachfolgende Forderungen gestellt.

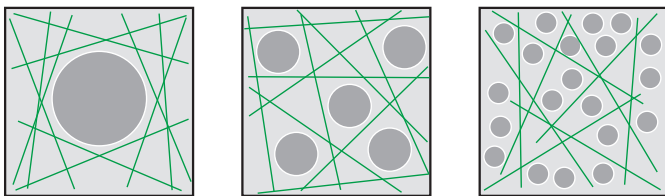


Bild 32: Zusammenhang zwischen Größtkorn und Faserverteilung [14]

6.1.1 Zement

Als geeignet gilt Zement laut DIN 1045-2: 2023-08, Kapitel 5.1.2 und 5.2.2 [5].

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: 2023-08, Kapitel 5.1.3 und 5.2.3 [5].

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 [14] nach folgender Formel ermitteln (s. a. Bild 32):

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

d_m	mittlerer Faserabstand in mm
d	mittlerer Faserdurchmesser in mm
V_f	Nominalwert des Fasergehalts (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 [15]. Hierbei sind die Kapitel 5.1.4 und 5.2.4 der DIN 1045-2: 2023-08 zu beachten [5].

6.1.4 Zusatzstoffe

Als geeignet gelten Zusatzstoffe nach DIN 1045-2: 2023-08, Kapitel 5.1.6 [5] und solche mit bauaufsichtlicher Zulassung. Für die Verwendung ist Kapitel 5.2.5 der DIN 1045-2: 2023-08 [5], bzw. die bauaufsichtliche Zulassung zu beachten.

6.1.5 Zusatzmittel

Als geeignet gelten gemäß DIN 1045-2: 2023-08 [5] Zusatzmittel nach DIN EN 934-2 und solche mit bauaufsichtlicher Zulassung. Bei der Anwendung ist Kapitel 5.2.6 der DIN 1045-2: 2023-08 [5], 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. Geklebte oder in einer Dosierverpackung zugegebene Stahlfasern sind nach DIN EN 14889-1 einsetzbar, wenn zusätzlich die Eignung der Lieferform über eine allgemeine 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 1045-2: 2023-08

Ein Stahlfaserbeton muss den Anforderungen der DIN 1045-2: 2023-08 [5] 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 [2] getroffen (s. hierzu auch Kapitel 6.3.1).



Bild 33: Aufgebrochener Stahlfaserbeton

6.3 Anforderungen aus Richtlinie/Zulassungen

6.3.1 Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2]

Die Richtlinie regelt Eigenschaften und Anwendungen des Baustoffs „Stahlfaserbeton“, die nicht durch DIN EN 1992-1-1 [1], DIN 1045-2: 2023-08 [5], bzw. die DAfStb-Richtlinien „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [8], bzw. „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [9] abgedeckt sind. In beiden o.g. Richtlinien ist der Einsatz von Stahlfaserbeton bereits vorgesehen.

Die Richtlinie [2] 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 [2] 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 [2] auch auf nichttragende Bauteile möglich. Die Anwendung der Richtlinie sollte hierfür im Einzelfall vereinbart werden.

Die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2] 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 [2] 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. [2] 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 [2] 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, werkseigene Produktionskontrolle, Transport usw. werden in der Bauteilzulassung definiert.

Bei Stahlfaserbetonen nach bauaufsichtlicher Zulassung ist im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle die Leistungsklasse nach [2] 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 [2] nur als Beton nach Eigenschaften hergestellt werden. Beton nach Zusammensetzung oder Standardbeton sind hiernach nicht zulässig. Nach [2] 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.



Bild 34: Transportbetonwerk

6.4.1 Herstellung

Nach Richtlinie [2] 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 [16] beschrieben werden. Hiermit wird die Dauerhaftigkeit des Stahlfaserbetons sichergestellt. Über die Expositionsklassen ergeben sich die Anforderungen an den Beton, u. a. bezüglich des Mindestzementgehalts, des maximal zulässigen Wasserzementwerts 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 Verbunds, eines höheren Mörtelanteils. Ein nicht ausreichender Feinstkornanteil der Gesteinskörnung kann über die Zugabe von z.B. Steinkohlenflugasche oder Kalksteinmehl ausgeglichen werden.

6.4.2 Zugabe der Stahlfasern

Die Stahlfasern müssen bei bauordnungsrechtlich relevanten Bauteilen im Transportbetonwerk zugegeben werden [2]. 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 Aufwands 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.

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. Möglich sind die Verwendung von verklebten Einzelfasern oder die Nutzung spezieller

Dosiertechniken. 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 aufwendig)
- Per Aufzug (s. Bild 35 a)
- Per Förderband mit Rütteltrichter (s. Bild 35 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 Fahrnmischer, ist bei maximaler Drehzahl der Fahrzeugtrommel (12 Umdrehungen pro Minute), mindestens eine Minute pro Kubikmeter, aber nicht weniger als 5 Minuten, zu mischen.

Bild 35 a: Aufzug zur Zugabe von Stahlfasern in den Mischer



Bild 35 b: Rütteltrichter zur Aufgabe von Stahlfasern



6.5 Stahlfaserbeton nach Eigenschaften

Stahlfaserbeton ist ein über Richtlinie [2] 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 [2] 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 Stahlfaserbetonbauteils 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 werkeigenen Produktionskontrolle stellt er dies sicher. Der Auftraggeber bekommt das Produkt in der gewünschten Qualität.

6.6 Betonverzeichnis/Betonbestellung und -lieferung

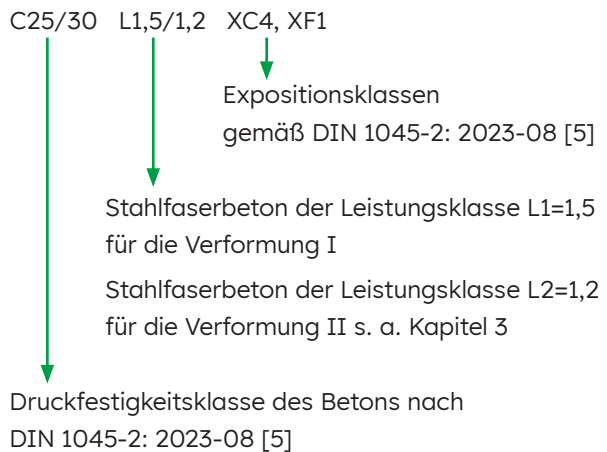
Wird ein Stahlfaserbeton nach Zulassung, nach Richtlinie [2] oder nach Zusammensetzung (Beton mit $x \text{ kg/m}^3$ Stahlfasern) bestellt, so müssen die Angaben zu diesem Beton um verschiedene stahlfaserbetonspezifische Informationen ergänzt werden.

Nachfolgend werden verschiedene Beispiele hierfür gegeben.

6.6.1 Betonbestellung nach Richtlinie [2]

Die Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2] teilt den Stahlfaserbeton in Leistungsklassen ein. Der Planer legt bei seiner Bemessung eines Bauteils die Leistungsklasse fest. Die Richtlinie gibt Auskunft über die korrekte Bestellung eines Stahlfaserbetons. Ein Beispiel hierfür wird nachfolgend gegeben.

Stahlfaserbeton nach der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2]



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 der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2], 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 der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des DAfStb [2], 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 Baustoffs gewährleistet.



Bild 36: Einbau von Stahlfaserbeton:
Industrieboden

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 Lastplattendruckversuchs [6]. 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 Betonierrichtung 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.

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 Einbau von normalem Beton. Teilweise kann auf den Einsatz einer Betonpumpe verzichtet werden, da der Fahrermischer 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.



Bild 37: Oberflächenbearbeitung einer Bodenplatte aus stahlfaserverstärktem Stahlbeton



Bild 38: Nachbehandlung im Sommer: Schutz u. a. vor dem Austrocknen

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.

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, 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.

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 [18] dargelegt.

Im Industriebodenbau wird in vielen Fällen nach dem Verdichten ein Hartstoffestrich aufgezogen oder Hartstoffeinstreumörtel in die Oberfläche eingearbeitet und abschließend geglättet. Unmittelbar nach der Endbearbeitung ist eine Nachbehandlung des Stahlfaserbetons, 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.

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 41). 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).

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.

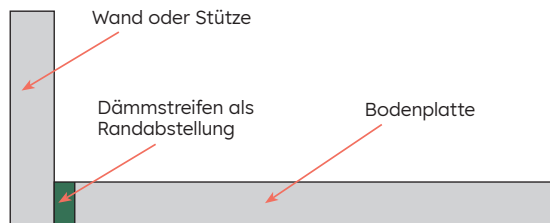


Bild 40: Raumfuge

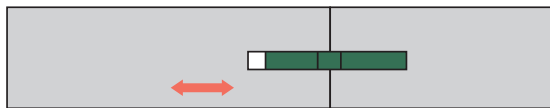


Bild 39: Verdübelung an der Pressfuge

Bild 41: Rautenschnitt



Pressfugen

Pressfugen durchtrennen die Bodenplatte in gesamter Dicke (s. Bild 39). 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. Dübeldurchmesser 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 40). 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 wirkungsvolle 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, zum Beispiel:

- 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.

Zwangsspannungen können durch Raumfugen (s. Bild 40) oder durch eingeschnittene Sollbruchfugen (s. Bild 41) 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 Hartstoffeinstreumörtel/-estrich oder Beschichtung der Oberfläche können Rostpunkte in der Regel sicher vermieden werden.

9. Glossar

Beton nach Eigenschaften

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

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

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

Elastizitätsmodul

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

Expositionsklasse

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

ist der Gehalt an Stahlfasern im Festbeton. Er kann in Massenanteilen m_f (kg/m^3) oder in Volumenteilen V_f (m^3/m^3) 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

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

Nachrisszugfestigkeit

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

Biegezugfestigkeit entsprechender Wert des Querschnittswiderstands, bei Biegung nach Ausbildung von Rissen.

Scheinfugen

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

Schlagfestigkeit

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 Wasserzementwerts von 0,40 auf 0,50 besonders hoch und viel größer als der Abfall der Druckfestigkeit oder der Spaltzugfestigkeit.

Schwinden

Unter Schwinden wird die Volumenverringerung 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.

Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton ist ein Beton nach DIN 1045-2: 2023-08 [5], dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Stahlfasern zugegeben werden.

Standardbeton

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

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

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

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

10. Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 1992-1-1/NA Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [2] Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag
- [3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.,
Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“
- [4] DIN EN 14889-1 Fasern für Beton
Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität
- [5] DIN 1045-2: 2023-08
Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [6] DIN 18134, Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch
- [7] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
Merkblatt „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen“
- [8] DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“
Beuth Verlag
- [9] DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ (WU-Richtlinie),
Beuth Verlag
- [10] ÖVBB: Richtlinie „Innenschalenbeton“
Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik, Wien
- [11] DIN EN 14488-5, Prüfung von Spritzbeton
Teil 5: Bestimmung der Energieabsorption bei faserverstärkten plattenförmigen Prüfkörpern
- [12] Schnütgen, B.: Stahlfaserbeton für den Umweltschutz
Heft 100 des iBMB der TU Braunschweig, 1993, S. 125-140
- [13] H. Falkner, V. Henke, U. Hinke: Stahlfaserbeton für tiefe Baugruben im Grundwasser,
Unterwasserbetonsohlen am Potsdamer Platz, Berlin
Erschienen: Bauingenieur 72 (1997), S. 47-52, Springer-VDI Verlag 1997

- [14] Bernhard Maidl: „Stahlfaserbeton“, 1991
Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften
- [15] DIN EN 1008, Zugabewasser für Beton - Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton
- [16] DIN-Fachbericht 100 „Beton“, Beuth Verlag
- [17] DIN EN 13670, Ausführung von Tragwerken aus Beton
- [18] DIN 1045-3, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton,
Teil 3: Bauausführung

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

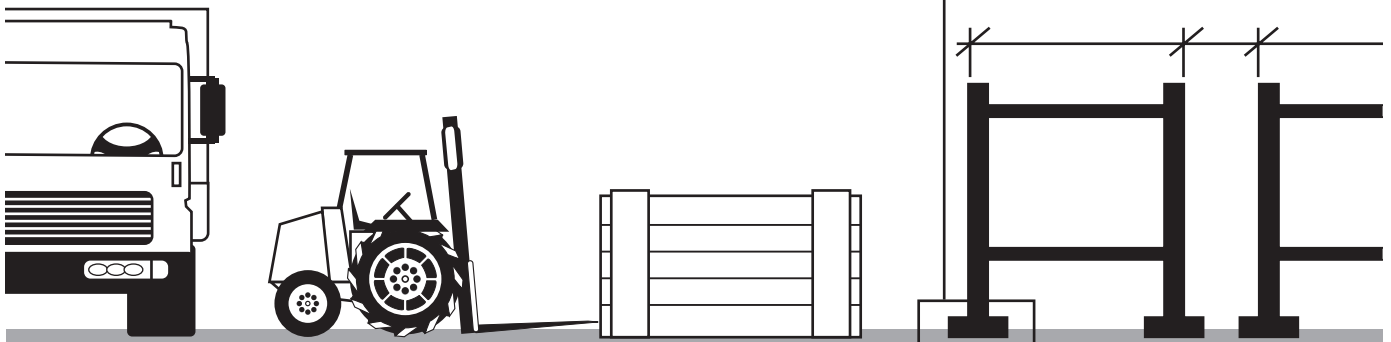
Regale

Stiellasten:

Regalhöhen:

Regalfuß: L x B

L x B



Beton

Fläche: m² Dicke: mm Betonqualität:

Untergrund

Untergrund: E_{v2}

Fugenfelder bei Scheinfugen:

m x m

Feldgrößen bei fugenarmem Industrieboden:

m x m

Angaben zur Bemessung von Fundamentplatten im Wohnungsbau

Firma

Straße

PLZ/Ort

Ansprechpartner

Telefon

Telefax

E-Mail

Datum

Bemessung bis

Bauvorhaben/Bemerkungen

The diagram illustrates the design of a foundation slab for two columns. It shows the following components and labels:

- Auflast [kN/m]:** Load applied to the top of each column.
- vorgesehene Wandstärke [cm]:** Planned wall thickness of the columns.
- Überstand [cm]:** Overhang of the slab beyond the column edges.
- Betonqualität:** Concrete quality, indicated by a line pointing to the slab.
- gewünschte Plattendicke [cm]:** Desired slab thickness, indicated by a dimension line.
- Beton:** Label for the concrete slab.
- Untergrund:** Label for the ground below the slab.
- Zul. Bodenpressung [kN/m²]:** Allowable ground pressure, indicated by a dimension line.
- Vorgesehene Mattenbewehrung:** Planned mat reinforcement, indicated by a line pointing to the slab.

Angaben zur Bemessung von Kellerwänden

Firma

Straße

PLZ/Ort

Ansprechpartner

Telefon

Telefax

E-Mail

Datum

Bemessung bis

Bauvorhaben/Bemerkungen

The diagram illustrates a cross-section of a basement wall. A vertical wall is shown with a horizontal base and a horizontal top. A downward arrow labeled 'Auflast [kN/m]:' points to the top of the wall. To the left of the wall, a hatched area represents the backfill, with a dot indicating the 'Verfüllhöhe** [cm]:'. To the right of the wall, a vertical line indicates the 'Wandhöhe [cm]:'. A horizontal line on the left indicates the 'Gewünschte Wandstärke [cm]:'. A box labeled 'Betonqualität:' is positioned to the right of the wall. A box labeled 'Wasserdruck*:' with two checkboxes, 'Ja' and 'Nein', is also to the right. At the bottom, a large box is labeled 'Vorgesehene Mattenbewehrung:'.

Auflast [kN/m]:

Gewünschte Wandstärke [cm]:

Verfüllhöhe** [cm]:

Betonqualität:

Wasserdruck*: ☐ Ja / ☐ Nein

Wandhöhe [cm]:

Vorgesehene Mattenbewehrung:

*gegebenenfalls ist [9] zu beachten, **unbelastete Verfüllung

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 Materials Beton DE GmbH. Verwertungen sind ohne Zustimmung der Heidelberg Materials Beton DE GmbH nicht zulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Weitere technische Details finden Sie im aktuellen technischen Datenblatt unter **steelcrete.de**







Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass das Erreichen der vorgenannten Eigenschaften eine geeignete Zusammensetzung, Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons sowie eine sachgerechte, nach dem Stand der Technik durchzuführende Vorbereitung auf der Baustelle voraussetzt.