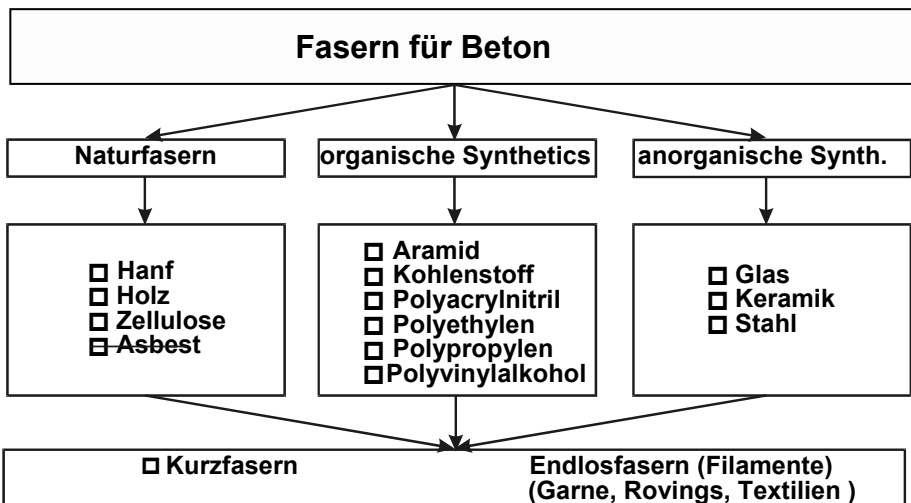


Dresdner BetonTag
20.04.05
2005

Faserbeton gestern - heute - morgen

Dr. Thomas Richter
BetonMarketing Ost GmbH
Fon. 0341 / 601 02 01
Fax. 0341 / 601 02 90
E-Mail richter@bmo-leipzig.de



Fasern und ihre Eigenschaften

Faserart	Zugfestigkeit [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]	Alkali-resistenz	Bruch-dehnung [%]	Faserdurch-messer [µm]
Stahl	500 ... 2600	210 000	++	3 (... 25)	400 ... 1500
Aramid	1800 ... 3800	80 000 ... 190 000	0	2,3	5 ... 20
AR-Glas	1500 ... 3000	75 000	+	1,5 ... 3,5	3 ... 30
Kohlenstoff	550 ... 2600	100 000 ... 450 000	++	1,0	5 ... 15
Polypropylen	300 ... 700	5 000 ... 18 000	++	5 ... 20	15 ... 100
Zellulose	200 ... 500	5 000 ... 40 000	+ bis -	3	15 ... 60

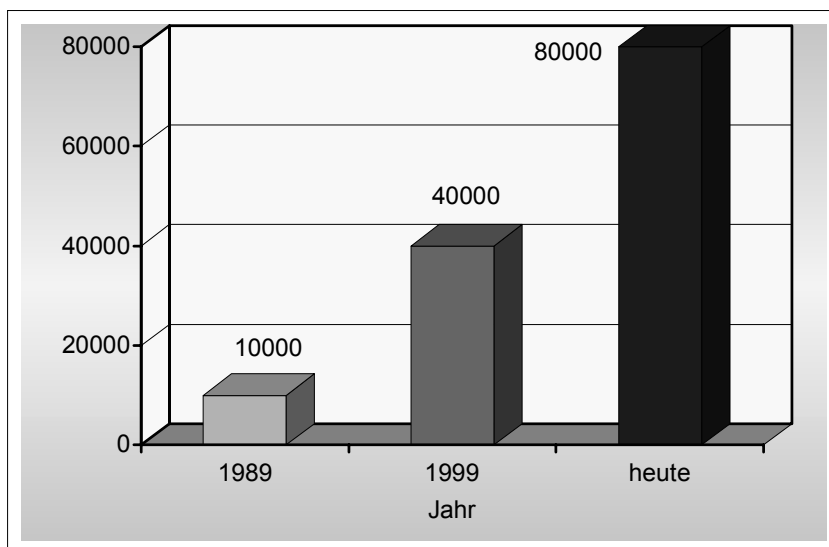
Stahlfaserbeton – historische Entwicklung I

Antike, Mittelalter	<input type="checkbox"/> gehäckseltes Stroh in Lehmbauteilen <input type="checkbox"/> Tierhaare im Schornsteinmörtel
1874 Patent <i>Berard</i>	<input type="checkbox"/> Zugabe von Stahlabfällen zum Beton
1900 Patent <i>Hatschek</i>	<input type="checkbox"/> Herstellung von Asbestzement <input checked="" type="checkbox"/> Grundlage des großtechnischen Fasereinsatzes im Beton
1918 Patent <i>Alfsen</i>	<input type="checkbox"/> Verbesserung der Betonzugfestigkeit durch Zumischen länglicher Fasern
ab 1920	Patente zu Faserformen und –anwendungen <input type="checkbox"/> 1927 Martin: Stahlfaserbeton-Rohre <input type="checkbox"/> 1943 Stahlfaserformen und ihre Wirksamkeit ↓ noch keine großtechnischen Anwendungen

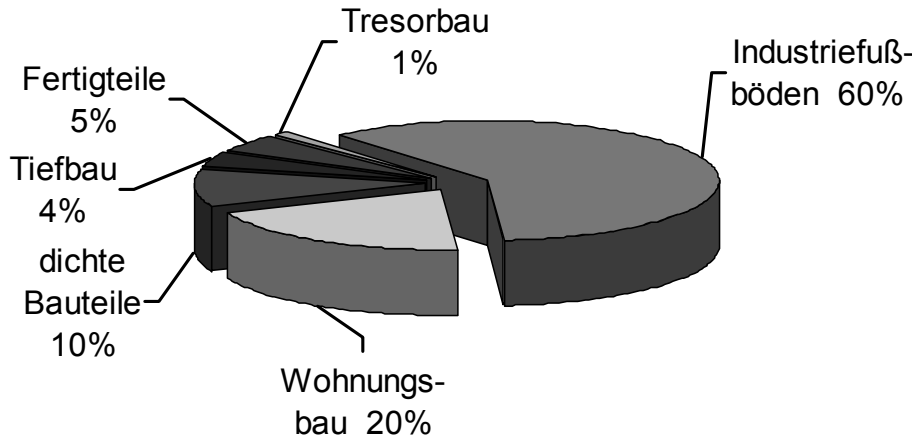
Stahlfaserbeton – historische Entwicklung II

60er Jahre	<ul style="list-style-type: none"> ❑ erste großtechnische Anwendungen im Kraftwerksbau und bei Fußböden
70er / 80er Jahre	<ul style="list-style-type: none"> ❑ erste Bemessungsregeln (USA, Japan) ❑ Stahlfaserbeton-Rohre (Ungarn) ❑ Stahlfaserspritzbeton (Hangsicherung, USA / Untertagebau, D) ❑ Stahlfaser-Pumpbeton (Abwassersammler Hamburg) ❑ Flugbetriebsflächen Frankfurt/M. ❑ Stahlfaserbeton-Rohre (D)
90er Jahre	<ul style="list-style-type: none"> ❑ zunehmende Anwendung von Stahlfaserbeton

Stahlfaserproduktion in Deutschland



Stahlfaserbetonanwendung



Probleme beim Einsatz von Fasern

- natürliche Fasern nur bedingt geeignet
- Fasern mussten in Bezug auf Betonanwendung optimiert werden
- Sicherung der homogenen Faserverteilung
- zufallsbedingte Orientierung der Fasern gerichtete Bewehrung
- besondere technologische und ausführungstechnische Überlegungen
- fehlende Bemessungsregeln und normative Grundlagen

Bauaufsichtliche Behandlung von Fasern im Beton

Nachweis der Verwendbarkeit durch
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung als
Betonzusatzstoff zur Verbesserung von

- Biegezug- und Zugfestigkeit (Rissverhalten)
- Arbeitsvermögen
- Schlagfestigkeit
- Verschleißwiderstand

zukünftig

- DIN EN 14889 : E 2004-04
Teil 1 Stahlfasern
Teil 2 Polymerfasern
- DIN EN 14845 : E 2004-01
Prüfverfahren für Fasern in Beton

Literatur Faserbeton

- Nußbaum; Vißmann: Faserbeton. Verlag Bau und Technik, 1999
- König; Holschemacher; Dehn: Faserbeton. Bauwerk Verlag, 2002
- Zeitschriften Beton, Beton- und Stahlbetonbau

Regelwerke Stahlfaserbeton

- DBV – Merkblatt: Stahlfaserbeton. Ausgabe 2001
- Stahlfaserbeton. Beispielsammlung zur Bemessung
DBV-Heft Nr. 7, 2004
zukünftig Rili DAfStb
- DIN EN 13987-2 : E 2000-12 Stahlbetonfertigaragen aus
Stahlfaserbeton
- DIN EN 1916 : 2003-04 und DIN V 1201 : 2004-08
Stahlfaserbetonrohre
- DIN EN 14888-7 : E 2002-08 Fasergehalt von faserverstärktem
Spritzbeton

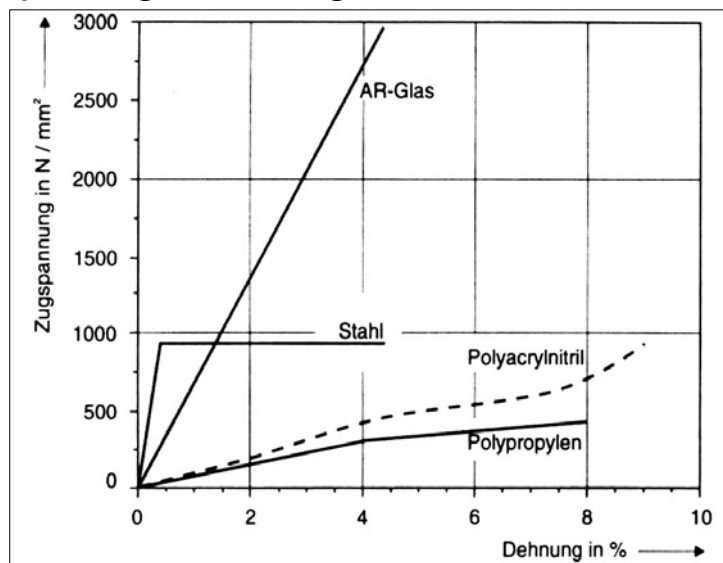
Regelwerke / Literatur Glasfaserbeton

- DIN EN 15191 : E 2005-05 Glasfaserbeton - Fertigteile
- DIN EN 1169 : 1999-10: Werkseigene Produktionskontrolle von
Glasfaserbeton
- DIN EN 1170: 1998-01: Prüfverfahren für Glasfaserbeton
- DIN EN 14649: 2003-05: Beständigkeit von Glasfasern im Beton
- Friedrich, T.: Glasfaserverstärkter Beton. Beuth, 2004

Regelwerke Faserzement

- ❑ DIN EN 492 : E 2003-10 und A2 : 2005-05 Faserzementdachplatten
- ❑ DIN EN 494 : 1999-07 und A1 : 2005-04 Faserzementwellplatten
- ❑ DIN EN 512 : 1994-11 und A1 : 2002-04 Faserzementdruckrohre
- ❑ DIN EN 588 : 1996-11 bzw. 2002-05 Faserzementabwasserrohre
- ❑ DIN EN 12467: 2000-09 und A2 : 2005-05 Faserzementtafeln

Spannungs – Dehnungs – Verhalten von Fasern



Faseranwendung

- Fasern mit hoher Steifigkeit
 - verbessertes (Biege-)Zugverhalten
 - höhere Schlagzähigkeit
 - höhere Nachrisstragfähigkeit

- Fasern mit geringer Steifigkeit
 - verbessertes Frühschwindverhalten
 - geringere Frührissbildung
 - höhere Grünstandsfestigkeit

Hohe Gehalte

Dünnwandige Bauteile mit verbesserten Festmörteleigenschaften

- Fasergewebe Ersatz für Bewehrung

- Kunststofffasern Brandschutz bei hochfestem Beton

Stahlfaserarten

- Herstellung - gezogen - gespannt - geschmolzen

- Oberfläche
 - gerade
 - gewellt
 - geriffelt
 - gebogen
 - glatt
 - verklebt
 - verdreht
 - rau
 - Endhaken

- Querschnitt - rund - rechteckig - unregelmäßig

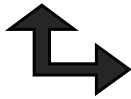
- Länge 15 mm bis 60 mm L/d = 30 ... 80
- Dicke 0,1 mm bis 1 mm

- Menge
 - 20 ... 120 kg/m³
 - 0,3 ... 1,5 Vol.-%
 - 700 ... 800 kg/m³
 - 8 ... 12 Vol.-%

- Zugfestigkeit ca. 500 bis 2600 N/mm²

Wirkungen von Stahlfasern im Beton

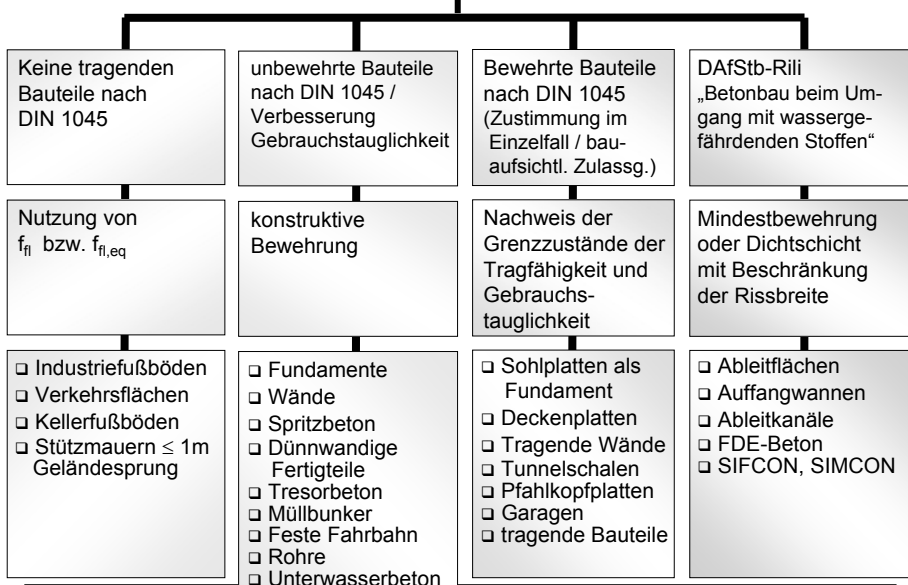
- Resttragfähigkeit nach Trennriss
- Verbesserung der Biegezugfestigkeit
- Rissverteilung, Rissvernadelung
- Verbesserung Schlagfestigkeit
- Verbesserung Ermüdungsfestigkeit
- Verringerung Schwinden, Kriechen bei hohen Fasergehalten



aber keine wesentliche Veränderung von

- **Druckfestigkeit**
- **zentrischer Zugfestigkeit**
- **E – Modul**
- **Schleifverschleiß**

Anwendung von Stahlfaserbeton

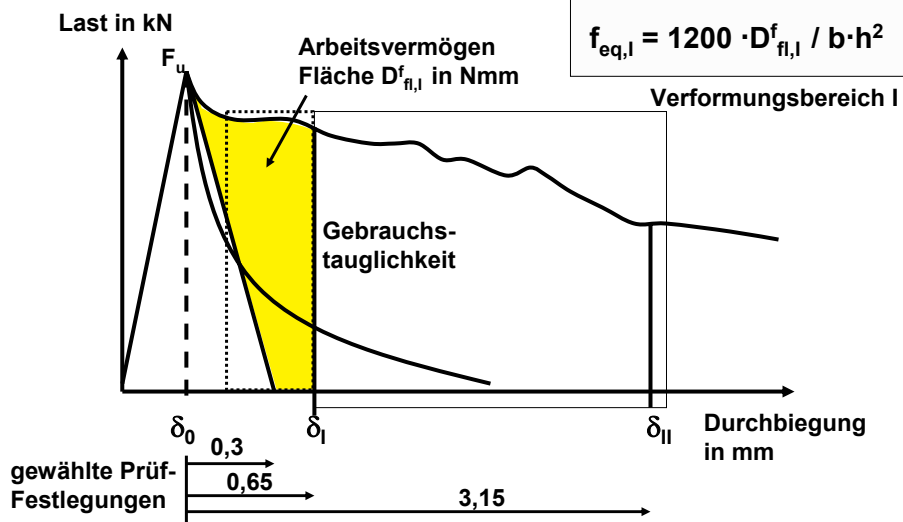


Merkblatt Stahlfaserbeton DBV

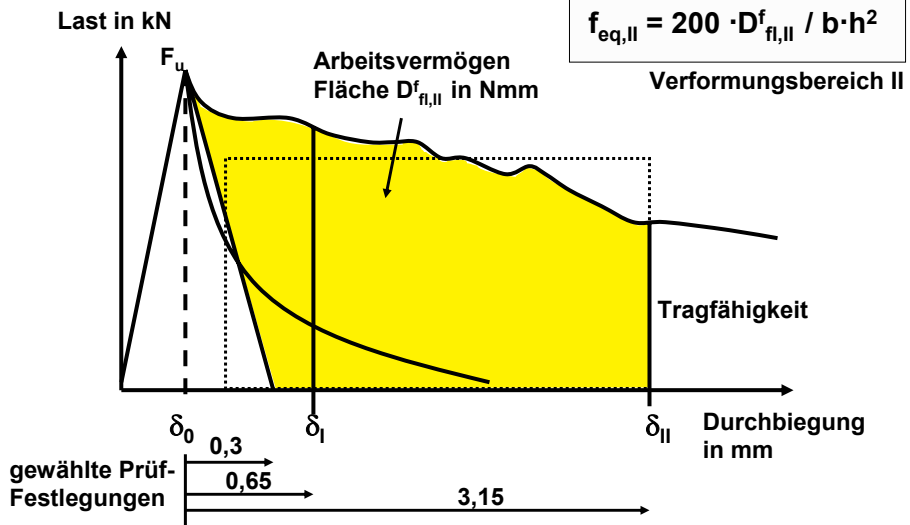
- Baustoffe (Ausgangsstoffe, Rezeptur, Herstellung)
- Bemessungskenngrößen (f_c , f_t , f_{fl} , E-Modul)
- Leistungsbeschreibung (Verformungsbereich, Leistungsklassen)
- Sicherheitskonzept (z.B. Anforderungen bau-/ wasserrechtlich)
- Bemessung (z.B. Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit)
- konstruktive Regeln (z.B. Zwang, Fugen)
- Bauausführung (Befördern, Verarbeiten, Nachbehandeln)
- Überwachung (einschl. Prüfungen)

- angepasst an neue Normengeneration
- Planer legt sog. Leistungsklassen fest
- Hersteller ist für Faserauswahl / -gehalt verantwortlich (Betonzusammensetzung)

Äquivalente Biegezugfestigkeit $f_{eq,I}$



Äquivalente Biegezugfestigkeit $f_{eq,II}$



Abhängigkeit der äquivalenten Biegezugfestigkeit von Fasergehalt und Faserschlankheit

Äquivalente Biegezugfestigkeit $f_{eq,II}$ [N/mm ²]	Fasergehalt in kg/m ³		
	Faserschlankheit $\lambda = l_{Faser} / d_{Faser}$		
	$\lambda = 45$	$\lambda = 65$	$\lambda = 80$
1,0	30	20	15
1,5	40	30	25
2,0	50	40	30
2,5	≥ 70	50	40
3,0	≥ 85	60	50

Fasern mit Endhaken, ein Hersteller
Tragfähigkeit

Technologische Besonderheiten

- zusätzlicher Dosiervorgang im Transportbetonwerk oder auf der Baustelle in den Fahrmischer
- Mischzeit ≥ 1 min, im Fahrmischer ≥ 1 min/m³
- Faservereinzelung muss gesichert sein
- Rücksteifen durch Faserzugabe zwischen 2 cm und 10 cm
⇒ Ausgleich durch BV, FM, erhöhten Zementleimgehalt
- evtl. erschwertes Pumpen
- Verdichtungsaufwand nimmt zu

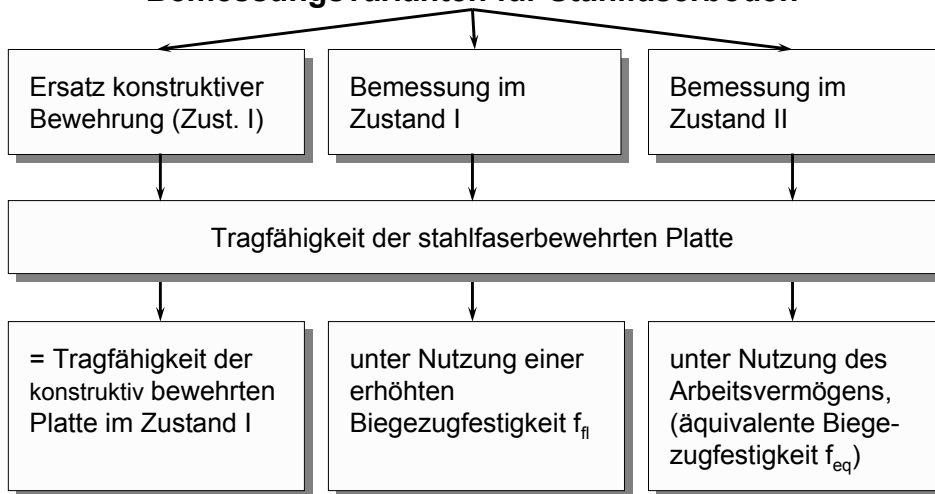
Korrosion von Stahlfasern - ungerissener Beton -

- keine Betonabplatzungen bei rostenden Fasern an der Oberfläche
- Faserkorrosion nur bis ca. 2 mm Tiefe,
bei Chloridbeanspruchung bis 6 mm Tiefe
- stört Korrosion aus ästhetischen bzw. Nutzungsgründen
⇒ - Fasern aus verzinktem oder nichtrostendem Stahl
- dünne stahlfaserfreie Deckschichten
- Hartstoffschichten

Korrosion von Stahlfasern - gerissener Beton -

- ❑ Faserkorrosion im Bereich von Rissen, wenn
 - Beton carbonatisiert
 - der Riss wechselnd durchfeuchtet / austrocknet (Außenbauteile)
 - Chloride angreifen
- ❑ bei Außenbauteilen können in 10 Jahren bis zu 25 % Querschnittsverlust der Fasern auftreten (bei Rissbreiten um 0,2 mm)
- ❑ Außenbauteile aus Stahlfaserbeton bedürfen zusätzlicher Schutzmaßnahmen, wie
 - Fasern aus verzinktem oder nichtrostendem Stahl
 - rissüberbrückende Beschichtungen
 - Schließen der Risse
- ❑ bei Chlorideinwirkung bieten auch verzinkte Fasern keinen Schutz

Bemessungsvarianten für Stahlfaserböden



Bemessungsvarianten für Stahlfaserböden

Zustand I
unter Nutzung einer erhöhten und
gleichmäßiger vorhandenen
Biegezugfestigkeit f_{bt}



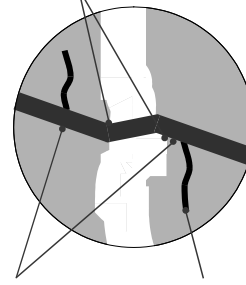
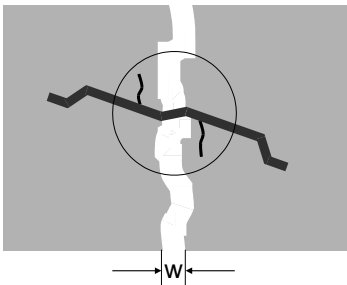
hohe Fasergehalte mit
gutem Verbund zum Beton
erforderlich

Bemessungsvarianten für Stahlfaserböden

Zustand II unter Nutzung
des Arbeitsvermögens,
(äquivalente Biegezugfestigkeit f_{eq})

- Fasern mit Endverankerung
- hohe Stahlzugfestigkeit
- hohe Fasersteifigkeit

Umlenkräfte



Reibung

Sekundärriss

Stahlfaserbeton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

FDE - Faserbeton

- nur Fasern mit bauaufsichtlicher Zulassung
- Fasergehalt: 0,5 bis 1,5 Vol.-%,
d.h. 40 bis (120 kg/m³) bei Stahlfasern
- korrosionsbeständige Fasern bei stahlangreifenden Flüssigkeiten oder Schutzmaßnahmen



- Fasereinsatz zur Beschränkung der Rissbreite zulässig und
- Abminderung der Mindestbewehrung durch Faseranrechnung zulässig



Wirkungsweise von Unterwasserbetonsohlen

- Schwergewichtssohle (geringer Wasserdruck, kleine Baugruben)
- unbewehrte Sohle mit Rückverankerung
- Stahlfaserbetonsohle mit Rückverankerung
(mit Zustimmung im Einzelfall)



Wirkungsweise von Unterwasserbetonsohlen

	unbewehrter Beton	Stahlfaserbeton
Duktilität	gering	hoch
Unempfindlichkeit gegen Setzungen	gering	hoch
Rissbreitenbegrenzung	nein	(ja)
Plattendicke	100 %	60 ... 70 % oder Erhöhung der Sicherheit

Fundamentplatten aus Stahlfaserbeton (Wohnungsbau)

Konstruktion / Bemessung

- Dicke der Bodenplatten: min. 20 cm / max. 30 cm
- 0,3 mm PE-Folie unter der Bodenplatte (mit 50 cm Überlappung)
- unter Wänden auf 2 m Breite zweilagig !
- Abstände paralleler Wände < 6 m
- Einspringende Ecken konstruktiv mit 2 \emptyset 12 bewehren
- Zusatzbewehrung unter Wandöffnungen > 5 * Plattendicke
- Wände sind als gelenkig gelagert anzunehmen

Fundamentplatten aus Stahlfaserbeton (Wohnungsbau)

- Voraussetzungen:**
- Wohnungsbau bis zu 2 Vollgeschossen
 - Sohlplattengröße max. 12 m Kantenlänge
 - max. Wandlasten bis 172 kN/m Außenwände
bis 308 kN/m Innenwände
 - Bettungsziffer des Baugrunds $\geq 0,03 \text{ N/mm}^2$
 - nicht als Sohlplatte einer Weißen Wanne geeignet

Fasergehalt wird statisch angerechnet

- Fasergehalt : je nach Fasertyp 20 bis 70 kg/m³
- Faserzugabe nur im Werk
- mind. Beton C 25/30
- äquiv. Biegezugfestigkeit $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$
- immer Erstprüfung erforderlich
- Bodenplatte mit mind. 15 cm seitlichen Überstand ausführen



Ortbeton-Kellerwände aus Stahlfaserbeton

- Voraussetzungen:**
- Wohnungsbau, Höhen max. 2,75 m
 - Vorgegebene Stahlfasertypen
 - Anschluss Wand - Sohlplatte *gelenkig ausbilden*
 - Wand - Decke

Fasergehalt wird statisch angerechnet

- Fasergehalt : 20 bis 60 kg/m³
- mind. Beton C 25/30, schwindarm
- äquiv. Biegezugfestigkeit $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$
- Mindestwanddicke für Außenwände: $d = 20 \text{ cm}$
- Ringanker am Wandkopf zur Aussteifung

→ keine Rissbreitenbeschränkung z.B. für Weiße Wanne



Stahlfaserbeton - Elementwand

- unbewehrte und bewehrte Innen- oder Außenwand
- Statisch erforderliche Bewehrung darf auf Stahlfaserbewehrung angerechnet werden

- Anforderungen: Beton \geq B C 30/37, Fasergehalt mind. 40 kg/m³, bestimmter Fasertyp (60 mm lang)
 Fertigteil: Dicke \geq 4 cm
 Ortbetonkern: Dicke \geq 10 cm (bei Fließbeton 7 cm)
 zusätzl. Mindestbew.: 2 \varnothing 6 / m \perp Gitterträger

Betoniergeschwindigkeit (von 0,6 bis 4,5 m/h)
ist abhängig von...

- Plattendicke d z.B. bei
- Betondeckung c
- Gitterträgerabstand a

$d = 5 \text{ cm}$
 $c = 1,5 \text{ cm}$
 $a = 50 \text{ cm}$
 $v = 2,3 \text{ m/h}$



Elementdecke und Stahlfaser-Aufbeton

- kein Verlegen der oberen Bewehrungslage erforderlich
- Biegetragfähigkeit des SFB ersetzt obere Bewehrung
 optimal: Fasergehalt so hoch, dass die Biegetragfähigkeit bei Rissbildung nicht abfällt, sondern von den Fasern aufgenommen werden kann
- erste Anwendung bei Durchlaufdecke ausgeführt
 (z.Zt. Zustimmung im Einzelfall erforderlich)
- Fasergehalt mindestens 40 kg/m³
- Bemessungsgrundlage: Momentenumlagerung nach EC 2 T. 1-1
 (aufnehmbares Biegemoment über der Stütze ist von der Deckendicke abhängig)



Stahlfaserbeton-Fertigaragen (E DIN EN 13978-2)

- Längen: 6,00 m bis 9,00 m
- Breiten: 2,98 m bis 3,48 m
- Höhen : 2,48 m bis 3,48 m
- Wanddicken : min. 6 cm
- Deckendicken: min. 8 cm

- Biegezugfestigkeit : 3,22 N/mm²
- Nachrissfestigkeit I : 1,44 N/mm²
- Nachrissfestigkeit II: 0,85 N/mm²

Garagen aus SFB: Zulassungs-Nr. Z-71.3-19



BetonMarketing Ost

Stahlfaserbetone nicht empfehlenswert bei

Gärfuttersilos

Stallböden

Tierschutz !



BetonMarketing Ost

Anwendung von Glasfaserbeton

- **Leichte Bauteile mit hoher Festigkeit**
- **Bauteile für den Brandschutz**
- **Dünnwandige, gekrümmte Bauteile**
 - **Wand- und Fassadenelemente**
 - **Nasszellen, Schwimmbeckenbehälter**
 - **Dachsteine, Dachplatten**
 - **Boote, Schwimmbehälter**
 - **Paletten, Hauben**
 - **Lüftungskanäle**
 - **Lärmschutzwände**
 - **Kanalbau-Tübbinge**
 - **Gartenzubehör**

Anwendung von Kunststofffasern im Beton

- **Verminderung der Gefahr von Oberflächenrissbildung infolge Eigenspannungen im jungen Beton**
- **Erhöhung der Grünstandfestigkeit**

- **Konsistenz und Ansteifverhalten beachten, Ausbreitmaß kleiner als bei Beton ohne Fasern**
- **Pumpbarkeit und Spritzbarkeit gegeben, aber Eignungsversuche**
- **keine nennenswerten Änderungen**
 - **der Festigkeiten**
 - **des Schwindens und Kriechens**
 - **des Frost-Widerstandes**
 - **des Frost-Tausalz-Widerstandes**
 - **der Wasserundurchlässigkeit**

Anwendung von Beton mit Kunststofffasern

- Fassadenelemente
- Bodenplatten
- Auffangräume für wassergefährdende Flüssigkeiten
- Brückenkappen
- Brandschutz
- Abflußrinnen
- Betonersatzsysteme
- verlorene Schalungen