

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Stahlfaserbeton

Ausgabe November 2012

Ersatz für Ausgabe März 2010; bisherige Vertriebsnummer 65050

Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit
DIN EN 1992-1-1/NA, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und
DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Teil 2: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

Teil 3: Hinweise für die Ausführung

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21.07.1998, S. 37), zuletzt geändert durch Artikel 26 Absatz 2 der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 (ABl. L 316 vom 14.11.2012, S. 12), sind beachtet worden.

Bezüglich der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unterlagen und technischen Anforderungen, die sich auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch Produkte bzw. Prüfverfahren angewandt werden dürfen, die Normen oder sonstigen Bestimmungen und/oder technischen Vorschriften anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, entsprechen, sofern das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAfStb
Budapester Straße 31
D-10787 Berlin
Telefon: 030 2693-1320
info@dafstb.de

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) beansprucht alle Rechte, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen. Ohne ausdrückliche Genehmigung des DAfStb ist es nicht gestattet, diese Veröffentlichung oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege oder auf andere Art zu vervielfältigen.

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Stahlfaserbeton

Ausgabe November 2012

Ersatz für Ausgabe März 2010; bisherige Vertriebsnummer 65050

Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit
DIN EN 1992-1-1/NA, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und
DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Teil 2: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

Teil 3: Hinweise für die Ausführung

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21.07.1998, S. 37), zuletzt geändert durch Artikel 26 Absatz 2 der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 (ABl. L 316 vom 14.11.2012, S. 12), sind beachtet worden.

Bezüglich der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unterlagen und technischen Anforderungen, die sich auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch Produkte bzw. Prüfverfahren angewandt werden dürfen, die Normen oder sonstigen Bestimmungen und/oder technischen Vorschriften anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, entsprechen, sofern das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAfStb
Budapester Straße 31
D-10787 Berlin
Telefon: 030 2693-1320
info@dafstb.de

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) beansprucht alle Rechte, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen. Ohne ausdrückliche Genehmigung des DAfStb ist es nicht gestattet, diese Veröffentlichung oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege oder auf andere Art zu vervielfältigen.

Vorwort zu dieser Richtlinie

Die Richtlinie regelt Eigenschaften und Anwendungen des Baustoffes „Stahlfaserbeton“, die nicht durch DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3 bzw. die DAfStb-Richtlinien „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ bzw. „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ abgedeckt sind. In beiden o. g. Richtlinien ist der Einsatz von Stahlfaserbeton bereits vorgesehen.

Durch Stahlfasern können im gerissenen Beton, ähnlich wie beim Stahlbeton, Zugkräfte über den Riss hinweg übertragen werden. Diese Eigenschaft kann im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit genutzt werden. Der Zugwiderstand nimmt jedoch i. d. R. mit größer werdender Verformung ab; d. h. die Last-Verformungs-Kurve weist nach der Rissbildung einen abfallenden Ast auf. Bild V.1 zeigt das prinzipielle Verhalten von Stahlfaserbeton auf Zug im Vergleich zu unbewehrtem Beton und Stahlbeton.

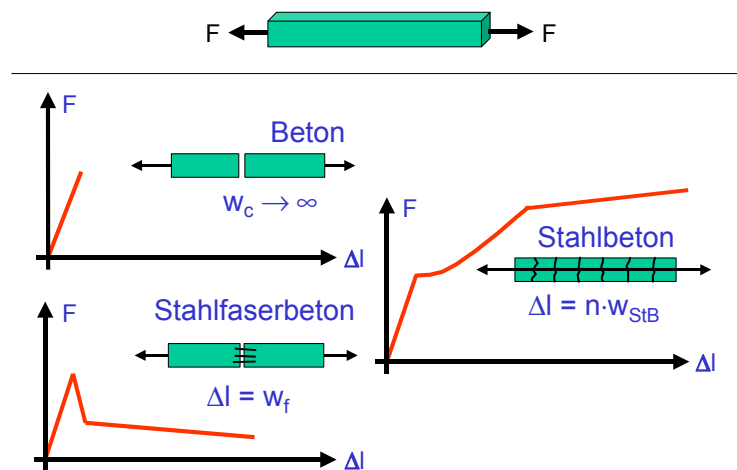


Bild V.1 – Last-Verformungsverhalten von Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton

Die Richtlinie nimmt eine Klassifizierung des Stahlfaserbetons anhand der Nachrissbiegezugfestigkeit in Leistungsklassen vor. Es gibt zwei Leistungsklassen:

- Leistungsklasse L1 für kleine Verformungen;
- Leistungsklasse L2 für größere Verformungen und in Kombination mit Betonstahlbewehrung.

Der Planer legt die Leistungsklassen fest. Die Betonzusammensetzung einschließlich Faserart und -menge wird durch den Hersteller des Stahlfaserbetons festgelegt.

Teil 1 – Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

1.1.2 Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1)P wird ersetzt

(1)P Diese Richtlinie gilt zusammen mit Teil 1-1 des Eurocode 2 für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus aus Stahlfaserbeton sowie Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung bis einschließlich zur Druckfestigkeitsklasse C50/60. Die Richtlinie 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.

Für auf Biegung oder Zug beanspruchte Bauteile, die nach dieser Richtlinie bemessen werden, muss nach Ausbildung von Rissen bis zum Erreichen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit am Gesamtragsystem (Systemgleichgewicht) ein Gleichgewichtssystem nachgewiesen werden. Ein Gleichgewichtssystem ist für diesen Zustand erreichbar, wenn mindestens eine der folgenden Voraussetzungen erfüllt ist:

- Schnittgrößenumlagerung innerhalb statisch unbestimmter Systeme;
- Kombination mit Betonstahlbewehrung;
- Normaldruckkräfte infolge äußerer Einwirkungen.

Statisch bestimmte Systeme, die ihre Biegetragfähigkeit nur über Stahlfasern eines Einzelquerschnittes erhalten, sind nicht zulässig. Das Querschnittsgleichgewicht muss in diesen Fällen durch zusätzliche Einlagen von Betonstahl sichergestellt werden.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (4)P wird ergänzt

Diese Richtlinie gilt außerdem für folgende Baustoffe und Bauteile nicht:

- Bauteile aus vorgespanntem Stahlfaserbeton;
- gefügedichte und haufwerksporige Leichtbetone;
- hochfeste Betone der Druckfestigkeitsklassen ab C55/67;
- selbstverdichtende Betone;
- Stahlfaserspritzbetone;
- Stahlfaserbetone ohne Betonstahlbewehrung in den Expositionsklassen XS2, XD2, XS3 und XD3, bei denen die Stahlfasern rechnerisch in Ansatz gebracht werden.

ANMERKUNG zum letzten Spiegelstrich: Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung darf grundsätzlich in allen Expositionsklassen verwendet und in den rechnerischen Grenzzuständen berücksichtigt werden.

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.5) wird eingefügt

(R.5) Sinngemäß ist die Anwendung dieser Richtlinie auch auf nichttragende Bauteile möglich. Die Anwendung der Richtlinie sollte hierfür im Einzelfall vereinbart werden.

1.2 Normative Verweisungen

1.2.2 Weitere normative Verweisungen

Die nachfolgenden normativen Verweisungen und Hinweise gelten für diesen Teil der Richtlinie zusätzlich zu den Angaben in DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA.

DIN EN 14889-1, *Fasern für Beton – Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität*

1.5 Begriffe

1.5.2 Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm

Die nachfolgenden Begriffe und Formelzeichen gelten für diesen Teil der Richtlinie zusätzlich zu den Angaben in DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA.

Begriffe werden ergänzt

R.1.5.2.27 Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton ist ein Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Stahlfasern zugegeben werden. Diese Richtlinie berücksichtigt rechnerisch die Wirkung der Fasern.

R.1.5.2.28 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.

R.1.5.2.29 Nachrissbiegezugfestigkeit

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

R.1.5.2.30 Leistungsklasse

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

1.6 Formelzeichen

große lateinische Buchstaben werden ergänzt

A_{ct}^f	zum jeweiligen Gleichgewichtszustand gehörige unter Zugspannung stehende Querschnittsfläche der gerissenen Querschnitte bzw. Fließgelenke
$A_{s,min}^f$	Mindestbewehrungsquerschnitt von Stahlfaserbeton
F_{fd}	aus der Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons resultierende Biegezugkraft
L	Leistungsklasse
L1	Leistungsklasse 1
L2	Leistungsklasse 2
$V_{Rd,c}^f$	Bemessungswert der durch den Stahlfaserbeton ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft
$V_{Rd,cf}$	Bemessungswert der durch die Stahlfaserwirkung aufnehmbaren Querkraft
$V_{Rd,s}^f$	Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung einschließlich Stahlfaserwirkung begrenzten aufnehmbaren Querkraft

kleine lateinische Buchstaben werden ergänzt

f_{ct0}^f	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons
$f_{ct0,L1}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 1 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungsline nach Bild R.1 oder R.2
$f_{ct0,L2}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 2 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungsline nach Bild R.1 oder R.2
$f_{ct0,s}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung
$f_{ct0,u}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit
f_{cflk}^f	Charakteristischer Wert der Nachrissbiegezugfestigkeit des Stahlfaserbetons
$f_{ctd,L1}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 1 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungsline nach Bild R.1 oder R.2
$f_{ctd,L2}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 2 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungsline nach Bild R.1 oder R.2
$f_{ctd,s}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$f_{ctd,u}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit
$f_{ctR,j}^f$	Rechenwert der Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons
$f_{ctR,L1}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 1 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungsline nach Bild R.1 oder R.2
$f_{ctR,L2}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 2 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungsline nach Bild R.1 oder R.2
$f_{ctR,s}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung
$f_{ctR,u}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

kleine griechische Buchstaben werden ergänzt	s_w^f	Länge, über welche ein Riss im Stahlfaserbeton als verschmiert angesetzt wird, um die rechnerische Dehnung des Stahlfaserbetons unter Zugbeanspruchung zu erhalten
	$V_{Rd,cf}$	Bemessungswert der durch die Stahlfaserwirkung aufnehmbaren Querkraft im kritischen Rundschnitt
	$v_{Rd,c}^f$	Durchstanzwiderstand je Flächeneinheit einer Platte ohne Durchstanzbewehrung mit Berücksichtigung der Faserwirkung
	z_f	innerer Hebelarm der aus der Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons resultierenden Biegezugkraft
	α	Verhältniswert des Rechenwertes der Nachrisszugfestigkeit von Stahlfaserbeton zum Mittelwert der Betonzugfestigkeit; Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen auf die Nachrisszugfestigkeit
	β	Beiwert zur Ermittlung der Grundwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeit
	δ	Verformung
	κ	Faktor zur Berücksichtigung der Bauteilgröße; Beiwert zur Berücksichtigung der Faserorientierung
	α_f	Verhältniswert des Rechenwertes der Nachrisszugfestigkeit zum Mittelwert der Betonzugfestigkeit
	α_c^f	auf das Bemessungskonzept abgestimmter Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen auf die Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons
	β_{L1}	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 1 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie nach Bild R.1 oder R.2
	β_{L2}	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 2 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie nach Bild R.1 oder R.2
	β_s	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung
	β_u	Beiwert zur Ermittlung des Grundwertes der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit
	γ_{ct}^f	Teilsicherheitsbeiwert für die Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons
	δ_{L1}	Verformung im Versuch nach Teil 2, Anhang O, zur Auswertung der Nachrisszugfestigkeit bei Leistungsklasse 1
	δ_{L2}	Verformung im Versuch nach Teil 2, Anhang O, zur Auswertung der Nachrisszugfestigkeit bei Leistungsklasse 2
	ε_c^f	rechnerische Stauchung des Stahlfaserbetons unter Druckbeanspruchung

ε_{ct}^f	rechnerische Zugdehnung des Stahlfaserbetons unter Zugbeanspruchung
$\varepsilon_{ct,u}^f$	rechnerische Bruchdehnung des Stahlfaserbetons unter Zugbeanspruchung
ε_{sm}^f	mittlere Dehnung des Betonstahls unter Berücksichtigung der Stahlfaserwirkung
κ_G^f	Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Bauteilgröße auf den Variationskoeffizienten
κ_F^f	Faktor zur Berücksichtigung der Faserorientierung zur Ermittlung der Rechenwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten aus den Grundwerten der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten
$\rho_{w,min}^f$	Mindestquerkraftbewehrungsgrad unter Berücksichtigung der Faserwirkung
ϕ_s^f	modifizierter Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung beim Rissbreitennachweis mit Berücksichtigung der Stahlfaserwirkung
σ_{ct}^f	Zugspannung des Stahlfaserbetons

2 Grundlagen der Tragwerksplanung

2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.2) wird eingefügt

(R.2) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt als erreicht, wenn in den kritischen Querschnitten des Tragwerkes

- die kritische Dehnung des Stahlfaserbetons oder
- die kritische Stahldehnung oder
- die kritische Betondehnung oder

wenn am Gesamtsystem der kritische Zustand des indifferenten Gleichgewichtes erreicht ist. Eine Stabilisierung des Systems durch Ansatz der Zugfestigkeit des Betons oder der Zugfestigkeit des Stahlfaserbetons ist nicht zulässig, wohingegen die Nachrisszugfestigkeit zur Stabilisierung herangezogen werden darf.

2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

2.4.2 Bemessungswerte

2.4.2.4 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 2.1DE wird ergänzt

Die Tabelle 2.1DE wird durch eine Spalte 4 gemäß Tabelle R.1 ergänzt.

Tabelle R.1 – Teilsicherheitsbeiwert für Stahlfaserbeton in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (Ergänzung zu DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 2.1DE)

Spalte	1	4
Zeile	Bemessungssituationen	γ_{ct}^f für Stahlfaserbeton ohne bzw. mit Betonstahlbewehrung
1	ständig und vorübergehend	1,25
2	außergewöhnlich	

NA.2.8 Bautechnische Unterlagen

NA.2.8.2 Zeichnungen

DIN EN 1992-1-1/NA, Absatz (3)P, Spiegelstrich wird ergänzt

DIN EN 1992-1-1/NA, neue Absätze (R.5)P und (R.6)P werden eingefügt

– die Leistungsklassen des Stahlfaserbetons

(R.5)P Auch für Stahlfaserbeton ohne und mit Betonstahlbewehrung sind Bewehrungszeichnungen anzufertigen. Darin sind die Bereiche zu kennzeichnen, in denen Stahlfaserbeton verwendet wird. In den Zeichnungen müssen insbesondere die Druckfestigkeitsklassen, die Expositions- und Feuchtigkeitsklassen sowie die erforderlichen Leistungsklassen angegeben werden. Abhängig von den lichten Abständen der Betonstahlbewehrung ist ggf. die maximale Länge der Stahlfasern festzulegen.

(R.6)P In den Ausführungszeichnungen sind die Betonierabschnitte sowie die Betonierreihenfolge verbindlich vorzugeben.

3 Baustoffe

DIN EN 1992-1-1, neue Abschnitte R.3.5 und R.3.6 werden eingefügt

R.3.5 Stahlfasern

(1)P Es gilt DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN EN 14889-1. Die Konformität der Stahlfasern muss gemäß dem System "1" bescheinigt sein.

R.3.6 Stahlfaserbeton

R.3.6.1 Allgemeines

(1)P Die Leistungsklassen für Stahlfaserbeton werden durch das vorangestellte Symbol L gekennzeichnet. Die erste Zahl bezeichnet die Leistungsklasse L1 für die Verformung δ_{L1} und die zweite Zahl bezeichnet die Leistungsklasse L2 für die Verformung δ_{L2} . Beide Leistungsklassen sind zusätzlich zu der Druckfestigkeitsklasse und den Expositions- und Feuchtigkeitsklassen anzugeben (Bezeichnung siehe z. B. R.3.6.3 (1)P). In Tabelle R.2 ist die Beziehung zwischen Verformungswerten und Leistungsklassen angegeben.

Tabelle R.2 – Verformungswerte und Leistungsklassen für Stahlfaserbeton

Spalte	1	2	3
Zeile	Leistungs- klasse	Nachweise im Grenzzustand der	Verformungswerte im Versuch nach Teil 2, Anhang O
1	L1	Gebrauchstauglichkeit	$\delta_{L1} = 0,5 \text{ mm}$
2	L2	Tragfähigkeit/Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung	$\delta_{L2} = 3,5 \text{ mm}$

R.3.6.2 Eigenschaften

Stahlfaserbeton besitzt eine Nachrisszugfestigkeit (siehe Bilder R.1 und R.2). Diese Nachrisszugfestigkeit ist fiktiv und wird auf den Betonquerschnitt bezogen. Sie darf nicht zur Ermittlung von Stahlspannungen in den Fasern herangezogen werden.

R.3.6.3 Festigkeiten

(1)P Die Bezeichnungen der Leistungsklassen entsprechen den charakteristischen Werten der Nachrissbiegezugfestigkeiten für die jeweiligen Verformungen. Diese charakteristischen Werte sind für den Stahlfaserbeton nach Teil 2, Anhang O, nachzuweisen.

Die Angabe der Leistungsklasse ist nach folgendem Beispiel vorzunehmen:

C30/37 – L1,2/0,9 – XC1 – WO

Dabei ist

C30/37	Druckfestigkeitsklasse des Betons nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2;
L1,2/0,9	Stahlfaserbeton der Leistungsklasse L1-1,2 für die Verformung 1, Stahlfaserbeton der Leistungsklasse L2-0,9 für die Verformung 2 (s. a. Teil 2, Anhang O);
XC1	Expositionsklasse;
WO	Feuchtigkeitsklasse.

ANMERKUNG: Die Leistungsklasse L1 ist in der Regel größer oder gleich Leistungsklasse L2.

(2)P Die Grundwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten in Tabelle R.3 ergeben sich aus dem charakteristischen Wert der Nachrissbiegezugfestigkeit f_{cflik}^f nach Teil 2, Anhang O, zu:

$$f_{\text{ct0,L1}}^f = f_{\text{cflik,L1}}^f \cdot \beta_{L1} \quad (\text{R.3.31})$$

$$f_{\text{ct0,L2}}^f = f_{\text{cflik,L2}}^f \cdot \beta_{L2} \quad (\text{R.3.32})$$

$$f_{\text{ct0,u}}^f = f_{\text{cflik,L2}}^f \cdot \beta_u \quad (\text{R.3.33})$$

$$f_{\text{ct0,s}}^f = f_{\text{cflik,L2}}^f \cdot \beta_s \quad (\text{R.3.34})$$

Gl. (R.3.34) gilt für $L2/L1 \leq 1,0$, sonst gilt Absatz (4)P.

Dabei ist

$f_{\text{ct0,L1}}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit nach Tabelle R.3, Spalte 2;
$f_{\text{ct0,L2}}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit nach Tabelle R.3, Spalte 4;
$f_{\text{ct0,u}}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit nach Tabelle R.3, Spalte 5;
$f_{\text{ct0,s}}^f$	Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit nach Tabelle R.3, Spalte 6;
β_{L1}	Wert nach Absatz (3);
β_{L2}	Wert nach Absatz (3);
$\beta_u = 0,37$;	für den Spannungsblock;
$\beta_s = 0,37$;	bei Verwendung von Betonstahlbewehrung.

(3) Wenn das Verhältnis der Leistungsklassenwerte $L2/L1$ größer als 0,7 ist, darf $\beta_{L1} = 0,40$ bzw. $\beta_{L2} = 0,25$ angesetzt werden. Ansonsten ist für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Spannungsblock anzunehmen. Für genauere Nachweise zur Bestimmung von β_{L2} ist Teil 2, Anhang P, zu beachten.

(4)P Wenn das Verhältnis der Leistungsklassenwerte $L2/L1$ größer als 1,0 ist, dann darf der Spannungsblock nicht angewendet werden und es gilt:

$$f_{\text{ct0,s}}^f = f_{\text{cflik,L1}}^f \cdot \beta_s \quad (\text{R.3.35})$$

(5)P Die Rechenwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten ergeben sich aus den Grundwerten der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten zu:

$$f_{ctR,L1}^f = \kappa_F^f \cdot \kappa_G^f \cdot f_{ct0,L1}^f \quad (R.3.36)$$

$$f_{ctR,L2}^f = \kappa_F^f \cdot \kappa_G^f \cdot f_{ct0,L2}^f \quad (R.3.37)$$

$$f_{ctR,u}^f = \kappa_F^f \cdot \kappa_G^f \cdot f_{ct0,u}^f \quad (R.3.38)$$

$$f_{ctR,s}^f = \kappa_F^f \cdot \kappa_G^f \cdot f_{ct0,s}^f \quad (R.3.39)$$

Dabei ist

κ_G^f Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Bauteilgröße auf den Variationskoeffizienten
 $= 1,0 + A_{ct}^f \cdot 0,5 \leq 1,70$;

κ_F^f Faktor zur Berücksichtigung der Faserorientierung,
 $\kappa_F^f = 0,5$; bei ebenen, liegend hergestellten flächenhaften Bauteilen ($b > 5h$) oder bei Balken in ihrer Längsrichtung darf $\kappa_F^f = 1,0$ bei Biege- und Zugbeanspruchung angenommen werden;

A_{ct}^f zum jeweiligen Gleichgewichtszustand gehörige, unter Zugspannung stehende Querschnittsfläche der gerissenen Bereiche bzw. Fließgelenke in m^2 .

ANMERKUNG: Bei Bauteilen unter reiner Biegung ohne Normalkraft darf A_{ct}^f mit $0,9 A_c$ abgeschätzt werden.

Tabelle R.3 – Leistungsklassen L1 und L2 für Stahlfaserbeton mit zugehörigen Grundwerten der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Grundwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeit f_{ct0}^f in N/mm^2					
	Verformung 1		Verformung 2			
	L1	$f_{ct0,L1}^f$	L2	$f_{ct0,L2}^f$	$f_{ct0,u}^f$	$f_{ct0,s}^f$ ^c
1	0	< 0,16	0	–	–	–
2	0,4 ^a	0,16	0,4 ^a	0,10	0,15	0,15
3	0,6	0,24	0,6	0,15	0,22	0,22
4	0,9	0,36	0,9	0,23	0,33	0,33
5	1,2	0,48	1,2	0,30	0,44	0,44
6	1,5	0,60	1,5	0,38	0,56	0,56
7	1,8	0,72	1,8	0,45	0,67	0,67
8	2,1	0,84	2,1	0,53	0,78	0,78
9	2,4	0,96	2,4	0,60	0,89	0,89
10	2,7 ^b	1,08	2,7 ^b	0,68	1,00	1,00
11	3,0 ^b	1,20	3,0 ^b	0,75	1,11	1,11

^a nur für flächenhafte Bauteile ($b > 5h$).

^b Für Stahlfaserbeton dieser Leistungsklassen ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

^c gilt für $L2/L1 \leq 1,0$; für $L2/L1 > 1,0$ siehe Absatz (4)P.

R.3.6.4 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen

(1) Die Spannungen und Dehnungen modellieren fiktiv die Tragwirkung des Verbundbaustoffes Stahlfaserbeton. Im gezogenen Bereich dürfen für Stahlfaserbeton daher ersatzweise die nachfolgend angegebenen trilinearen Spannungs-Dehnungslinien angesetzt werden. In den Bildern R.1 und R.2 bedeuten:

σ_{ct}^f	Zugspannung des Stahlfaserbetons;
$f_{ctd,L1}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 1 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie nach Bild R.1 oder R.2;
$f_{ctd,L2}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 2 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie nach Bild R.1 oder R.2;
$f_{ctd,u}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit;
$f_{ctd,s}^f$	Bemessungswert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;
$f_{ctR,L1}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 1 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie nach Bild R.1 oder R.2;
$f_{ctR,L2}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons in Leistungsklasse 2 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie nach Bild R.1 oder R.2;
$f_{ctR,s}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung;
$f_{ctR,u}^f$	Rechenwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie bei Verwendung von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit;
ε_{ct}^f	rechnerische Zugdehnung des Stahlfaserbetons;
γ_{ct}^f	Sicherheitsbeiwert nach Tabelle R.1;
$\alpha_c^f =$	0,85; auf das Bemessungskonzept abgestimmter Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen auf die Nachrisszugfestigkeit des Stahlfaserbetons.

(2)P Bei nichtlinearen Verfahren ist der lineare Verlauf der Spannungs-Dehnungslinie bis f_{ctm} in der Berechnung mit zu berücksichtigen. Dies gilt auch für genauere Verformungsberechnungen. Bei der Schnittgrößenermittlung und bei überschläglichen Verformungsberechnungen darf der lineare Verlauf bis f_{ctm} unberücksichtigt bleiben.

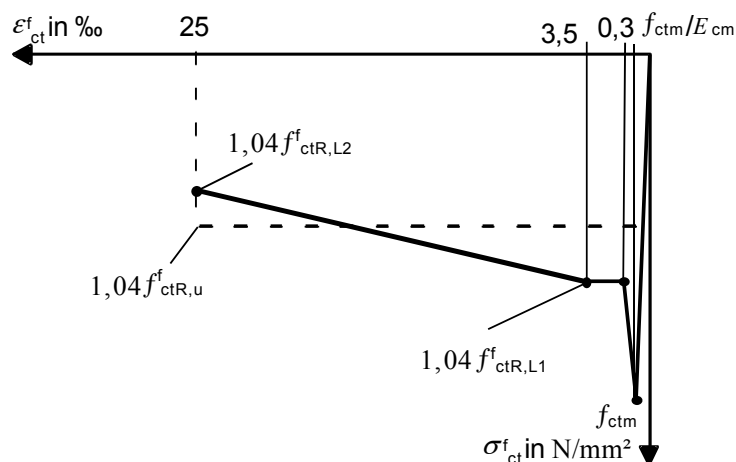


Bild R.1 – Spannungs-Dehnungslinie des Stahlfaserbetons im gezogenen Bereich für die Schnittgrößen- und die Verformungsermittlung bei nichtlinearen Verfahren

R.3.6.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

(1)P Im gezogenen Bereich ist entweder die vollständige Spannungs-Dehnungs-Linie (durchgezogene Linie) oder vereinfachend der Spannungsblock (gestrichelte Linien) nach Bild R.2 für die Querschnittsbemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit anzusetzen.

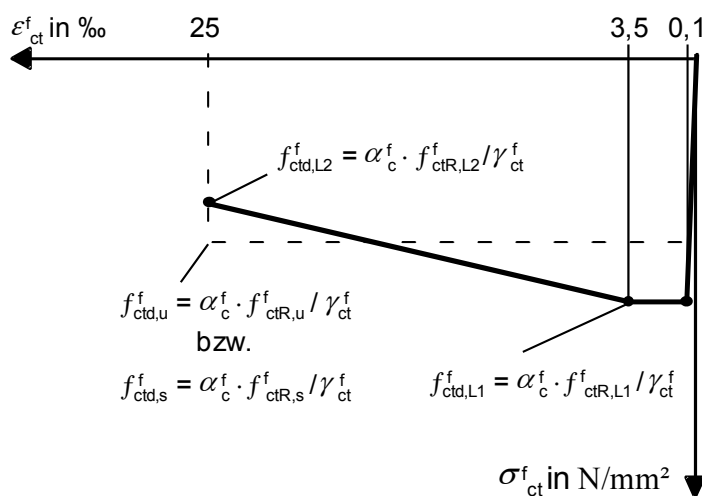


Bild R.2 – Spannungs-Dehnungs-Linie des Stahlfaserbetons im gezogenen Bereich für die Querschnittsbemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit außer für nichtlineare Verfahren

4 Dauerhaftigkeit und Betondeckung

4.4 Nachweisverfahren

4.4.1.2 Mindestbetondeckung c_{\min}

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1)P wird ergänzt

Für den Nachweis des Feuerwiderstandes von Bauteilen aus Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung gelten die Regelungen von DIN EN 1992-1-2 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-2/NA.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (5) wird ergänzt Für Stahlfaserbeton gelten die Mindestbetondeckungen $c_{\min, \text{dur}}$ nur für gegebenenfalls eingelegten Betonstahl, nicht jedoch für die Stahlfasern. Fasern können oberflächennah korrodieren und gegebenenfalls Rostverfärbungen verursachen. Eine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit ist damit nicht gegeben.

5 Ermittlung der Schnittgrößen

5.6 Verfahren nach der Plastizitätstheorie

5.6.1 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.6) wird eingefügt

(R.6) Verfahren nach der Plastizitätstheorie dürfen bei Stahlfaserbetonbauteilen grundsätzlich angewendet werden, wenn die überwiegende Zugtragwirkung durch Betonstahl erzielt wird. In allen anderen Fällen beschränkt sich die Anwendung der Plastizitätstheorie auf elastisch gebettete Bauteile, rückverankerte Unterwasserbetonsohlen, pfahlgestützte Bodenplatten, schalenförmige Bauteile und monolithisch hergestellte Fertigteilbehälter.

5.7 Nichtlineare Verfahren

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1) wird ergänzt

Nichtlineare Verfahren dürfen bei Stahlfaserbetonbauteilen grundsätzlich angewendet werden, wenn die überwiegende Tragwirkung durch Betonstahl erzielt wird. In allen anderen Fällen beschränkt sich die Anwendung der nichtlinearen Verfahren auf elastisch gebettete Bauteile, rückverankerte Unterwasserbetonsohlen, pfahlgestützte Bodenplatten, schalenförmige Bauteile und monolithisch hergestellte Fertigteilbehälter.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (NA.7)P wird ersetzt

Bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung gilt:

$$R_d = R (f_{cR}; 1,04 \cdot f_{ctR, Li}^f; f_{yR}; f_{tR}) / \gamma_R \quad (\text{R.5.12.1})$$

Dabei ist

$1,04 \cdot f_{ctR, Li}^f$ rechnerischer Mittelwert der vom Stahlfaserbeton nach einer Rissbildung aufnehmbaren Zugbeanspruchung nach Abschnitt 3 für die zugrundegelegten Leistungsklassen L1 oder L2;

f_{cR}, f_{yR}, f_{tR} der jeweilige rechnerische Mittelwert der Festigkeiten des Betons und des Betonstahls;

γ_R der Teilsicherheitsbeiwert für den Systemwiderstand.

DIN EN 1992-1-1/NA, Absatz (NA.9)P wird ergänzt

Bei der Ermittlung der Formänderungen sowie der Verteilung der inneren Kräfte ist in der Zugzone eine Spannungsverteilung nach Bild R.2 zugrunde zu legen; für die Druckzone gilt 3.1.5 in DIN EN 1992-1-1 unverändert.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (NA.10) wird ergänzt

Bei Verwendung von Stahlfaserbeton gilt entsprechend $\gamma_R = 1,4$. Für Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung darf ohne Nachweis $\gamma_R = 1,35$ für ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen angesetzt werden. Bei genauem Nachweis gilt für γ_R :

$$1,3 \leq 1,3 + \frac{0,1 \cdot F_{fd}}{F_{fd} + F_{sd}} \leq 1,4; \quad (\text{R.5.12.8})$$

Erläuterung von F_{fd} und F_{sd} , siehe Bild R.3.

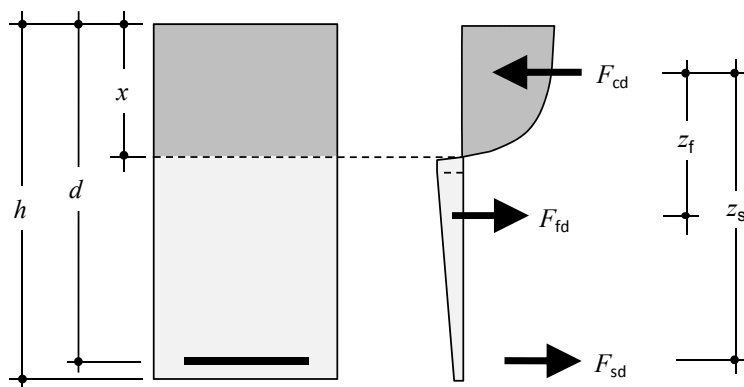


Bild R.3 – Traganteil der Stahlfasern F_{fd} und Traganteil der Stabbewehrung F_{sd} im maßgebenden Querschnitt

DIN EN 1992-1-1/NA, Absatz (NA.12)P wird ergänzt

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt ebenso als erreicht, wenn zusätzlich zu den in DIN EN 1992-1-1 definierten Grenzdehnungen in einem beliebigen Querschnitt des Tragwerks die rechnerische Bruchdehnung $\varepsilon_{ct,u}^f$ des Stahlfaserbetons gemäß R.3.6.4 erreicht wird.

DIN EN 1992-1-1/NA, Absatz (NA.14)P wird ergänzt

Für die Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen sind die üblichen Verfahren des Stahlbetonbaus anzuwenden. Dabei ist die Spannung in der Zugbewehrung bei Erstrissbildung und im gerissenen Querschnitt unter Berücksichtigung der durch die Fasern im Riss übertragbaren Beanspruchungen zu ermitteln.

5.8 Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung

5.8.2 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.7)P wird eingefügt

(R.7)P Für knickgefährdete Bauteile aus Stahlfaserbeton nach dieser Richtlinie darf die Wirkung der Fasern für den rechnerischen Nachweis nicht berücksichtigt werden.

5.9 Seitliches Ausweichen schlanker Träger

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.5)P wird eingefügt

(R.5)P Eine Anrechnung der Faserwirkung zum rechnerischen Nachweis stabilitätsgefährdeter schlanker Träger ist gemäß dieser Richtlinie nicht zulässig.

5.10 Spannbetontragwerke

Bei Anwendung dieser Richtlinie gilt dieser Abschnitt nicht.

6 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)

6.1 Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein

DIN EN 1992-1-1, Absatz (2)P wird ergänzt

Bei der Bestimmung der Querschnittstragfähigkeit bei Verwendung von Stahlfaserbeton werden zusätzlich die folgenden Annahmen getroffen:

- die Spannungen im Stahlfaserbeton werden sowohl in der Zug- als auch in der Druckzone aus dem Spannungs-Dehnungsdiagramm entsprechend Bild R.4 bestimmt;
- für einen Querschnitt ohne Stabbewehrung wird als statische Höhe die Querschnittshöhe h angesetzt. Für einen mit Stahlfasern bewehrten Querschnitt mit Stabbewehrung gelten die Festlegungen in DIN EN 1992-1-1;
- die Dehnungen in der Zugzone werden auf $\varepsilon_{su} = \varepsilon_{ct,u}^f = 25 \text{ ‰}$ begrenzt.

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.9)P wird eingefügt

(R.9)P In Arbeitsfugen darf die Faserwirkung nicht angesetzt werden.

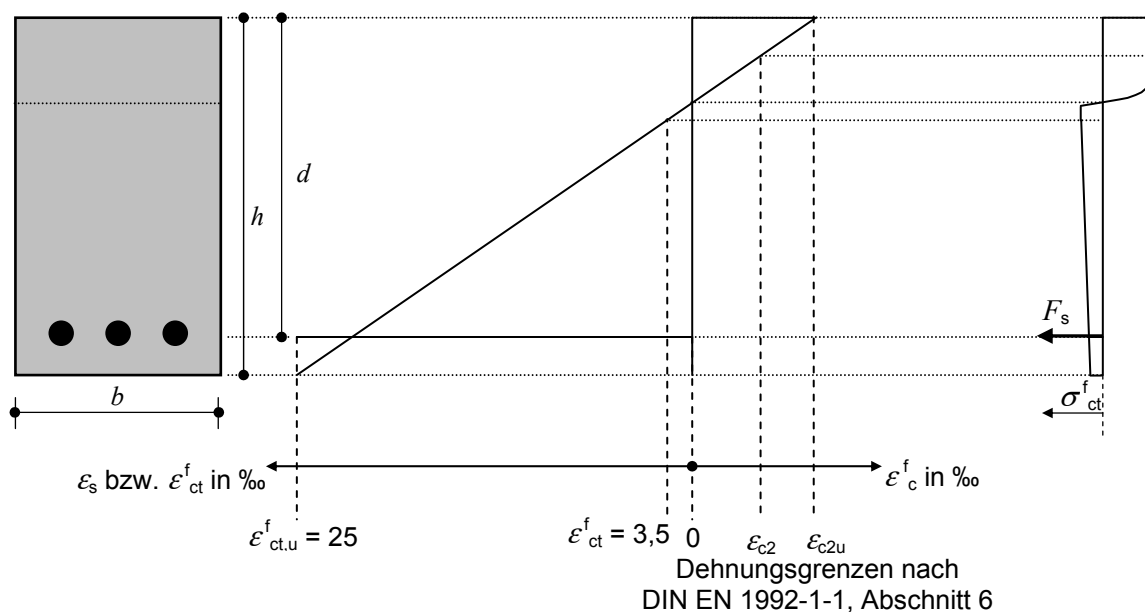


Bild R.4 – Ermittlung der Spannungen bzw. Dehnungen für Stahlfaserbeton

6.2 Querkraft

6.2.1 Nachweisverfahren

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1)P wird ergänzt

- $V_{Rd,c}^f$ Bemessungswert der durch den Stahlfaserbeton ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft;
- $V_{Rd,s}^f$ Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung einschließlich Stahlfaserwirkung begrenzten aufnehmbaren Querkraft.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (4) wird ergänzt

Bei Verwendung von Stahlfaserbeton darf auch bei balkenartigen Bauteilen ($b \leq 5h$) die Mindestquerkraftbewehrung aus Betonstahl nach DIN EN 1992-1-1, 9.2.2 (5), durch Anrechnung der Faserwirkung auf Null reduziert werden. Dabei gelten für die Werte ρ die unter DIN EN 1992-1-1/NA, Gleichungen 9.5aDE und 9.5bDE angegebenen Mindestwerte.

6.2.2 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1) wird ergänzt Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}^f$ stahlfaserbewehrter Bauteile ist im Allgemeinen nach Gl. (R.6.2c) zu ermitteln.

$$V_{Rd,c}^f = V_{Rd,c} + V_{Rd,cf} \quad (\text{R.6.2c})$$

Dabei ist

$V_{Rd,c}$ nach Gl. (6.2a) in DIN EN 1992-1-1.

$$V_{Rd,cf} = \frac{\alpha_c^f \cdot f_{ctR,u}^f \cdot b_w \cdot h}{\gamma_{ct}^f} \quad (\text{R.6.2d})$$

Bei der Ermittlung von $f_{ctR,u}^f$ ist $A_{ct}^f = b_w \cdot d \leq b_w \cdot 1,50$ anzusetzen.

Bei Längszugspannungen im Querschnitt darf die Faserwirkung nicht berücksichtigt werden: $V_{Rd,cf} = 0$.

ANMERKUNG: Bei Balken ist stets eine Mindestbewehrung erforderlich, sofern nicht die Faserwirkung gemäß 9.2.2 ausreichend ist.

6.2.3 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (3) wird ergänzt Der Bemessungswert $V_{Rd,s}^f$ ist bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse einschließlich Stahlfaservirkung nach Gl. (R.6.8.1) zu ermitteln.

$$V_{Rd,s}^f = V_{Rd,s} + V_{Rd,cf} \leq V_{Rd,max} \quad (\text{R.6.8.1})$$

Dabei ist

$V_{Rd,s}$ nach Gl. (6.8) in DIN EN 1992-1-1;

$V_{Rd,cf}$ nach Gl. (R.6.2d).

Die maximale Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,max}$ bei Erreichen der Betondruckstrebenfestigkeit ist nach DIN EN 1992-1-1, Gl. (6.9) zu ermitteln.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (4) wird ergänzt Der Bemessungswert $V_{Rd,s}^f$ ist bei Bauteilen mit geneigter Querkraftbewehrung zur Bauteilachse einschließlich Stahlfaservirkung nach Gl. (R.6.8.1) zu ermitteln.

Dabei ist

$V_{Rd,s}$ nach Gl. (6.13) in DIN EN 1992-1-1;

$V_{Rd,cf}$ nach Gl. (R.6.2d).

Die maximale Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,max}$ bei Erreichen der Betondruckstrebenfestigkeit ist nach DIN EN 1992-1-1, Gl. (6.14) zu ermitteln.

6.2.4 Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten

DIN EN 1992-1-1, Absatz (4) wird ersetzt (4) Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit darf nach Gl. (R.6.2c) oder Gl. (R.6.2d) geführt werden. Dabei ist $b_w = h_f$ und $z = \Delta x$ zu setzen. Für σ_{cp} darf die mittlere Betonlängsspannung gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 6.2.3 (2), im anschließenden Gurtabschnitt mit der Länge Δx angesetzt werden. Vereinfachend darf in Zuggurten $\cot\theta = 1,0$ und in Druckgurten $\cot\theta = 1,2$ gesetzt werden.

6.3 Torsion

6.3.1 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.6)P wird eingefügt

(R.6)P Beim Nachweis der Torsionstragfähigkeit darf die Wirkung der Stahlfasern nicht berücksichtigt werden.

6.4 Durchstanzen

6.4.3 Nachweisverfahren

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1) wird ergänzt $v_{Rd,c}^f$ Durchstanzwiderstand je Flächeneinheit einer Platte ohne Durchstanzbewehrung mit Berücksichtigung der Faserwirkung;

DIN EN 1992-1-1, Absatz (2) wird ergänzt Die Querkkräfte sind für den Durchstanznachweis nach der Elastizitätstheorie zu ermitteln.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (2), Punkt b) wird ersetzt

Bei Platten ohne Durchstanzbewehrung aus Betonstahl ist nachzuweisen, dass längs des kritischen Rundschnitts nach DIN EN 1992-1-1, 6.4.2, gilt:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}^f \quad (R.6.37.1)$$

6.4.4 Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1) wird ergänzt Für Platten oder Fundamente aus Stahlfaserbeton ohne Durchstanzbewehrung aus Betonstahl gilt:

$$v_{Rd,c}^f = 2 \cdot d/a \cdot v_{Rd,c} + v_{Rd,cf} \leq v_{Rd,max} \quad (R.6.47.1)$$

Dabei ist

$v_{Rd,c}$ nach DIN EN 1992-1-1, Gl. (6.47).

$$v_{Rd,cf} = 0,85 \cdot \frac{\alpha_c^f \cdot f_{ctR,u}^f}{\gamma_{ct}^f} \quad (R.6.47.2)$$

Bei Längszugspannungen im Querschnitt darf die Faserwirkung nicht berücksichtigt werden: $v_{Rd,cf} = 0$.

Für Platten gilt $a = 2 \cdot d$.

Der maximale Durchstanzwiderstand $v_{Rd,max}$ längs des kritischen Rundschnittes ist nach DIN EN 1992-1-1/NA, (NDP) 6.4.5 (3), Gl. (NA.6.53.1) zu ermitteln.

ANMERKUNG: Bei elastisch gebetteten Bodenplatten ohne zusätzliche Betonstahlbewehrung für Biegung kann sich aufgrund des entfestigenden Materialverhaltens des Stahlfaserbetons kein Zuggurt ausbilden, sodass stets Biegeversagen maßgebend ist.

6.4.5 Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1) wird ergänzt Das Zusammenwirken von Fasern und Durchstanzbewehrung darf bei Platten und Fundamenten nicht angesetzt werden, sofern kein genauerer Nachweis geführt wird.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (4) wird ergänzt Bei der Ermittlung des äußeren Rundschnittumfangs u_{out} nach Gl. (6.54) darf $v_{Rd,c}$ durch $v_{Rd,c}^f$ nach Gl. (R.6.47.1) ersetzt werden, wenn $v_{Rd,c}$ mit $C_{Rd,c} = 0,15/\gamma_c$ ermittelt wird.

6.5 Stabwerkmodelle

6.5.1 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, neuer Absatz (R.2)P wird eingefügt

(R.2)P Die Zugkräfte des Stabwerkmodells dürfen nur ausschließlich durch Stahlfaserbeton aufgenommen werden, wenn eine der nachfolgenden Bedingungen eingehalten wird:

- die auftretenden Zugspannungen im ungerissenen Zustand sind geringer als $f_{ctd,u}^f$ oder
- es wird nachgewiesen, dass eine Begrenzung der Rissbreite auf $w_k = 0,5$ mm im Grenzzustand der Tragfähigkeit gegeben ist.

Andernfalls ist Betonstahlbewehrung einzulegen, wobei der Anteil der Stahlfasern an der Tragwirkung für die Zugkraft höchstens 30 % (mit $f_{ctd,u}^f$) betragen darf.

6.7 Teilflächenbelastung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (4) wird ergänzt

Der Zugstab des Stabwerks in Bild R.5 darf aus Stahlfaserbeton alleine oder in Verbindung mit Betonstahlbewehrung nach 6.5 ausgeführt werden. Der Nachweis ist unter Ansatz von $f_{ctd,u}^f$ bzw. $f_{ctR,s}^f$ zu führen.

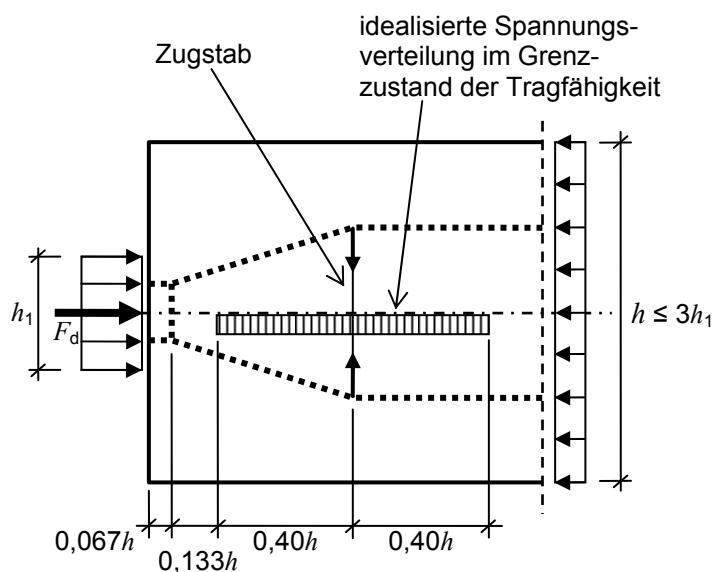


Bild R.5 – Stabwerk zur Bemessung bei Teilflächenlasten

6.8 Nachweis gegen Ermüdung

6.8.1 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, Absatz (R.3)P wird ergänzt

(R.3)P Stahlfasern dürfen in der Regel bei Ermüdungsnachweisen in dynamisch beanspruchten Bauteilen rechnerisch nicht angesetzt werden.

ANMERKUNG: Ein rechnerischer Ansatz der Stahlfasern in besonderen Fällen muss durch gesonderte Untersuchungen überzeugend gerechtfertigt werden.

7 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

7.3 Begrenzung der Rissbreiten

7.3.1 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, Absatz (5) wird ergänzt Wenn die Stahlfasern rechnerisch auch zum Nachweis der Tragfähigkeit herangezogen werden, wird DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 7.1DE um Tabelle R.4 ergänzt. Für Stahlfaserbeton in Kombination mit Betonstahlbewehrung gelten die Anforderungen gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 7.1DE.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (9) wird ergänzt Die Begrenzung der Rissbreiten bei Stahlfaserbeton ohne zusätzliche Betonstahlbewehrung darf abweichend dazu nach DIN EN 1992-1-1, 7.3.4, in Verbindung mit dieser Richtlinie nachgewiesen werden:

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

Dabei ist α_f nach Gl. (R.7.2a oder R.7.2b) anzusetzen.

Die nach 7.3.4 ermittelte Rissbreite ist stets auf Verträglichkeit mit der Systemverformung zu überprüfen.

In allen anderen Fällen muss zur Begrenzung der Rissbreite Betonstahlbewehrung angeordnet werden.

DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 7.1DE, wird für Stahlfaserbeton ohne zusätzliche Betonstahlbewehrung für die angegebenen Expositionsklassen durch Tabelle R.4 ersetzt.

Tabelle R.4 – Rechenwerte w_{\max} für Stahlfaserbeton (in Millimeter)

Expositionsklasse	Stahlfaserbeton ohne zusätzliche Betonstahlbewehrung
	mit Einwirkungskombination quasi-ständig
X0, XC1 ^a	0,4
XC2, XC3	0,3
XC4	0,2
XD1, XS1	0,2
^a Bei den Expositionsklassen X0 und XC1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und dieser Grenzwert wird i. Allg. zur Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes gesetzt. Fehlen entsprechende Anforderungen an das Erscheinungsbild, darf dieser Grenzwert erhöht werden.	

7.3.2 Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite

DIN EN 1992-1-1, Absatz (2) wird ergänzt Für die Berechnung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1, 7.3.2 und 7.3.3 sowie für die Berechnung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1, 7.3.4, darf Stahlfaserbeton berücksichtigt werden.

Für den erforderlichen Mindestbewehrungsquerschnitt von Stahlfaserbeton gilt anstelle von DIN EN 1992-1-1, Gl. (7.1):

$$A_{s,min}^f = f_{ct,eff} \cdot k_c \cdot k \cdot (1 - \alpha_f) \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \quad (R.7.1)$$

Dabei ist

für Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung:

$$\alpha_f = \frac{f_{ctR,s}^f}{f_{ctm}} \quad (R.7.2a)$$

für Stahlfaserbeton ohne Betonstahlbewehrung:

$$\alpha_f = \frac{f_{ctR,L1}^f}{f_{ctm}} \quad (R.7.2b)$$

σ_s Betonstahlspannung im Riss ohne Berücksichtigung der Faserwirkung

Wenn der Parameterbereich der Tabelle 7.2DE in DIN EN 1992-1-1/NA überschritten wird, kann die Stahlspannung mit Gl. (R.7.3) ermittelt werden.

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1,5 \cdot k_c \cdot k \cdot h_{cr} \cdot f_{ct,eff}}{\phi_s \cdot (h - d)}} \cdot w_k \cdot E_s \quad (R.7.3)$$

$$\geq \sqrt{\frac{6 \cdot f_{ct,eff}}{\phi_s}} \cdot w_k \cdot E_s$$

ANMERKUNG: Alternativ ist ein genauerer Nachweis nach 7.3.4 zulässig.

DIN EN 1992-1-1/NA, Absatz (NA.5) wird ersetzt

(NA.5) Bei dickeren Bauteilen darf die Mindestbewehrung unter zentrischem Zwang für die Begrenzung der Rissbreiten je Bauteilseite unter Berücksichtigung einer effektiven Randzone $A_{c,eff}$ berechnet werden.

Dabei ist

$$A_{s,min}^f = f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{c,eff}}{\sigma_s} \cdot (1 - \alpha_f) \quad (R.7.4)$$

wobei jedoch der folgende Wert für $A_{s,min}^f$ nicht unterschritten werden darf:

$$A_{s,min}^f = f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{f_{yk}} \cdot (k - \alpha_f) \quad (R.7.5)$$

Dabei ist

$A_{c,eff}$ Wirkungsbereich der Bewehrung nach Bild 7.1d)DE mit $A_{c,eff} = h_{c,ef} \cdot b$;

σ_s Betonstahlspannung im Riss ohne Berücksichtigung der Faserwirkung.

Für die Stahlspannung σ_s in Gl. (R.7.4) darf

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{6 \cdot f_{ct,eff}}{\phi_s} \cdot w_k \cdot E_s} \quad (R.7.6)$$

eingesetzt werden.

Es muss nicht mehr Mindestbewehrung eingelegt werden als sich nach Gl. (R.7.1) mit Gl. (R.7.2a oder R.7.2b) bzw. nach Abschnitt 7.3.4 ergibt.

7.3.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1) wird gestrichen

DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu 7.3.3 (2)
ANMERKUNG wird ersetzt

Der Grenzdurchmesser der Bewehrungsstäbe nach DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 7.2DE, darf in Abhängigkeit von der Bauteilhöhe und muss in Abhängigkeit von der wirksamen Betonzugfestigkeit $f_{ct,eff}$ bei Verwendung von Stahlfasern gemäß Gln. (R.7.7a bis R.7.7c) modifiziert werden:

Mindestbewehrung Rissmoment Biegung nach 7.3.2:

$$\begin{aligned} \phi_s^f &= \phi_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot k_{cr}}{4(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_f)^2} \\ &\geq \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_f)^2} \end{aligned} \quad (R.7.7a)$$

Mindestbewehrung zentrischer Zug nach 7.3.2:

$$\begin{aligned} \phi_s^f &= \phi_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot k_{cr}}{8(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_f)^2} \\ &\geq \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_f)^2} \end{aligned} \quad (R.7.7b)$$

Lastbeanspruchung:

$$\begin{aligned} \phi_s^f &= \phi_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4(h-d) \cdot b \cdot 2,9} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_f)^2} \\ &\geq \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_f)^2} \end{aligned} \quad (R.7.7c)$$

Dabei ist

- ϕ_s^f der modifizierte Grenzdurchmesser bei Verwendung von Stahlfaserbeton;
- ϕ_s^* der Grenzdurchmesser nach DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 7.2DE;
- σ_s die Betonstahlspannung im Riss im Zustand II ohne Berücksichtigung der Faserwirkung;
- A_s die Querschnittsfläche der Betonstahlbewehrung innerhalb der Zugzone;
- h die Bauteilhöhe;
- d die statische Nutzhöhe;
- b die Breite der Zugzone.

Wenn der Parameterbereich der DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle 7.2DE, überschritten wird, kann ϕ_s^f mit Gl. (R.7.7d) berechnet oder die Rissbreite direkt nach 7.3.4 ermittelt werden.

$$\begin{aligned}\phi_s^f &= \frac{1,5 \cdot A_s / b}{\sigma_s \cdot (h - d)} \cdot w_k \cdot E_s \cdot \frac{1}{(1 - \alpha_f)^2} \\ &\geq \frac{6 \cdot f_{ct,eff}}{\sigma_s^2} \cdot w_k \cdot E_s \cdot \frac{1}{(1 - \alpha_f)^2}\end{aligned}\quad (R.7.7d)$$

7.3.4 Berechnung der Rissbreite

DIN EN 1992-1-1, Gln. (7.8), (7.9) und (7.11) in den Absätzen (1) bis (3) werden für Bauteile aus Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung ersetzt durch Gln. (R.7.8), (R.7.9) und (R.7.10)

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm}^f - \varepsilon_{cm}) \quad (R.7.8)$$

Die Differenz der mittleren Dehnungen von Beton und Betonstahl im Stahlfaserbeton darf wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{sm}^f - \varepsilon_{cm} &= \frac{(1 - \alpha_f) \cdot \left(\sigma_s - 0,4 \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{1}{\rho_{p,eff}} \right)}{E_s} \\ &\geq 0,6 \cdot (1 - \alpha_f) \frac{\sigma_s}{E_s}\end{aligned}\quad (R.7.9)$$

Dabei ist

$s_{r,max}$ maximaler Rissabstand bei abgeschlossenem Rissbild;

$$\begin{aligned}s_{r,max} &= (1 - \alpha_f) \cdot \frac{\phi_s}{3,6 \cdot \rho_{p,eff}} \\ &\leq (1 - \alpha_f) \cdot \frac{\sigma_s \cdot \phi_s}{3,6 \cdot f_{ct,eff}}\end{aligned}\quad (R.7.10)$$

α_f nach Gl. (R.7.2a oder R.7.2b);

$\rho_{p,eff}$ der effektive 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.

Bei Bauteilen, die nur im Bauteil selbst hervorgerufenem Zwang unterworfen sind (z. B. infolge Abfließen der Hydratationswärme), darf $(\varepsilon_{sm}^f - \varepsilon_{cm})$ unter Ansatz von $\sigma_s = \sigma_{sf}$ ermittelt werden. Dabei ist σ_{sf} diejenige Spannung in der Zugbewehrung, die auf Grundlage eines gerissenen Querschnittes für eine Einwirkungskombination berechnet wird, die zur Erst-rissbildung führt.

Bei der direkten Berechnung ist σ_s ein fiktiver Rechenwert, der den Wert der Streckgrenze zunächst überschreiten darf. Es ist dann jedoch nachzuweisen, dass f_{yk} unter Berücksichtigung der Faserwirkung $f_{ctR,s}^f$ im Riss nicht überschritten wird.

DIN EN 1992-1-1, neue Absätze (R.6)P und (R.7)P werden eingefügt

(R.6)P Unter den Bedingungen nach 7.3.1 (9) ergibt sich für Bauteile ohne Betonstahlbewehrung bei Biegebeanspruchung der Rechenwert der Rissbreite w_k zu:

$$w_k = s_w^f \cdot \varepsilon_{ct}^f \quad (R.7.11)$$

Dabei ist

w_k der Rechenwert der Rissbreite;
 $s_w^f = 140 \text{ mm}$;
 ε_{ct}^f Zugdehnung des Stahlfaserbetons.

(R.7)P Sind die Bedingungen nach 7.3.1 (9) dieser Richtlinie nicht eingehalten oder ist der Nachweis mit der nach Gl. (R.7.11) ermittelten Rissbreite nicht möglich, ist zusätzliche Betonstahlbewehrung erforderlich.

ANMERKUNG: Die Annahme für s_w^f gilt nur für Biegebeanspruchung.

7.4 Begrenzung der Verformungen

7.4.1 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, Anmerkung zu Absatz (6) wird ergänzt

ANMERKUNG 2: Bei Bauteilen, die im Gebrauchszustand planmäßig in den Zustand II übergehen, kann sich die Durchbiegung durch Verbundkriechen der Fasern vergrößern.

8 Allgemeine Bewehrungsregeln

8.2 Stababstände von Betonstählen

DIN EN 1992-1-1, Absatz (2) wird ergänzt Die Länge der Stahlfasern darf höchstens doppelt so groß sein wie der lichte Stababstand.

8.10 Spannglieder

Bei Anwendung dieser Richtlinie gilt dieser Abschnitt nicht.

9 Konstruktionsregeln

9.1 Allgemeines

DIN EN 1992-1-1, neue Absätze (R.4) und (R.5) werden eingefügt

(R.4) Für Bauteile unter Verwendung von Stahlfaserbeton kann ein Versagen des Bauteils bei Erstrissbildung ohne Vorankündigung vermieden werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Tragfähigkeit des Gesamtsystems nach Ausbildung aller Fließgelenke größer ist als die Einwirkung, die zur Bildung des ersten Fließgelenkes führt (Duktilitätskriterium).

(R.5) Das Duktilitätskriterium darf auch durch eine Mindestbewehrung nach 9.2.1.1 erfüllt werden.

9.2.1.1 Mindestbewehrung und Höchstbewehrung

DIN EN 1992-1-1/NA, Absatz (1), (NDP)
Anmerkung 2 wird ergänzt

Bei Verwendung von Stahlfaserbeton darf auf der Widerstandsseite $f_{ctR,u}^f$ berücksichtigt werden. Die Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ermittelt sich nach Gl. (R.9.1.a) zu:

$$A_{s,min} = \rho \cdot A_{ct} \quad (R.9.1a)$$

Dabei ist

$$\rho = \frac{(k_c \cdot f_{ctm} - f_{ctR,u}^f)}{f_{yk}}$$

Eine Mindestbewehrung aus Betonstahl ist dann nicht erforderlich, wenn

$$f_{ctR,u}^f \geq k_c \cdot f_{ctm} \quad (R.9.1b)$$

DIN EN 1992-1-1, Absatz (2) wird ersetzt

Querschnitte mit weniger Bewehrung als $A_{s,min}$ gelten als unbewehrt (siehe Abschnitt 12), sofern bei Verwendung von Stahlfaserbeton nicht nachgewiesen wird, dass nach Erstrissbildung die Systemtragfähigkeit weiter gesteigert werden kann.

9.2.1.3 Zugkraftdeckung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (1) wird ergänzt

Die Zugkraftdeckungslinie setzt sich aus der Zugkraft der Stahlfasern und der Zugkraft der Bewehrung zusammen.

9.2.2 Querkraftbewehrung

DIN EN 1992-1-1, Absatz (2) wird ergänzt

Bei Stahlfaserbeton darf darüber hinaus ein Traganteil der Stahlfasern berücksichtigt werden.

DIN EN 1992-1-1, Absatz (4) wird ersetzt

Wenn Querkraftbewehrung erforderlich ist, müssen mindestens 50 % der um den Stahlfaseranteil verminderten Querkraft durch Bügel abgedeckt sein.

DIN EN 1992-1-1/NA, (NDP) zu Absatz (5) wird ergänzt

Bei Verwendung von Stahlfaserbeton darf $\rho_{w,min}$ nach Gl. (9.5aDE) bzw. (9.5bDE) durch die Wirkung der Fasern reduziert werden auf:

$$\rho_{w,min}^f = \rho_{w,min} - f_{ctR,u}^f / f_{yk} \geq 0 \quad (R.9.5cDE)$$

9.3.2 Querkraftbewehrung

DIN EN 1992-1-1/NA, (NCI) zu 9.3.2, Absatz (2) wird ergänzt

$V_{Rd,c}$ darf durch $V_{Rd,c}^f$ ersetzt werden.

9.5.3 Querbewehrung

DIN EN 1992-1-1, neue Anmerkung 2 zu Absatz (1) wird eingefügt

ANMERKUNG 2: Eine Anrechnung der Stahlfasern auf die Querbewehrung der Stützen ist nicht zulässig.

11 Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Leichtbeton

Bei Anwendung dieser Richtlinie gilt dieser Abschnitt nicht.

Anhang E (normativ) – Indikative Mindestbetonfestigkeitsklassen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle E.1DE,
Fußnote f) an X0, XC1 und XC2 wird er-
gänzt

^f Die Mindestbetonfestigkeitsklasse für Stahlfaserbeton be-
trägt C20/25.

ANMERKUNG: Stahlfaserbeton ist Beton mit eingebettetem Metall.

Anhang J (normativ) – Konstruktionsregeln für ausgewählte Beispiele

NA.J.4 Oberflächenbewehrung bei vorgespannten Bauteilen

Bei Anwendung dieser Richtlinie gilt dieser Abschnitt nicht.

Teil 2 – Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2

1 Anwendungsbereich

- DIN EN 206-1, Absatz 4 wird ersetzt (4) Teil 2 gilt für die Herstellung von Stahlfaserbeton für Bauteile nach Teil 1 dieser Richtlinie.
- DIN 1045-2, Absatz 1 wird ergänzt durch Dieser Teil der Richtlinie gilt nicht für
- Beton nach Zusammensetzung;
 - Standardbeton;
 - selbstverdichtenden Beton.
- DIN 1045-2, neuer Absatz wird eingefügt Stahlfasern müssen im Herstellwerk zugegeben werden.

2 Normative Verweisungen

Die nachfolgenden normativen Verweisungen und Hinweise gelten für diesen Teil der Richtlinie zusätzlich zu den Angaben in DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und Teil 1 dieser Richtlinie.

DIN 51220, *Werkstoffprüfmaschinen – Allgemeines zu Anforderungen an Werkstoffprüfmaschinen und zu deren Prüfung und Kalibrierung*

DIN EN 12390-5, *Prüfung von Festbeton – Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.2 Symbole und Abkürzungen

Die nachfolgenden Symbole und Abkürzungen gelten für diesen Teil der Richtlinie zusätzlich zu den Angaben in DIN 1045-2, DIN EN 206-1 und Teil 1 dieser Richtlinie.

$F_{0,5,i}$	Last im Versuch nach Anhang O bei einer Durchbiegung von 0,5 mm
$F_{3,5,i}$	Last im Versuch nach Anhang O bei einer Durchbiegung von 3,5 mm
$F'_{3,5,i}$	niedrigster Wert der Last im Versuch nach Anhang O, im Intervall zwischen $\delta_{L1} = 0,5$ mm und $\delta_{L2} = 3,5$ mm
$Lf_{cflm,Li}$	Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse der Nachrissbiegezugfestigkeit im Versuch nach Anhang O für Leistungsklasse Li
L_s	Standardabweichung der logarithmierten Einzelprüfergebnisse der Nachrissbiegezugfestigkeit einer Serie im Versuch nach Anhang O
$f_{cfl,Li,i}^f$	Einzelprüfergebnis der Nachrissbiegezugfestigkeit im Versuch nach Anhang O
$f_{cflk,L1}^f$	charakteristischer Wert der Nachrissbiegezugfestigkeit im Versuch nach Anhang O für Leistungsklasse 1 bei einer Durchbiegung von 0,5 mm
$f_{cflk,L2}^f$	charakteristischer Wert der Nachrissbiegezugfestigkeit im Versuch nach Anhang O für Leistungsklasse 2 bei einer Durchbiegung von 3,5 mm
$f_{cflm,Li}^f$	mittlere Nachrissbiegezugfestigkeit im Versuch nach Anhang O für Leistungsklasse Li
$f_{cflm,L1}^f$	mittlere Nachrissbiegezugfestigkeit im Versuch nach Anhang O für Leistungsklasse 1 bei einer Durchbiegung von 0,5 mm
$f_{cflm,L2}^f$	mittlere Nachrissbiegezugfestigkeit im Versuch nach Anhang O für Leistungsklasse 2 bei einer Durchbiegung von 3,5 mm

k_s	Fraktilenfaktor für unbekannte Standardabweichung für das 5 %-Quantil mit 75 % Aussagewahrscheinlichkeit
$m_{f,i}$	Stahlfasergehalt der Teilproben
$m_{f,min}$	in der Erstprüfung zur Ermittlung der Leistungsklasse festgelegter Mindestwert des Stahlfasergehaltes
\bar{m}_f	mittlerer Stahlfasergehalt für den beprobten Fahr-mischer
$M_{f,i}$	Masse der Fasern einer Teilprobe
$M_{fb,i}$	Masse einer Frischbetonteilprobe
n	Probenanzahl
$\rho_{fb,i}$	Frischbetonrohddichte einer Teilprobe
U_{Diff}	Differenzspannung zur Bestimmung des Fasergehaltes
U_i	Induktionsspannung in Raumrichtung $i = x, y, z$
U_{Leer}	Induktionsspannung des leeren Sensors
$V_{fb,i}$	Volumen einer Frischbetonteilprobe

4 Klasseneinteilung

4.3 Festbeton

DIN 1045-2, neuer Abschnitt R.4.3.3 wird eingefügt

R.4.3.3 Leistungsklassen für Stahlfaserbeton

Für Stahlfaserbeton sind Leistungsklassen in Teil 1, Abschnitt R.3.6.3, Tabelle R.3, dieser Richtlinie festgelegt.

5 Anforderungen an Beton und Nachweisverfahren

5.4 Anforderungen an Frischbeton

DIN 1045-2, neuer Abschnitt R.5.4.5 wird eingefügt

R.5.4.5 Stahlfasergehalt

Ist der Stahlfasergehalt zu ermitteln, so muss er dem Protokollausdruck an der Mischanlage oder, bei Fehlen eines Aufzeichnungsgerätes, den Produktionsaufzeichnungen im Zusammenhang mit den Mischanweisungen für die Ladung entnommen werden.

Der Stahlfasergehalt wird durch einen Mindestwert $m_{f,min}$ festgelegt.

6 Festlegung des Betons

6.2 Festlegung für Beton nach Eigenschaften

6.2.2 Grundlegende Anforderungen

DIN EN 206-1, Punkt i) wird ergänzt

Für Stahlfaserbeton gilt zusätzlich:

i) Leistungsklasse

7 Lieferung von Frischbeton

7.3 Lieferschein für Transportbeton

DIN 1045-2, Absatz 3, a), Spiegelstrich wird ergänzt

– Leistungsklasse

8 Konformitätskontrolle und Konformitätskriterien

8.2 Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften

8.2.3 Konformitätskontrolle für andere Eigenschaften als die Festigkeit

DIN EN 206-1, Tabelle 17, neue Zeile wird ergänzt

Tabelle 17 – Konformitätskriterien für andere Eigenschaften als die Festigkeit

Eigenschaft	Prüfverfahren oder Bestimmungsverfahren	Mindestanzahl von Proben oder Bestimmungen	Annahmezahl	Grenzabweichung einzelner Prüfergebnisse vom Mindestwert	
				Unterer Wert	Oberer Wert
Stahlfasergehalt	S. R.5.4.5	1 Bestimmung pro Produktionstag	Siehe Tabelle 19a	0,95 $m_{f,min}$	Keine Beschränkung ^a
^a Falls keine Grenzen festgelegt sind.					

9 Produktionskontrolle

9.2 Systeme der Produktionskontrolle

DIN EN 206-1, Absatz 3 wird ersetzt

(3) Das System der Produktionskontrolle muss angemessen dokumentierte Verfahren und Anweisungen enthalten. Diese Verfahren und Anweisungen müssen gegebenenfalls im Hinblick auf die in DIN EN 206-1, Tabellen 22, 23 und 24 sowie in Anhang Q angegebenen Kontrollanforderungen eingeführt sein. Die beabsichtigten Häufigkeiten der Prüfungen und Überwachungen durch den Hersteller müssen dokumentiert werden. Die Ergebnisse der Prüfungen und der Überwachungen müssen aufgezeichnet werden.

9.5 Betonzusammensetzung und Erstprüfung

DIN EN 206-1, Abschnitt wird ersetzt

Bei Verwendung einer neuen Betonzusammensetzung muss eine Erstprüfung durchgeführt werden, um einen Mischungsentwurf zu erhalten, der die festgelegten Eigenschaften oder die vorgeschriebene Leistung erreicht (siehe Anhang N).

Für neue Betonzusammensetzungen, die durch Interpolation bekannter Betonzusammensetzungen (siehe Anhang N) oder Extrapolationen der Druckfestigkeit um nicht mehr als 5 N/mm^2 gewonnen werden, gelten die Anforderungen an die Erstprüfung hinsichtlich der Druckfestigkeit als erfüllt. Zur Festlegung der Leistungsklasse ist stets eine Erstprüfung durchzuführen.

ANMERKUNG: Zur Ermittlung der Leistungsklasse sind Interpolationsverfahren nach Anhang N, N.5.2, zulässig.

Betonzusammensetzungen müssen unter Berücksichtigung der Änderung der Eigenschaften der Betonausgangsstoffe und der Ergebnisse der Bewertung der Übereinstimmung für die Betonzusammensetzungen regelmäßig erneut überprüft werden, um sicherzugehen, dass alle Betonentwürfe noch den geltenden Anforderungen entsprechen. Hierzu zählen die jährlich zu wiederholenden Biegebalkenprüfungen (siehe Anhang N).

Für die Aussteuerung der Frisch- und Festbetoneigenschaften eines Betons dürfen folgende Variationen in der Betonzusammensetzung vorgesehen werden:

Zement:	$\pm 15 \text{ kg/m}^3$
Zusatzstoff (außer Stahlfasern):	$\pm 15 \text{ kg/m}^3$
Zusatzmittel:	zwischen 0 und Höchst- dosierung nach 5.2.6

Die Dosiermengen und die Dosierreihenfolge der Zugabe der Betonausgangsstoffe sowie die Mischzeit sind für die jeweilige Herstanlage in einer Mischanweisung vorzuschreiben.

DIN EN 206-1, Anhang A (normativ) – Erstprüfung

Anhang A von DIN EN 206-1 gilt nicht. Stattdessen gilt Anhang N.

DIN 1045-2, Anhang H (normativ) – Zusätzliche Vorschriften für hochfesten Beton

Anhang H von DIN 1045-2 gilt nicht.

Anhang M (normativ) – Bestimmung des Stahlfasergehaltes

M.1 Auswaschversuch

M.1.1 Allgemeines

Diese Arbeitsanweisung beschreibt die Ermittlung des Stahlfasergehaltes durch Auswaschversuche. Aus einer Ladung werden drei Frischbetonteilproben entnommen. Die Teilproben bestimmten Volumens werden ausgewaschen. Anschließend werden die Teilproben getrocknet, die Stahlfasern aussortiert und deren Masse ermittelt.

M.1.2 Geräte und Hilfsmittel

Folgende Geräte und Hilfsmittel sind erforderlich:

- 3 Eimer mit 10 l bis 15 l Fassungsvermögen;
- Auswaschvorrichtung (z. B. Kontrollsieb 2 mm und als Schutzsieb 8 mm) für Frischbetonproben;
- Trockenbleche;
- geeignete Trockeneinrichtung (Trockenschrank, Gasdarre, etc.);
- großes Auffangblech;
- Magnet zum Auslesen der Stahlfasern;
- Waage mit einer Ablesegenauigkeit von ± 1 g.

M.1.3 Durchführung

Die Probenahme erfolgt aus dem Fahrmischer. Es sind drei Teilproben wie folgt zu entnehmen und zu kennzeichnen:

- Teilprobe 1 aus dem ersten Drittel der Ladung eines Fahrmischers;
- Teilprobe 2 aus dem zweiten Drittel der Ladung eines Fahrmischers;
- Teilprobe 3 aus dem dritten Drittel der Ladung eines Fahrmischers.

Zunächst wird die Leermasse der drei Eimer ermittelt. Anschließend werden die Eimer direkt aus dem Fahrmischer mit Frischbeton befüllt, verdichtet und abgezogen. Durch erneute Wägung wird die Masse der befüllten Eimer bestimmt und durch Abzug der Leermasse des jeweiligen Eimers die Masse des Frischbetons $M_{fb,i}$ berechnet. Das Volumen der Frischbetonteilprobe ergibt sich unter Verwendung der zuvor nach DIN EN 12350-6 bestimmten Frischbetonrohddichte zu:

$$V_{fb,i} = \frac{M_{fb,i}}{\rho_{fb,i}} \text{ in m}^3 \quad (\text{M.1})$$

Dabei ist

$M_{fb,i}$: Masse der Frischbetonteilprobe in kg;

$\rho_{fb,i}$: Frischbetonrohddichte der Teilprobe nach DIN EN 12350-6 in kg/m^3 .

Die Frischbetonteilproben sind über der Auswaschvorrichtung auszuwaschen, wobei insbesondere darauf zu achten ist, dass keine Stahlfasern verloren gehen. Verluste an Gesteinskörnung können vernachlässigt werden, da für die Berechnung nur die Masse der Stahlfasern ausschlaggebend ist. Die ausgewaschenen Proben sind anschließend entweder im Trockenschrank oder auf einer Darre zu trocknen, um eine Erleichterung bei der Trennung der Stahlfasern aus dem Gemisch zu erreichen.

ANMERKUNG: Eine Aussonderung von Fasern aus dem Frischbeton über einen starken Magneten in einer speziellen Vorrichtung ist ebenfalls möglich. Referenzverfahren ist das Auswaschen der Fasern.

Die getrockneten und abgekühlten Teilproben werden anschließend auf ein Auffangblech gegeben und grob abgesiebt. Die Teilproben werden dann mit einem Magneten so lange bearbeitet, bis sämtliche Stahlfasern aus der Gesteinskörnung entfernt worden sind. Die gewonnenen Stahlfasern sind zu sammeln und zu wiegen. Das Ergebnis sind die Massen der Teilproben M_{fi} in kg.

Der Stahlfasergehalt der Teilproben wird wie folgt ermittelt:

$$m_{f,i} = \frac{M_{f,i}}{V_{fb,i}} \text{ in kg/m}^3 \quad (\text{M.2})$$

Der mittlere Stahlfasergehalt \overline{m}_f für den beprobten Fahrmischer errechnet sich wie folgt:

$$\overline{m}_f = \frac{m_{f,1} + m_{f,2} + m_{f,3}}{3} \text{ in kg/m}^3 \quad (\text{M.3})$$

M.1.4 Prüfbericht

Über das Ergebnis des Auswaschversuchs ist ein Prüfbericht zu erstellen, der folgende Angaben enthält:

- eindeutige Bezeichnung der Betonprobe;
- Ort der Versuchsdurchführung;
- Datum und Uhrzeit des Versuches;
- Frischbetonrohddichte;
- Stahlfasergehalt der Teilproben $m_{f,1}$, $m_{f,2}$, $m_{f,3}$;
- mittlerer Stahlfasergehalt \overline{m}_f ;
- exakte Bezeichnung der Faser, Hersteller, Nummer des EG-Konformitätszertifikates, geometrie- und werkstoffbezogene Angaben aus der CE-Kennzeichnung bzw. Faserart und Zulassungsnummer;
- Datum, Uhrzeit und Unterschrift des Prüfers.

M.2 Induktives Verfahren

M.2.1 Allgemeines

Diese Arbeitsanweisung beschreibt die Ermittlung des Stahlfasergehaltes durch ein induktives Verfahren. Aus einem Fahrmischer werden drei Frischbetonteilproben entnommen. An den Teilproben wird der Stahlfasergehalt durch Messung des Induktionsstromes bestimmt (Transformatorprinzip mit Stahlfasern als Transformator-kern).

M.2.2 Gerätschaften und Hilfsmittel

Folgende Geräte und Hilfsmittel sind erforderlich:

- 3 Eimer mit 10 l bis 15 l Fassungsvermögen;
- würfelförmiger Probenbehälter aus Kunststoff mit einer Innenkantenlänge von 150 mm;
- Kelle;
- Verdichtungsmöglichkeit (z. B. Rütteltisch oder Stocherstab);
- Induktionsmessgerät mit würfelförmigem Doppelspulen-Sensor.

M.2.3 Durchführung

Die Probenahme erfolgt aus dem Fahrmischer. Es sind drei Teilproben wie folgt zu entnehmen und zu kennzeichnen:

- Teilprobe 1 aus dem ersten Drittel der Ladung eines Fahrmischers;
- Teilprobe 2 aus dem zweiten Drittel der Ladung eines Fahrmischers;
- Teilprobe 3 aus dem dritten Drittel der Ladung eines Fahrmischers.

Es ist jeweils ein Eimer bis zur 10 l-Markierung zu füllen. Es sollte dabei darauf geachtet werden, dass die Proben homogen sind.

Zuerst ist die Induktionsspannung U_{Leer} mit dem leeren Sensor zu ermitteln. Anschließend wird der Frischbeton in den würfelförmigen Probenbehälter aus Kunststoff mit der Kantenlänge von 150 mm eingefüllt. Über diesen Behälter wird dann der Doppelspulensensor gestülpt und die Induktionsspannung gemessen. Diese Messung wird für alle drei Raumrichtungen der Probe durchgeführt, und die drei Messergebnisse werden gemittelt. Vom Mittelwert ist das Ergebnis der Leermessung U_{Leer} abzuziehen. Die sich ergebende Differenzspannung U_{Diff} ist direkt vom Fasergehalt und vom Fasertyp der Betonprobe abhängig:

$$U_{\text{Diff}} = \frac{U_x + U_y + U_z}{3} - U_{\text{Leer}} \quad (\text{M.4})$$

Anhand einer Eichkurve wird die gemessene elektrische Spannung einem Stahlfasergehalt der jeweiligen Teilprobe zugeordnet.

Der mittlere Stahlfasergehalt $\overline{m_f}$ für den beprobten Fahrmischer errechnet sich wie folgt:

$$\overline{m_f} = \frac{m_{f,1} + m_{f,2} + m_{f,3}}{3} \quad (\text{M.5})$$

M.2.4 Prüfbericht

Über das Ergebnis der Fasergehaltsbestimmung ist ein Prüfbericht zu erstellen, der folgende Angaben enthält:

- eindeutige Bezeichnung der Betonprobe;
- Ort der Versuchsdurchführung;
- Datum und Uhrzeit des Versuches;
- Frischbetonrohddichte, falls geprüft;
- Stahlfasergehalt der Teilproben $m_{f,1}$, $m_{f,2}$, $m_{f,3}$;
- mittlerer Stahlfasergehalt $\overline{m_f}$;
- exakte Bezeichnung der Faser, Hersteller, Nummer des EG-Konformitätszertifikates, geometrie- und werkstoffbezogene Angaben aus der CE-Kennzeichnung bzw. Faserart und Zulassungsnummer;
- Datum, Uhrzeit und Unterschrift des Prüfers.

Anhang N (normativ) – Erstprüfung von Stahlfaserbeton

N.1 Allgemeines

Dieser Anhang enthält Einzelheiten für Erstprüfungen nach DIN EN 206-1, 5.2.1, 5.2.5.1, 6.1 und 9.5.

Mit der Erstprüfung muss eine Betonzusammensetzung festgestellt werden, die alle festgelegten Anforderungen an den Frischbeton und den Festbeton erfüllt.

N.2 Zuständigkeit für Erstprüfungen

Für Erstprüfungen ist bei Beton nach Eigenschaften der Hersteller verantwortlich.

N.3 Häufigkeit der Erstprüfungen

Erstprüfungen müssen vor der Verwendung eines neuen Betons durchgeführt werden.

Erstprüfungen müssen einmal jährlich als Bestätigungsprüfung wiederholt werden.

Erstprüfungen müssen wiederholt werden, wenn eine wesentliche Änderung entweder der Ausgangsstoffe oder der festgelegten Anforderungen eingetreten ist, die Grundlage der vorgesehenen Prüfungen war.

N.4 Prüfbedingungen

Im Allgemeinen müssen Erstprüfungen bei einer Frischbetontemperatur zwischen 15 °C und 22 °C durchgeführt werden.

ANMERKUNG: Falls die Betonierarbeiten auf der Baustelle bei stark abweichenden Temperaturbedingungen ausgeführt werden oder falls eine Wärmebehandlung angewandt wird, sollte der Betonhersteller darüber informiert werden, damit er entsprechende Auswirkungen auf die Betoneigenschaften berücksichtigen und die Notwendigkeit zusätzlicher Prüfungen in Betracht ziehen kann.

Die Zeit zwischen Mischen und Konsistenzprüfung sowie die Prüfergebnisse müssen aufgezeichnet werden.

Durch die Erstprüfung ist nachzuweisen, dass durch die dokumentierten Verfahren eine gleichmäßige Faserverteilung in der Ladung erreicht wird.

N.5 Prüfungen in der Erstprüfung

N.5.1 Prüfplan

Der Prüfplan für die in der Erstprüfung durchzuführenden Frisch- und Festbetonprüfungen ist in der Tabelle N.1 angegeben.

Die Prüfung der Nachrissbiegezugfestigkeit nach Anhang O zur Einstufung des Betons in eine Leistungsklasse und zur Kontrolle der Leistungsklasse sollte mit einem Vorhaltemaß, darf jedoch höchstens mit dem Mindestwert des Stahlfasergehaltes $m_{f,min}$ durchgeführt werden.

Tabelle N.1 – Bei der Erstprüfung zu bestimmende Betoneigenschaften von Stahlfaserbeton

	Prüfgegenstand	Prüfung	Zweck	Häufigkeit/Anzahl der Probekörper je Prüftermin
1	Konsistenz	Nach DIN EN 12350-2, -3, -4 oder -5	Einstufung des Betons in eine Konsistenzklasse	Eine Bestimmung
2	Nachrissbiegezugprüfung an in Formen hergestellten Betonprobekörpern	Nach Anhang O	Einstufung des Betons in eine Leistungsklasse und Kontrolle der Leistungsklasse	≥ 6 Balken
3	Druckfestigkeit	Nach DIN EN 12390-3	Einstufung des Betons in eine Druckfestigkeitsklasse	3 Würfel

N.5.2 Zwischenwertermittlung bei der Nachrissbiegezugfestigkeit

Unter bestimmten Bedingungen ist eine lineare Interpolation zur Ermittlung von Erstprüfungsergebnissen möglich. Die Bedingungen und die Verfahrensweise sind im Folgenden angegeben.

Interpolationen hinsichtlich des Stahlfasergehaltes (gleiche Festigkeitsklasse)

Sind Betone nach Anhang O geprüft worden, die sich lediglich durch eine Differenz des Fasergehalts von maximal 20 kg/m^3 unterscheiden, so darf für weitere Betone mit zwischen diesen Grenzen liegendem Fasergehalt zunächst die mittlere Nachrissbiegezugfestigkeit durch lineare Interpolation berechnet werden. Abweichungen in den Betonzusammensetzungen sind beim Verflüssiger- bzw. Fließmittelgehalt zulässig. Für die Ermittlung der charakteristischen Werte auf Grundlage von Gleichung O.3 dürfen vereinfachend interpolierte Standardabweichungen eingesetzt werden.

Eine Interpolation unter Einbeziehung der Leistungsklasse L0 oder einer Leistungsklasse größer L2,4 ist nicht möglich.

Interpolationen hinsichtlich der Betonfestigkeiten (gleicher Fasergehalt)

Sind zwei Betone mit gleichen Betonausgangsstoffen nach Anhang O geprüft worden, die sich durch eine niedrige Druckfestigkeit (z. B. C20/25) und eine höhere Druckfestigkeit (z. B. C35/45) unterscheiden, so darf für weitere Betone mit zwischen diesen Grenzen liegenden Druckfestigkeiten die mittlere Nachrissbiegezugfestigkeit proportional dem Verhältnis der mittleren Zugfestigkeiten f_{ctm} der jeweiligen Betone nach DIN EN 1992-1-1 linear interpoliert werden. Betone gelten in ihren Ausgangsstoffen als gleich, wenn folgende Verwendungen vorliegen:

- Gesteinskörnungen gleicher geologischer Herkunft;
- gleiche Zementart und Zementfestigkeitsklasse;
- Zusatzstoff gleicher Art;
- Zusatzmittel gleichen Typs.

N.6 Kriterien für die Annahme von Erstprüfungen

Im Übrigen gilt DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2. Für die Leistungsklassen ist Anhang O zu beachten.

Anhang O (normativ) – Prüfungen zur Ermittlung der Leistungsklasse

O.1 Herstellen der Probekörper

Als Probekörper werden mindestens 6 Balken der Abmessungen 150 mm x 150 mm x 700 mm entsprechend DIN EN 12390-1 verwendet. Die Abmessungen der Probekörper gelten bis zu einem Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung von 16 mm für Rundkorn und 22 mm für gebrochenes Korn. Bei einem höheren Nennwert des Größtkorns sind hinsichtlich der Abmessungen der Probekörper gesonderte Betrachtungen erforderlich. Die Länge der Stahlfasern sollte das 1,5fache des Größtkorns nicht unterschreiten. Für die Herstellung von Probekörpern aus Normalbeton ist DIN EN 12390-2 zu beachten.

Mischen des Betons

Es sollte folgende Mischreihenfolge beachtet werden, um eine gleichmäßige Faserverteilung zu erreichen:

- a) Aufgabe der Gesteinskörnung in den Zwangsmischer. Werden geklebte Fasern verwendet, so können diese auf einmal auf die Gesteinskörnung zugegeben werden; die Mischdauer beträgt mindestens 30 s.
- b) Zugabe von Zement und Zusatzstoffen; Mindestmischdauer 30 s;
- c) Wasserzugabe und Zugabe von verflüssigenden Zusatzmitteln während einer weiteren Mischdauer von mindestens 30 s;
- d) gleichmäßige Zugabe der losen Stahlfasern über eine Rinne zur Vermeidung von Zusammenballungen während einer weiteren Mindestmischzeit von 60 s. Die anschließende Mischzeit beträgt mindestens 90 s. Es ist zu überprüfen, ob alle Fasern vereinzelt (nur bei geklebten Fasern) und gleichmäßig verteilt sind. Andernfalls ist die Mischzeit zu verlängern.

Wenn der Mischer feststehende Mischerblätter besitzt, sollten diese von Zeit zu Zeit angehoben werden, um Faseransammlungen daran zu vermeiden. Eine visuelle Kontrolle des Mischvorgangs ist immer notwendig.

Füllen der Formen

Das Befüllen der Balkenform sollte zügig und so erfolgen, dass keine ungewöhnlichen Faserorientierungen auftreten.

Verdichten

Das Verdichten des Stahlfaserbetons in der Schalung darf nur über Außenrüttler erfolgen. Bei Betonen der Konsistenzklasse F6 kann auch eine Handverdichtung durch Stochern vorgenommen werden. Bei den Konsistenzklassen F3 und F4 ist i. d. R. eine Rütteldauer von 30 s ausreichend, um den Beton vollständig zu verdichten. Der Rütteltisch muss eine ausreichende Größe haben.

Unmittelbar nach dem Verdichten ist die Form mit Folie abzudecken und im Klimaraum zu lagern.

O.2 Lagerung

Die mit Folie abgedeckten Probekörper sind in der Regel 2 Tage in der Form im Klimaraum zu belassen. Bei Verwendung frühfester Zemente sind 24 Stunden ausreichend. Nach dem Ausschalen werden die Probekörper bei etwa 100 % Feuchte (Folie, Wasserlagerung oder Klimaraum mit ≥ 95 % r. F.) bis zum Prüfdatum bei (20 ± 5) °C gelagert. Werden Folien verwendet, so sind diese z. B. mit Klebeband abzudichten.

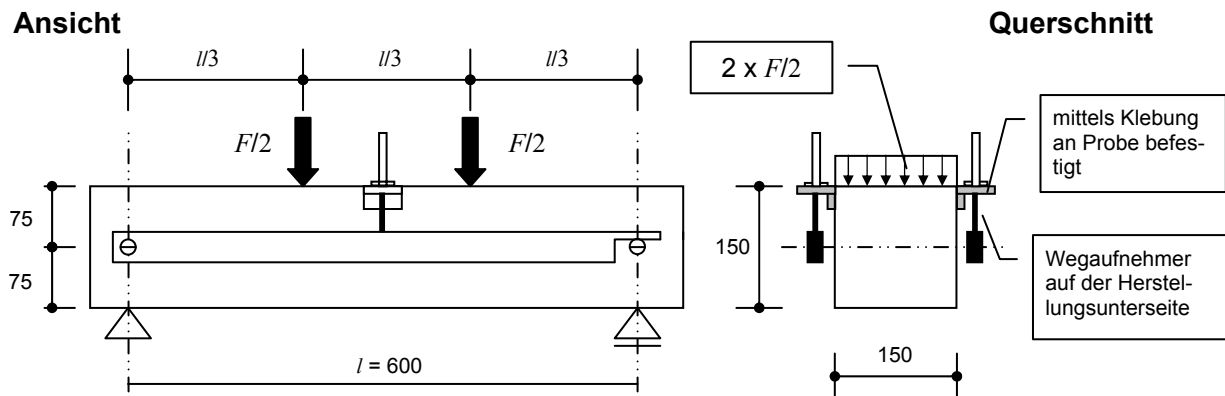
Sofern nicht anders festgelegt, werden die Probekörper bis zum Alter von 28 Tagen gelagert. Für besondere Anwendungen kann es notwendig sein, die Prüfung zu einem späteren Zeitpunkt als 28 Tage durchzuführen.

O.3 Vorbereitung zur Prüfung

Für die Prüfung der Biegezugfestigkeit und des Nachrissverhaltens werden die Probekörper höchstens 24 Stunden vor der Prüfung aus der Folie entnommen. Die Abschnitte 5 und 6.1 der DIN EN 12390-5:2009-07 sind zu beachten; die Betonieroberseite stellt eine Seitenfläche des Probekörpers dar.

Die Rohdichte des Balkens ist nach DIN EN 12390-7 zu bestimmen.

Anschließend werden die Halterungen für die Messwerterfassung am Probekörper angebracht. Bild O.1 zeigt die Messvorrichtung.



**Bild O.1 – Messvorrichtung zur Ermittlung der Nachrissbiegezugfestigkeiten
(Abmessungen in mm)**

O.4 Prüfvorrichtung

Die Prüfung muss auf einer weggeregelten Prüfmaschine mit hoher Maschinensteifigkeit durchgeführt werden. Die Maschinensteifigkeit muss so hoch sein, dass ein unkontrollierter Abfall der Last-Durchbiegungskurve nach Überschreiten der Risslast vermieden wird. Die Prüfmaschine muss mindestens der Güteklasse 1 nach DIN 51220 entsprechen.

Der Auflagerabstand beträgt $l = 600$ mm. Es ist für eine zwangungsfreie Auflagerung und Lasteinleitung zu sorgen.

O.5 Durchführung der Prüfung

Bei der Durchführung der Prüfung darf die Durchbiegungsgeschwindigkeit bis zu einer Mittendurchbiegung von 0,75 mm nicht mehr als 0,10 mm/min betragen. Eine Steuerung der Prüfmaschine nach dem Kolbenweg ist nicht zulässig. Bei Durchbiegungen größer als 0,75 mm darf die Durchbiegungsgeschwindigkeit schrittweise auf höchstens 0,30 mm/min erhöht werden. Die Lasten und die zugehörigen Durchbiegungen sind bis zu einer Durchbiegung der Probe von 3,5 mm in Schritten von 0,01 mm zu messen und grafisch aufzuzeichnen.

O.6 Ermittlung der Nachrissbiegezugfestigkeit

Die Nachrissbiegezugfestigkeiten werden aus der Last-Durchbiegungs-Kurve des Biegezugversuchs an den Durchbiegungsstellen $\delta_{L1} = 0,5$ mm und $\delta_{L2} = 3,5$ mm gewonnen (Bild O.2).

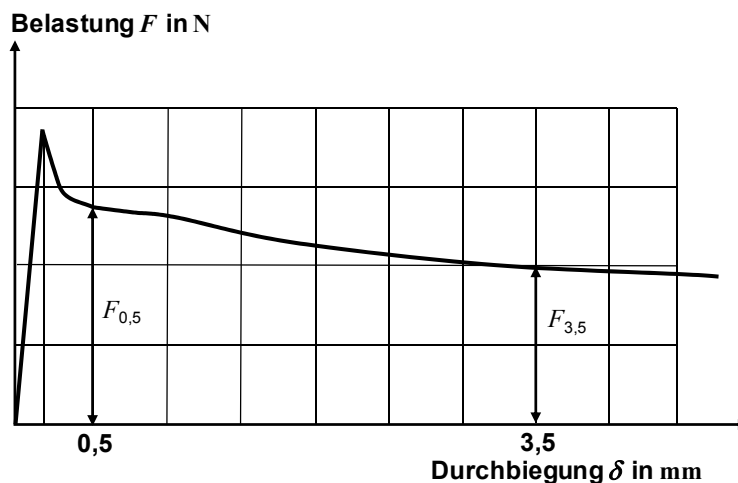


Bild O.2 – Last-Durchbiegungs-Beziehung zur Ermittlung der Nachrissbiegezugfestigkeiten

Die mittleren Nachrissbiegezugfestigkeiten der Versuchsserie aus $n \geq 6$ Balken ergeben sich zu:

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

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

Dabei ist

l, b, h = Auflagerabstand, Breite und Höhe des Probekörpers in mm;

Index i : Balkennummer.

Für die Einstufung des Stahlfaserbetons in die Leistungsklassen wird der charakteristische Wert der Nachrissbiegezugfestigkeit $f_{\text{cfk,Li}}^f$ bei einer Serie von mindestens sechs Prüfkörpern für die Verformungen 1 und 2 wie folgt ermittelt:

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

Dabei ist

$L f_{\text{cfm,Li}}^f$ Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse $f_{\text{cfi,Li,i}}^f$;

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

L_s Standardabweichung der logarithmierten Einzelprüfergebnisse der Serie;

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

k_s Fraktilefaktor für unbekannte Standardabweichung für das 5 %-Quantil mit 75 % Aussagewahrscheinlichkeit nach Tabelle O.1.

Tabelle O.1 – Fraktilefaktor k_s

Spalte	1	2
Zeile	Probenanzahl n	Fraktilefaktor k_s
1	6	2,336
2	9	2,141
3	12	2,048
4	15	1,991
5	20	1,932
6	25	1,895
7	100	1,760
8	∞	1,645

ANMERKUNG: Eine Abänderung der Gleichung O.3 bei niedrigeren Variationskoeffizienten ist nicht zulässig, da die κ_G^f -Werte in Teil 1, Abschnitt R.3.6.3, für den Vorfaktor 0,51 kalibriert wurden.

Die Last-Durchbiegungskurve muss zwischen $\delta_{L1} = 0,5$ mm und $\delta_{L2} = 3,5$ mm monoton verlaufen. Andernfalls ist für $\delta_{L2} = 3,5$ mm der niedrigste Wert der Nachrissbiegezugfestigkeit im Intervall zwischen $\delta_{L1} = 0,5$ mm und $\delta_{L2} = 3,5$ mm anzunehmen und in Gleichung O.2 einzusetzen (vgl. $F'_{3,5}$ in Bild O.3).

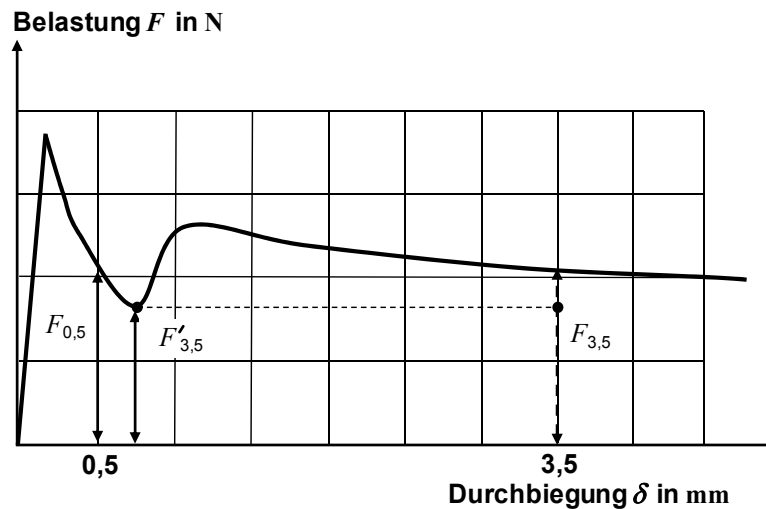


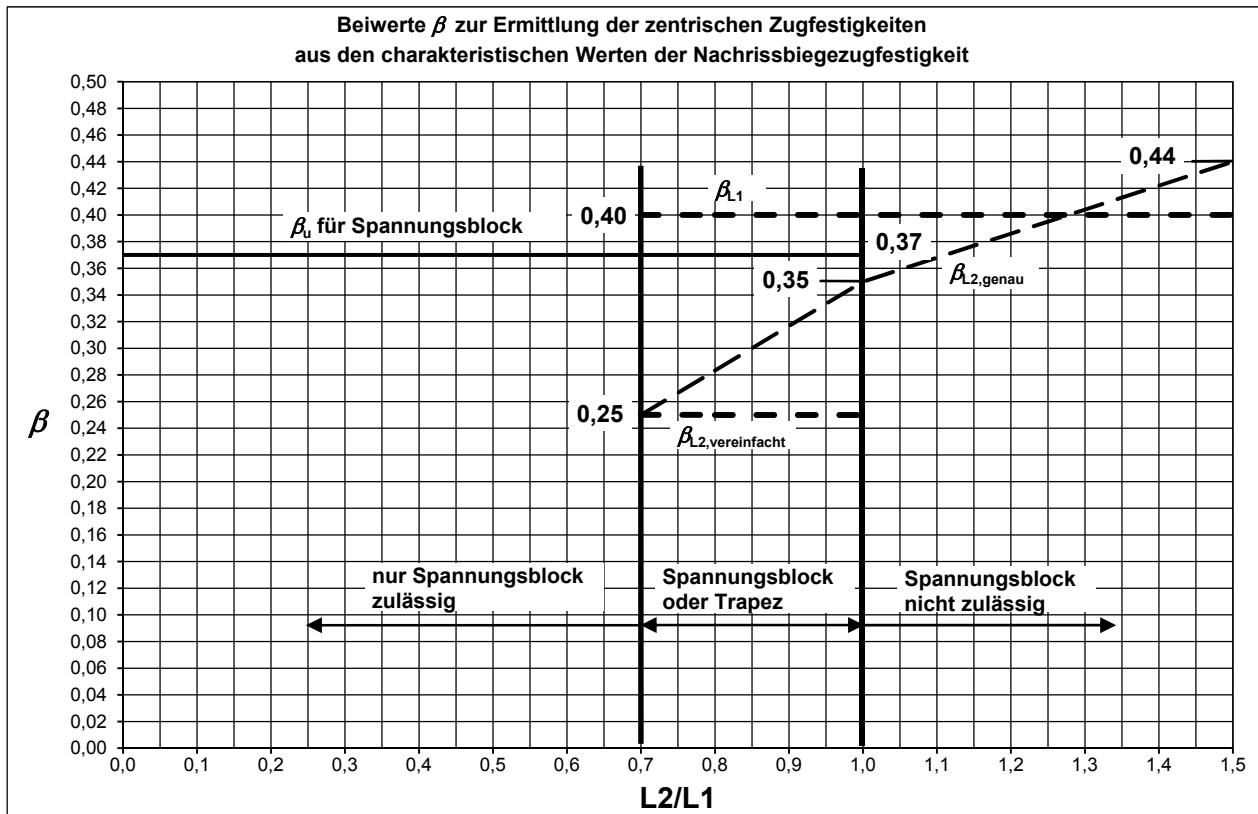
Bild O.3 – Auswertung der Last-Durchbiegungs-Beziehungen für abweichende Verläufe

O.7 Prüfbericht

Alle Ergebnisse der Prüfung sind in einem Prüfbericht festzuhalten. Dieser sollte insbesondere enthalten:

- prüfende Stelle;
- Prüfdatum;
- Prüfnummer;
- Art des Betonmischers;
- Betonzusammensetzung;
- exakte Bezeichnung der Faser, Hersteller, Nummer des EG-Konformitätszertifikates, geometrie- und werkstoffbezogene Angaben aus der CE-Kennzeichnung bzw. Faserart und Zulassungsnummer;
- Beschreibung und zeitliche Erfassung des Mischvorgangs;
- Verdichtungsart und -dauer;
- Lagerungsbedingungen;
- Last-Durchbiegungs-Diagramme;
- Auswertung mit Angabe der Balkeneinzelergebnisse (siehe Gleichungen O.1 und O.2).

Anhang P (normativ) – Genauere Bestimmung des Beiwertes β_{L2} zur Ermittlung der zentrischen Zugfestigkeit



**Bild P.1 – Faktoren β_{L1} und β_{L2} zur Ermittlung der zentrischen Zugfestigkeit in
Abhängigkeit des Verhältnisses $L2/L1$**

Nach Teil 1, Abschnitt R.3.6.3 (3), darf der Faktor β_{L2} gemäß Bild P.1 ermittelt werden. Wenn das Verhältnis der Leistungsklassen $L2/L1$ größer oder gleich 0,7 und kleiner oder gleich 1,0 ist, dann ist β_{L2} gemäß Gleichung P.1 zu ermitteln. Wenn das Verhältnis der Leistungsklassen $L2/L1$ größer als 1,0 und kleiner oder gleich 1,5 ist, dann ist β_{L2} gemäß Gleichung P.2 zu ermitteln. In beiden Fällen gilt $\beta_{L1} = 0,4$. Wenn das Verhältnis der Leistungsklassen $L2/L1$ größer als 1,5 ist, so ist $\beta_{L2} = 0,44$ zu setzen.

$$\beta_{L2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{L2}{L1} + 0,02 \quad (\text{P.1})$$

mit

$$0,7 \leq \frac{L2}{L1} \leq 1,0$$

$$\beta_{L2} = 0,18 \cdot \frac{L2}{L1} + 0,17 \quad (\text{P.2})$$

mit

$$1,0 < \frac{L2}{L1} \leq 1,5$$

Wenn das Verhältnis der Leistungsklassen $L2/L1$ größer als 1,0 ist, darf der Spannungsblock nicht angewendet werden.

Anhang Q (normativ) – Zusätzliche Vorschriften für Stahlfaserbeton

Dieser Anhang enthält zusätzlich zu den Tabellen 22, 23 und 24 von DIN EN 206-1 Festlegungen für die Produktionskontrolle bei der Herstellung von Stahlfaserbeton.

Die Zeilennummern in den folgenden Tabellen Q.1, Q.2 und Q.3 beziehen sich auf jene in den Tabellen 22, 23 und 24 von DIN EN 206-1 und ersetzen oder ergänzen die entsprechenden Anforderungen.

Tabelle Q.1 – Zusätzliche Kontrolle der Betonausgangsstoffe bei Stahlfaserbeton

	Betonausgangsstoff	Überprüfung/ Prüfung	Zweck	Mindesthäufigkeit
10a	Stahlfasern	Überprüfung des Lieferscheins	Sicherstellen, dass die Fracht der Bestellung entspricht und die richtige Herkunft hat	Jede Lieferung
11a		Sichtprüfung	Sicherstellen, dass die Fracht der Bestellung entspricht und die richtige Herkunft hat Augenscheinprüfung der Fasergeometrie; im Zweifelsfall sind die Abmessungen zu bestimmen	Jede Lieferung
13a		Gewichtskontrolle der Gebinde (entfällt bei separater Verwiegung der Zugabemenge)	Sicherstellen, dass der Gebindeinhalt dem bestellten Nenngewicht entspricht	Stichprobenartig

Tabelle Q.2 – Zusätzliche Kontrolle der Ausstattung bei der Herstellung von Stahlfaserbeton

	Ausstattung	Überprüfung/ Prüfung	Zweck	Mindesthäufigkeit
3a	Abmessvorrichtung für die Dosierung von Stahlfasern sowie Vereinzelungsgeräte	Augenscheinprüfung der Funktion	Sicherstellen, dass die Messeinrichtung einwandfrei funktioniert	Alle 7 Produktionstage
		Prüfung der Genauigkeit	Vermeiden ungenauer Zugaben	Nach Aufstellung In regelmäßigen Abständen ^a nach Aufstellung Im Zweifelsfall
^a Die Häufigkeit hängt von der Art der Ausrüstung, ihrer Empfindlichkeit beim Gebrauch und den Produktionsbedingungen der Anlage ab.				

Tabelle Q.3 – Zusätzliche Kontrolle der Herstellverfahren und der Betoneigenschaften bei Stahlfaserbeton

	Prüfgegenstand	Überprüfung/ Prüfung	Zweck	Mindesthäufigkeit
17	Gleichmäßigkeit der Faserverteilung im Frischbeton bei Zugabe in den Fahrmischer	Prüfung nach Anhang M	Überprüfen der Anforderungen nach Tabelle Q.4	So häufig wie die Druckfestigkeitsprüfung, siehe DIN EN 206-1, Tabelle 24, Zeile 16
18	Nachrissbiegezugprüfung an in Formen hergestellten Betonprobekörpern	Prüfung nach Anhang O	Einstufung des Betons in eine Leistungsklasse	Einmal jährlich Im Zweifelsfall

Tabelle Q.4 – Kriterien für die Gleichmäßigkeit der Faserverteilung im Frischbeton

Prüfergebnis für	Fasergehalt in kg/m^3
$m_{f,i}$	$\geq 0,80 \cdot m_{f,\min}$
\overline{m}_f	$\geq 0,85 \cdot m_{f,\min}$
$m_{f,\min}$: Mindestwert des Fasergehaltes	

Teil 3 – Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 13670 und DIN 1045-3

1 Anwendungsbereich

DIN 1045-3, erster Absatz wird ersetzt

Teil 3 gilt zusammen mit DIN EN 13670 und DIN 1045-3 für die Ausführung von Bauteilen oder Bauwerken, die nach Teil 1 bemessen wurden und bei denen der Beton nach Teil 2 hergestellt wurde. Teil 3 enthält Anforderungen an die Ausführung von Bauwerken des Hoch- und Ingenieurbaus aus Beton und Stahlbeton mit Zusatz von Stahlfasern entsprechend dem in Teil 1, Abschnitt 1, definierten Anwendungsbereich.

ANMERKUNG: Teil 3 regelt im Sinne von DIN EN 13670, Abschnitt 1, Absatz 4, Punkt b), die zusätzlichen oder abweichenden Regelungen für Bauteile oder Bauwerke aus Beton und Stahlbeton mit Zusatz von Stahlfasern.

8 Betonieren

8.1 Festlegungen des Betons

DIN 1045-3, neuer Absatz (R.5) wird eingefügt

(R.5) Der erforderliche Aufwand für die Verarbeitung und Verdichtung des Stahlfaserbetons nimmt in der Regel mit zunehmendem Stahlfasergehalt und zunehmender Stahlfaserschlankheit zu.

8.4 Einbringen und Verdichten

DIN 1045-3, neuer Abschnitt R.8.4.7 wird eingefügt

R.8.4.7 Stahlfaserbeton

Beim Verdichten von Stahlfaserbeton ist zu beachten, dass das Fließen des Betons in der Schalung Einfluss auf die Orientierung der Fasern im Bauteil haben kann. Zu intensives Verdichten des Stahlfaserbetons ist zu vermeiden, da es zur Fasersedimentation führt.

DIN 1045-3, Anhang NA (normativ) – Überwachung durch das Bauunternehmen

DIN 1045-3, Anhang NA.6 Überwachen des Betonierens

DIN 1045-3, Tabelle NA.1 wird ergänzt:

Tabelle NA.1 – Überwachungsklassen für den Beton

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Gegenstand	Überwachungs- klasse 1	Überwachungs- klasse 2	Überwachungs- klasse 3
5	Besondere Beton- eigenschaften	Stahlfaserbeton der Leistungsklasse $\leq L1-1,2$	Stahlfaserbeton der Leistungsklasse $> L1-1,2$	–

DIN 1045-3, Anhang NB (normativ) – Prüfungen für die maßgebenden Frisch- und Festbetoneigenschaften

NB.1 Allgemeines

Die Absätze (3) und (4) entfallen.

DIN 1045-3, Tabelle NB.1 wird ergänzt:

Tabelle NB.1 – Umfang und Häufigkeit der Prüfungen bei Beton nach Eigenschaften

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Gegenstand	Prüfverfahren	Anforderung	Häufigkeit für Überwachungsklasse		
				1	2	3
Frisch- und Festbetoneigenschaften						
8a ^a	Stahlfasergehalt des Frischbetons ^a	Augenscheinprüfung	Normales Aussehen	Stichprobe	Jedes Lieferfahrzeug	Entfällt
		Nach Teil 2, Anhang M	Nach Anhang NB.3	–	Nach Anhang NB.3	Entfällt
8b ^a	Nachrissbiegezugprüfung an in Formen hergestellten Betonprobekörpern	Nach Teil 2, Anhang O	Nach Anhang NB.3	–	Nach Anhang NB.3	Entfällt
^a Prüfungen 8a und 8b dürfen alternativ durchgeführt werden.						

DIN 1045-3, Anhang NB.3 wird ergänzt:

NB.3 Prüfung des Stahlfasergehaltes für Beton nach Eigenschaften bei Verwendung von Transportbeton

(1) In Zweifelsfällen ist für Stahlfaserbeton der Überwachungsklasse 2 eine Fasergehaltsbestimmung nach Teil 2, Anhang M.1 oder M.2 oder alternativ eine Bestimmung der Nachrissbiegezugprüfung an in Formen hergestellten Betonprobekörpern nach Teil 2, Anhang O, vorzunehmen.

(2) Die Beurteilung der Ergebnisse der Bestimmung des Fasergehaltes erfolgt nach den Kriterien der Tabelle NB.3.

(3) Die Beurteilung der Ergebnisse der Nachrissbiegezugprüfung erfolgt nach den Kriterien der Tabelle NB.4.

Tabelle NB.3 – Annahmekriterien für das Ergebnis der Bestimmung des Fasergehaltes

Anzahl n der Ergebnisse in der Reihe	Fasergehalt in kg/m^3
$n = 1$	$m_{f,i} \geq 0,80 \cdot m_{f,\min}$
$n = 3$	$\overline{m}_f \geq 0,85 \cdot m_{f,\min}$
$m_{f,\min}$: Mindestwert des Fasergehaltes ANMERKUNG: „ n “ bezieht sich auf die Ladung.	

Tabelle NB.4 – Annahmekriterien für das Ergebnis der Nachrissbiegezugprüfung

Anzahl n der Ergebnisse in der Reihe	Jedes einzelne Prüfergebnis N/mm^2
$n = 1$	$\geq L1$ und $\geq L2$
ANMERKUNG 1: „ n “ und „Prüfergebnis“ beziehen sich auf die Ladung. ANMERKUNG 2: Der Zahlenwert des Prüfergebnisses ist nicht mit dem Faktor 0,51 gemäß Teil 2, Gleichung O.3, zu multiplizieren.	

(4) Der Beton ist anzunehmen, wenn die in Tabelle NB.3 oder Tabelle NB.4 angegebenen Kriterien erfüllt sind.

(5) Werden unzureichende Prüfergebnisse festgestellt, kann die Annahmeprüfung an Bauteilproben erfolgen, z. B. durch die Bestimmung des Fasergehaltes an Bohrkernen. Dabei muss jedes einzelne Prüfergebnis mindestens 80 % des Mindestwertes des Fasergehaltes oder der Mittelwert aus 3 Bohrkernen mindestens 85 % des Mindestwertes des Fasergehaltes aufweisen.

