

Aktuelle Entwicklung bei der Anwendung von Stahl- und Kunststofffasern

Der Beitrag behandelt aktuelle Entwicklungen bei der Anwendung von Stahl- und Kunststofffasern in der Betonproduktion. Vor- und Nachteile verschiedener Faserarten werden anhand technisch relevanter Eigenschaften (Nachrissverhalten, Zugfestigkeit, Rissbreitenbeschränkung, Schubfestigkeit des faserbewehrten Betonquerschnitts, etc.) aufgezeigt. Des Weiteren werden Anwendungsmöglichkeiten für pfahlgestützte Bodenplatten und Deckenplatten präsentiert. Die neue deutsche Richtlinie „Stahlfaserbeton“ wird vorgestellt und die sich aus ihr ergebenden Möglichkeiten zur praktischen Anwendung von Fasern in der Produktion von Betonbauteilen werden diskutiert.

■ Roland Schepers, KrampeHarex, Hamm, Deutschland ■

Stahlfasern

Seit Beginn des neuen Jahrhunderts haben sich in Europa Drahtfasern innerhalb der Gruppe verschiedener Stahlfasern klar durchgesetzt. Während in den neunziger Jahren noch gefräste Stahlfasern oder solche, die aus Blechen geschnitten oder gestanzt wurden, einen relativ großen Marktanteil besaßen, werden heutzutage nahezu nur noch Stahlfasern verwendet, deren Basis kalt gezogener Draht ist. Innerhalb der Gruppe von Stahldrahtfasern wiederum, finden sich hauptsächlich solche mit Endhaken oder gewellte Typen (Abb. 1, 2). Erstaunlicherweise scheint die Bevorzugung des einen oder der anderen Fasertyps weniger technisch begründet zu sein, sondern vom Land des Anwenders abzuhängen. So werden z. B. in Deutschland hauptsächlich Stahldrahtfasern mit Endhaken eingesetzt, in Großbritannien hingegen gewellte Fasertypen.

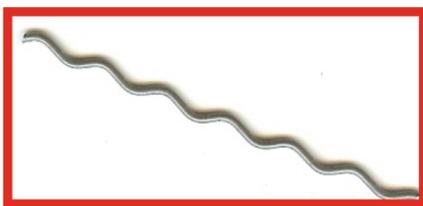


Abb. 1. Drahtfaser, gewellt (Typ DW 50/1,0 N)

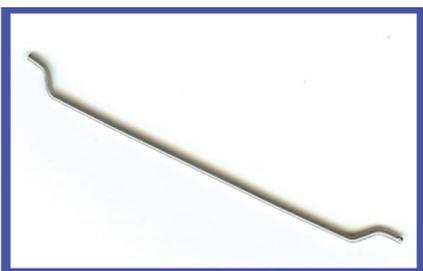


Abb. 2. Drahtfaser, mit Endhaken (Typ DE 50/1,0 N)

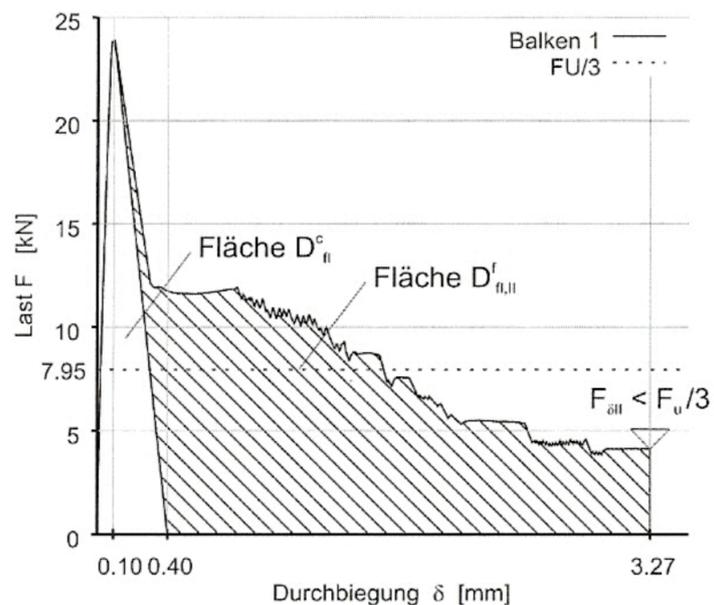


Abb. 3. Nachrissverhalten einer gewellten 5/1,0-mm-Faser

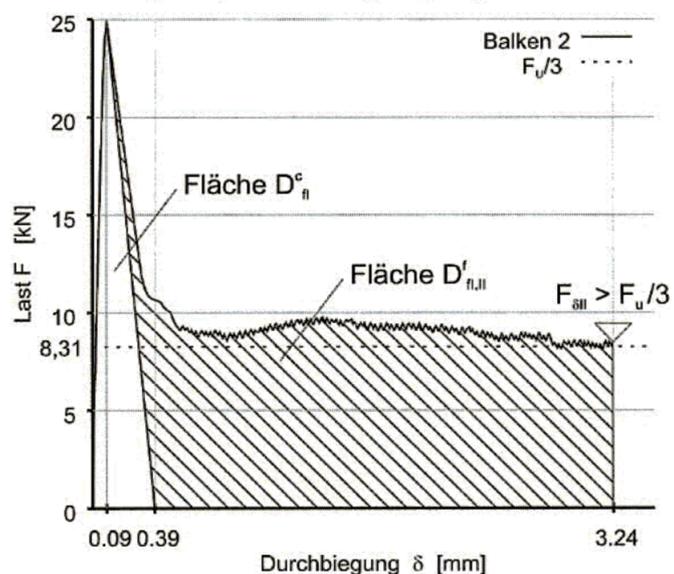


Abb. 4. Nachrissverhalten einer 50/1,0-mm-Faser mit Endhaken

Nachrissverhalten

Da die Bemessung der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit von der Charakteristik der Last-Verformungskurve abhängt, muss es nicht zwangsläufig so sein, dass ein Fasertyp, der einen guten Wert für die Bemessung der Gebrauchstauglichkeit liefert, auch einen vergleichsweise guten Wert für die Tragfähigkeit garantiert. Dies haben vergleichende Versuche von Stahldrahtfasern gezeigt (Abb. 3, 4). Während die gewellten Fasern höhere Bemessungswerte für die Gebrauchstauglichkeit liefern, ergeben sich für solche mit Endhaken höhere Werte für die Bemessung der Tragfähigkeit.

SFB-Biegebalken
Harex-Fasern DE 60/1.0 normalfest
35 kg/m³ Stahlfasern

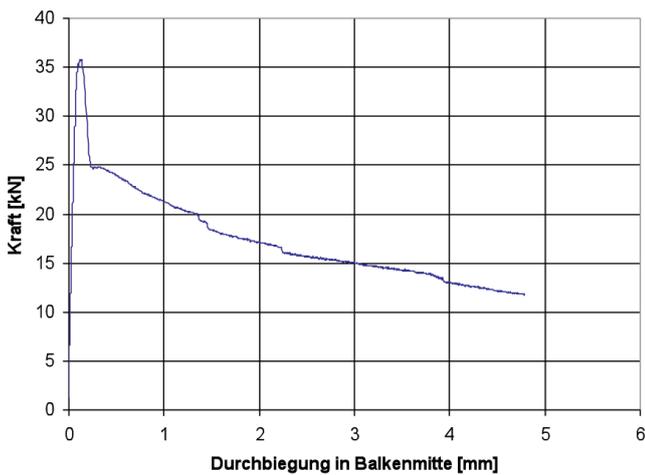


Abb. 5. Nachrissverhalten von normalfesten Stahlfasern in einem hochfesten Beton

SFB-Biegebalken
Harex-Fasern DE 60/1.0 mittelfest
35 kg/m³ Stahlfasern

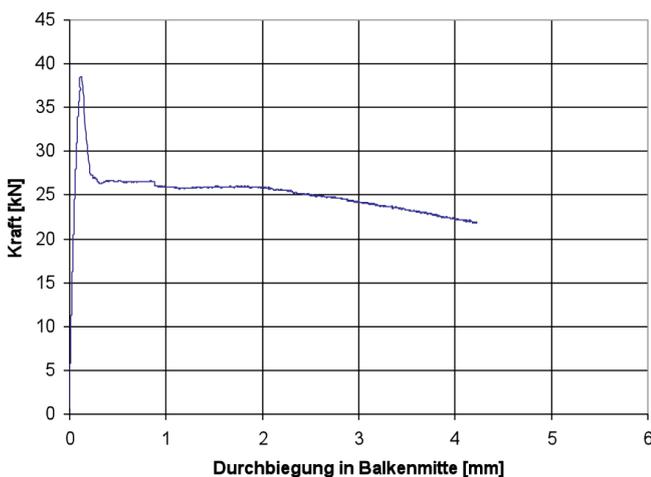


Abb. 6. Nachrissverhalten von mittelfesten Stahlfasern in einem hochfesten Beton

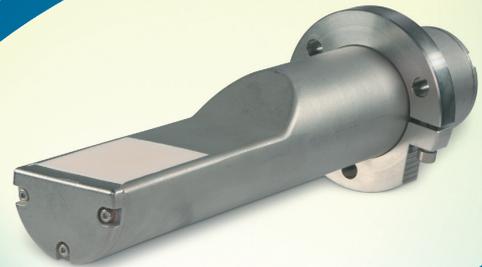


■ Roland Schepers hat an der Universität Essen Bauingenieurwesen studiert und hat anschließend in den Bereichen Bauchemie, Transportbeton und Betonfasertechnik gearbeitet. Seit 2005 ist er Sales Director International bei dem Unternehmen KrampeHarex.

roland.schepers@krampeharex.com

Hydronix

definiert den Standard der Feuchtemessung



HYDRO-PROBE II:

Der digitale Mikrowellensensor zur präzisen Messung von fließenden Materialien, wie Sand und Zuschlagstoffen

Warum Hydronix?

- Anzeige und Einstellung der Feuchtwerte in Echtzeit
- Flexible Installation in bzw. unter Silos und auf Fließbändern
- Auswertung und Konfiguration von bis zu 16 Sensoren über eine Ethernet-Verbindung
- 25 Messwerte pro Sekunde



Hydronix

enquiries@hydronix.com www.hydronix.com

Faser-Zugfestigkeit

Die üblicherweise eingesetzten Stahldrahtfasern weisen eine mittlere Zugfestigkeit von 1.100 N/mm² auf. Wenn man dabei die Haupteinsatzgebiete von Stahlfaserbeton, nämlich den Industrieboden-, den Wohnungs- und den Tunnelbau betrachtet, ist festzustellen, dass es sich fast stets um Festigkeitsklassen zwischen C20/25 und C30/37 handelt. In letzter Zeit werden Stahlfasern auch vermehrt im Fertigteilmassivbau eingesetzt. In diesem Anwendungsbereich sind jedoch häufig höhere Betonfestigkeitsklassen z. B. C50/60 anzutreffen. In Versuchen ist nun nachgewiesen worden, dass höhere Betonfestigkeiten und höhere Zugfestigkeiten der Stahlfasern erforderlich machen. Normalfeste Stahlfasern zeigen in einem hochfesten Beton ein unterdurchschnittliches Nachrissverhalten (Abb. 5). Mittelfeste Stahlfasern zeigen ein durchschnittliches Nachrissverhalten in einem hochfesten Beton (Abb. 6). Hochfeste Stahlfasern weisen in einem hochfesten Beton ein überdurchschnittliches Nachrissverhalten auf (Abb. 7).

Zur Erreichung eines Bemessungswertes für Stahlfaserbeton ist das Verhältnis von Faserlänge und -durchmesser („Aspect Ratio“) von besonderer Bedeutung. Es kann als bekannt vorausgesetzt werden,

dass ein höheres L/D-Verhältnis auch höhere Nachrissfestigkeiten und damit auch höhere Bemessungswerte bedeutet.

Kunststofffasern

Im Bereich der Kunststofffasern muss zwischen zwei Typen unterschieden werden und zwar zwischen Makro- und Mikrofasern. Erstere weisen wie Stahlfasern ein Nachbruchverhalten auf, versagen jedoch bei einer Langzeitbelastung. Innerhalb der Gruppe der Mikrofasern kann wiederum zwischen fibrillierten und monofilamenten Kunststofffasern unterschieden werden. Da die fibrillierten Fasertypen eher eine untergeordnete Rolle spielen, sollen im Weiteren nur monofilamenten Kunststofffasern, hier Polypropylenfasern betrachtet werden (Abb. 9). Diese Fasern weisen eine Länge vom 6 bis 18 mm und einen Durchmesser von 15 µm bis 42 µm auf. Während die herausragenden Eigenschaften von Beton im Brandfall, dem Mikrofasern aus Polypropylen zugesetzt wurden, weitgehend bekannt sind, wurde im Rahmen einer Zulassungsprüfung die Reduzierung der Frühschwindrisse eindrucksvoll nachgewiesen. Dabei wurde die betonierete Fläche ohne weitere Nachbehandlung über mehrere Stunden einer Windbeaufschlagung von 5 m/Sek. ausgesetzt (Tabelle 1).

SFB-Biegebalken
Harex-Fasern DE 60/1.0 hochfest
35 kg/m³ Stahlfasern

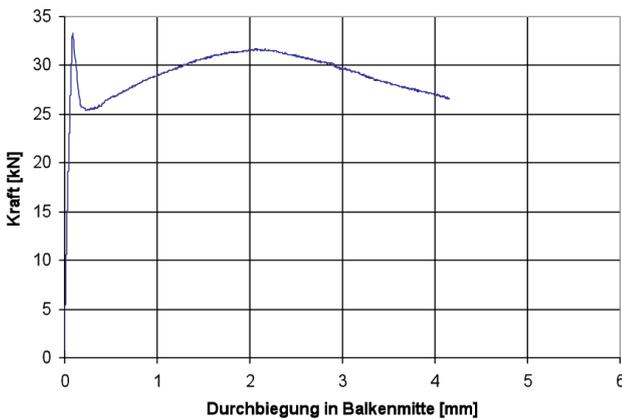


Abb. 7. Nachrissverhalten von hochfesten Stahlfasern in einem hochfesten Beton

Tabelle 1: Einfluss der Kunststofffasern auf die Rissbildung

	max. Rissbreite e	Rissfläche	in % v. 0-Beton
0-Beton	0,35 mm	176,5 mm ²	0%
PM 6/15	0,15 mm	73,1 mm ²	41,4%
PM 6/42	0,15 mm	91,5 mm ²	51,8%
PM 18/32	0,10 mm	27,9 mm ²	15,8%

Es ist an dieser Stelle deutlich darauf hinzuweisen, dass Mikrofasern aus Polypropylen in keiner Weise eine ordnungsgemäße Nachbehandlung ersetzen. Allerdings sind sie bei ungünstigen klimatischen Bedingungen oder bei der Herstellung sehr großer Fugenfelder von enormem Vorteil.

Drahtfaser 50 mm und 60 mm lang und 1,0 mm im Durchmesser mit 30 kg/m³ unter Variation der Betondruckfestigkeit

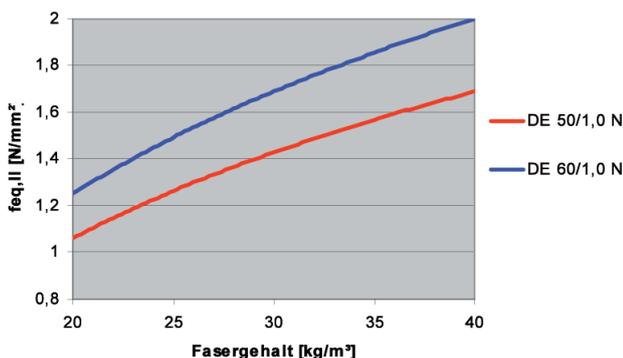


Abb. 8. Nachrisszugfestigkeit von Stahlfasern mit unterschiedlichem L/D-Verhältnis

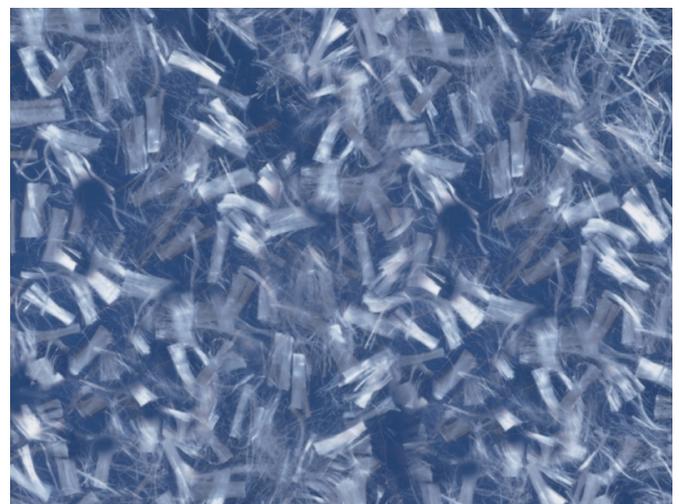


Abb. 9. Monofilamenten Kunststofffasern (Typ PM 12/18)

Faserkomposit

Um die Vorteile der verschiedenen Faserarten jeweils ausnutzen zu können, werden zunehmend Kombinationen („Faserkomposit“) aus Stahl- und Kunststofffasern eingesetzt. Da es sowohl in der frühen Phase der Betonerhärtung, als auch im späteren Gebrauch zu rissverursachenden Spannungen kommt, ist es sinnvoll, geeignete Fasern für beide Zeiträume zu verwenden. In den mittlerweile bis zu 2000 m² großen fugenlosen Industrieböden, werden so durchschnittlich 40 kg/m³ Drahtfasern im Kombination mit 1.000 g/m³ Polypropylen-Kunststofffasern verarbeitet.

Rissbreitenbeschränkung

In Abhängigkeit von Fasertyp und -dosierung besitzt Stahlfaserbeton die Eigenschaft einer zentrischen Nachrisszugfestigkeit. Auf diese Weise kann Stahlfaserbeton bei der Berechnung der Rissweite, bzw. dem rechnerischen Nachweis für die Beschränkung der Rissweite, berücksichtigt werden. Dabei wird die effektive Zugfestigkeit des Betons um die Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons vermindert. Auf diese Weise lassen sich bis zu 50 % der für die Begrenzung der Rissbreite erforderlichen Betonstahlbewehrung einsparen (Abb. 10). Abgesehen von der Einsparung von Material, kann hier ein einfacherer und schnellerer Einbau des Betons erreicht werden.

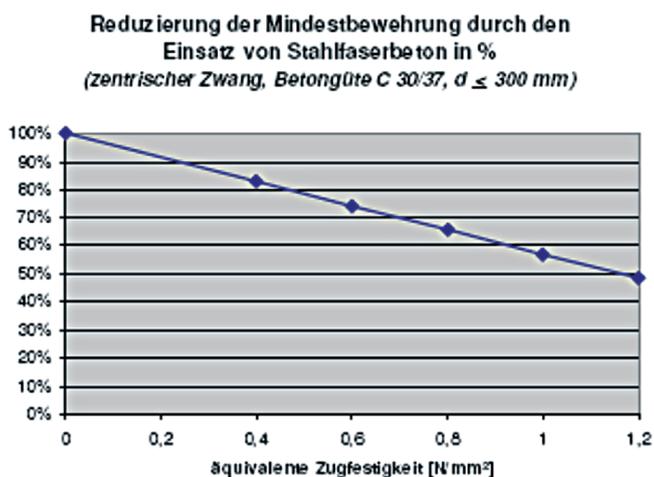


Abb. 10. Reduzierung der Mindestbewehrung bei Verwendung von Stahlfasern

Verminderung der Schubbewehrung

In Verbindung mit Vorspannungen wurden Fertigteilbinder hergestellt, bei denen die Schubbewehrung komplett durch Stahlfasern ersetzt wurde. Wegen der höheren Festigkeit des verwendeten Betons, werden bei dieser Anwendung auch, je nach Betongüte, mittel- oder hochfeste Stahlfasern eingesetzt. Beim Nachweis der Schubbewehrung kann ein eigener Traganteil der Fasern aus der Nachrisszugfestigkeit ermittelt werden. Dieser kann sowohl zu aufnehmbaren Querkraft eines Bauteils ohne Schubbewehrung, als auch zur aufnehmbaren Querkraft eines Bauteils mit Schubbewehrung hinzu addiert werden. Da bei vorgespannten Bauteilen bereits ein großer Teil der notwendigen Tragfähigkeit über die vorhandene Normalkraft abgetragen wird, reichen hier Fasern aus, um die Bügelbewehrung zu ersetzen.

Pfahlgestützte Bodenplatten

Bei schlechten Untergründen, d. h. dort wo die Tragschicht nicht mindestens ein Bettungsmodul von $k = 0,03$ MN/m² aufweist, werden Bodenplatten im Industriebau auf Pfählen gegründet. Die Momentenverteilung innerhalb einer derartigen Platte ist von hohen Beträgen oberhalb der Pfahlköpfe sowie in der Mitte der Feldbereiche gekennzeichnet.

Üblicherweise sind die Bodenplatten in ihrer kompletten Ausdehnung zweilagig bewehrt, wobei oberhalb der Pfahlköpfe und in Feldmitte mit Zulagebewehrung gearbeitet werden muss. Da Stahlbeton ein aufnehmbares Moment zugewiesen wird, kann das Ziel erreicht werden, nur noch über den Pfählen oben eine reduzierte Stabstahlbewehrung und in den Feldern unten eine Baustahlmatte zu verlegen oder in einzelnen Fällen komplett auf Baustahlbewehrung zu verzichten. Bei dem aufnehmbaren Moment kann ein rechteckiger Spannungsblock zu Grunde gelegt und dem Stahlfaserbeton eine äquivalente Zugfestigkeit zugeordnet werden.

Zur Ermittlung der äquivalenten, zentrischen Zugfestigkeit wird zunächst die äquivalente Biegezugfestigkeit in Versuchen ermittelt. Unter Berücksichtigung einer dauernden Belastung sowie der Bauteilgeometrie, ergibt sich dann der Bemessungswert der äquivalenten Zugfestigkeit.

Deckenplatten

Das Prinzip der Bemessung von pfahlgestützten Bodenplatten lässt sich auch für Deckenplatten anwenden. Der wesentliche Unterschied liegt natürlich in der Sicherheitsbetrachtung. Während bei der Ermittlung der Schnittkräfte bei pfahlgestützten Platten häufig ein plastisches Verfahren verwendet wird, wird dies zum Beispiel gemäß dem Gelbdruck der Richtlinie Stahlfaserbeton des DAfStb für Deckenplatten ausgeschlossen. Hier würden konservativere elastische Verfahren angewendet werden. Für die Herangehensweise an die Bemessung von Deckenplatten in Kombinationsbewehrung sind mehrere Regelwerke zu beachten. Um eine zuverlässige Interpretation der verschiedenen Ansätze zu gewährleisten, hat die Firma KrampeHarex ein breites Forschungsvorhaben bei einer im Bereich „Faserbeton“ führenden deutschen Universität in Auftrag gegeben.

Die neue deutsche Richtlinie „Stahlfaserbeton“

Im August 2008 ist nach 8-jähriger Arbeit der Gelbdruck der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) erschienen. Es ist zu erwarten, dass im Herbst/Winter 2009 eine allgemein gültige und bauaufsichtlich relevante Richtlinie für Stahlfaserbeton vorhanden sein wird. Viele Begrenzungen in den derzeit gültigen Zulassungen sind damit hinfällig. Mit der neuen Richtlinie wird die Bemessung komplexerer Bauteile in Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärktem Stahlbeton möglich sein. Spezielle Bauteilzulassungen werden teilweise unnötig. Besonders ist die Einteilung des Stahlfaserbetons in so genannte Leistungsklassen zu erwähnen, die dem Planer und Bemessenden einen festen Bemessungswert liefern, ähnlich der Druckfestigkeit für den Beton. Stahlfaserbeton wird nach seinen Eigenschaften und einer Leistungsfähigkeit klassifiziert und nicht länger nur über einen Produktnamen. Leider wurden aufgrund der nur in Teilbereichen vorliegenden Erfahrungen vorgespannte Bauteile noch ausgeklammert, obwohl gerade hier Stahlfaserbeton wirkungsvoll eingesetzt werden kann.

Makrofasern

Spätestens seit dem massiven Anstieg der Preise für Stahlfasern steigt das Interesse an sog. „Makrofasern“. Länge und Faserform ähneln dabei denen von Stahlfasern. Während die zur Schwindrissminimierung und für den Brandschutz verwendeten Kunststofffasern Durchmesser zwischen 15 und 42 µm aufweisen, spricht man bei äquivalenten Durchmessern ab 300 µm im Allgemeinen von „Makrofasern“.

Im aktuellen Entwurf der DIN EN 14889-2 „Fasern für Beton-Teil 2: Polymerfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität“ wird auch für Polymerfasern für die Klassifizierung der Fasern als Verwendungszweck die Klasse III angegeben, nach der die Fasern primär zur Erhöhung der residuellen Biegezugfestigkeit von Mörtel und/oder Beton eingesetzt werden. Dies bedeutet, dass PP-Makrofasern prinzipiell auch zur Verbesserung der Nachrissstragfähigkeit gemäß der zukünftigen europäischen Norm eingesetzt werden dürfen.

Da aber speziell das Langzeitverhalten unter Dauerbelastung und das Verhalten bei verschiedenen Temperaturen bisher nur wenig erforscht wurde und einige Versuchsergebnisse vorliegen, die hier ein deutlich schlechteres Materialverhalten als bei Stahlfaserbeton aufweisen, kann Beton mit Polypropylenmakrofasern nicht einfach mit den Ansätzen für Stahlfaserbeton bemessen werden. In erster Linie bestehen Bedenken bezüglich von Rissbreiten, die bei Verwendung von Fasern mit geringem E-Modul sicherlich über einen längeren Zeitraum zunehmen werden.

Für die neue österreichische Richtlinie „Faserbeton“ finden deshalb seit Juli 2007 Langzeitversuche statt, die das Kriechverhalten einzelnen Makrofasern aus Polypropylen untereinander und im Vergleich zu Stahlfasern vergleichen. Dabei beginnt

der Dauerversuch bei einer Bruchlast von 50 %. Im Ergebnis lassen sich bei den Makrofasern zwei prinzipielle Verformungsverhalten feststellen:

- Dehnung bis zum Bruch
- Dehnung mit übergroßen Rissbreiten

Für die praktische Anwendung eignen sich Makrofasern aus Polypropylen demnach nur bei kurzzeitiger Belastung. Im Dauerbetrieb hingegen ist mit dem Bruch des Betons oder mit großen Verformungen zu rechnen.

Zusammenfassung

Erweiterte Erkenntnisse über die Wirkung von Stahlfasern in Abhängigkeit von deren Form, Festigkeit oder Geometrie, ermöglichen immer neue Anwendungsfelder. Während Stahlfaserbeton bei Industrieböden auf Tragschicht mittlerweile Stand der Technik ist, ermöglichen Kombinationen von Stahlfasern und herkömmlicher Bewehrung neue Einsatzmöglichkeiten. Ob und inwieweit auf diese Weise auch Deckenplatten hergestellt werden können, wird noch untersucht.

Die neue Richtlinien für den Einsatz von Stahlfasern geben dem gesamten Thema nun auch einen festen gesetzlichen Rahmen. Es dürfte auch denjenigen helfen, die dem Thema bisher noch skeptisch gegenüberstanden.

Andere Fasern als Alternative zu Stahlfasern sind nicht vorhanden. Während (Mikro-) Kunststofffasern nur zur Verringerung von Schwindrissen und zum Brandschutz verwendet werden können, eignen sich (Makro-)Kunststofffasern nur bei kurzzeitiger Belastung.



KOBAFLEX POLYURETHAN- BESCHICHTUNG

Keine lädierten Trichter, Wannen und Kübel durch Hammerschläge. Kürzere Säuberungszeiten. Minimaler Verschleiß.

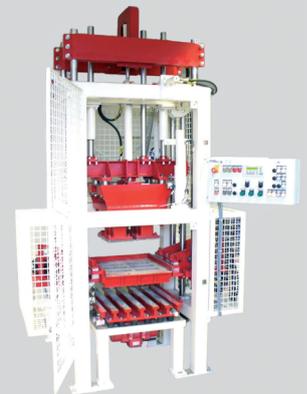


PERFEKT IN ABRIEBFESTEM POLYURETHAN
DE MORS 118
7631 AK OOTMARSUM - HOLLAND
T +31 (0)541 - 291 681
F +31 (0)541 - 293 247
E INFO@KOBATO.NL
WWW.KOBATO.NL

**ES IST ROT,
GIBT DAUERHAFTEN
SCHUTZ UND
IST EINFACH
ZU REINIGEN.**

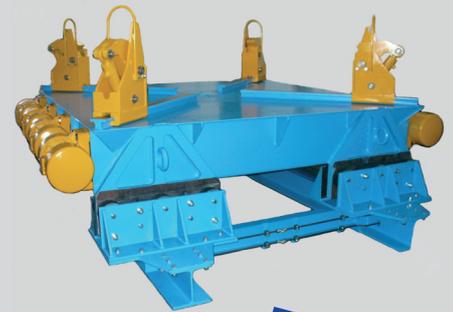
Steinformmaschinen

- Bodenfertiger
- Labor- / Muster-Steinfertiger:



Rütteltische

Für die Fertigung von div. Betonelementen als „Stand alone“-Lösung oder als Teil einer kompletten Fertigungslinie.



**Neu: Erweitertes
Rüttlerprogramm**

Außenrüttler

Für alle Anwendungsbereiche. Vom kostengünstigen Silorrüttler bis hin zu extrem belastbaren Rüttlern für z.B. Betonsteinmaschinen.



Sondermaschinen z.B.

- Trennmaschinen für die Schwellenfertigung
- Betonaustragungsanlagen mittels Vibration
- Vollautomatische Innenverdichtungsanlagen für z.B. die Schwellenfertigung

Knauer Engineering GmbH Industrieanlagen & Co. KG
D-82538 Geretsried, Elbestrasse 11 – 13,
Deutschland

Tel.: + 49 (0) 8171 6295-0

Fax: + 49 (0) 8171 64545

e-mail: info@knauer.de

Website: www.knauer.de