

**Allgemeine  
bauaufsichtliche  
Zulassung/  
Allgemeine  
Bauartgenehmigung**

Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam  
getragene Anstalt des öffentlichen Rechts

**Zulassungs- und Genehmigungsstelle  
für Bauprodukte und Bauarten**

Datum:

31.08.2023

Geschäftszeichen:

I 16-1.31.10-5/22

**Nummer:**

**Z-31.10-182**

**Antragsteller:**

**CARBOCON GMBH**

Mohorner Straße 13

01159 Dresden

**Geltungsdauer**

vom: **31. August 2023**

bis: **31. August 2028**

**Gegenstand dieses Bescheides:**

**CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton**

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich  
zugelassen/genehmigt.

Dieser Bescheid umfasst 17 Seiten und sieben Anlagen mit insgesamt 61 Seiten.

DIBt

## I ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

- 1 Mit diesem Bescheid ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Regelungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
- 2 Dieser Bescheid ersetzt nicht die für die Durchführung von Bauvorhaben gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungen, Zustimmungen und Bescheinigungen.
- 3 Dieser Bescheid wird unbeschadet der Rechte Dritter, insbesondere privater Schutzrechte, erteilt.
- 4 Dem Verwender bzw. Anwender des Regelungsgegenstandes sind, unbeschadet weiter gehender Regelungen in den "Besonderen Bestimmungen", Kopien dieses Bescheides zur Verfügung zu stellen. Zudem ist der Verwender bzw. Anwender des Regelungsgegenstandes darauf hinzuweisen, dass dieser Bescheid an der Verwendungs- bzw. Anwendungsstelle vorliegen muss. Auf Anforderung sind den beteiligten Behörden ebenfalls Kopien zur Verfügung zu stellen.
- 5 Dieser Bescheid darf nur vollständig vervielfältigt werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Zustimmung des Deutschen Instituts für Bautechnik. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen diesem Bescheid nicht widersprechen, Übersetzungen müssen den Hinweis "Vom Deutschen Institut für Bautechnik nicht geprüfte Übersetzung der deutschen Originalfassung" enthalten.
- 6 Dieser Bescheid wird widerruflich erteilt. Die Bestimmungen können nachträglich ergänzt und geändert werden, insbesondere, wenn neue technische Erkenntnisse dies erfordern.
- 7 Dieser Bescheid bezieht sich auf die von dem Antragsteller gemachten Angaben und vorgelegten Dokumente. Eine Änderung dieser Grundlagen wird von diesem Bescheid nicht erfasst und ist dem Deutschen Institut für Bautechnik unverzüglich offenzulegen.

## II BESONDERE BESTIMMUNGEN

### 1 Regelungsgegenstand und Verwendungs- bzw. Anwendungsbereich

#### 1.1 Regelungsgegenstand

Regelungsgegenstand ist ein Bausatz zur Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton. Dabei wird eine Schicht aus Feinbeton auf die Betonoberfläche der zu verstärkenden Stahlbetonbauteile im Handlaminier- oder Spritzverfahren aufgetragen. In diese wird die Carbongitterbewehrung (im Weiteren: Carbongitter) eingearbeitet und erneut eine Schicht Feinbeton im Handlaminier- oder Spritzverfahren aufgetragen. Diese erneut aufgetragene Feinbetonschicht kann als Abschlusschicht oder als Trägerschicht für eine weitere Lage Carbongitter dienen. Es dürfen auf diese Weise maximal 4 Lagen Carbongitter verwendet werden.

Der Bausatz besteht aus den folgenden Komponenten:

- getränkte **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter Typ 1 oder Typ 3 nach Abschnitt 2.1.1,
- **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Feinbeton nach Abschnitt 2.1.3.

#### 1.2 Verwendungs- bzw. Anwendungsbereich

Nach diesem Bescheid sind einachsige Biegeverstärkungen (Kettrichtung der Carbongitter) an den für die Verstärkung vorbereiteten Oberflächen in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen bei vorwiegend ruhender Belastung möglich. Es dürfen nur Bauteile aus Normalbeton verstärkt werden, die an den für die Verstärkung vorbereiteten Oberflächen mindestens einen Erwartungswert des Mittelwertes der Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$  von 1,0 N/mm<sup>2</sup> (untere Vertrauensgrenze mit 95 % Zuverlässigkeit (einseitig)) aufweisen und deren Festigkeitsklasse C50/60 nicht überschreitet. Der Durchmesser bzw. der Vergleichsdurchmesser der Betonstahlbewehrung in der Biegezugzone des zu verstärkenden Bauteils darf nicht größer als 20 mm sein.

Nach diesem Bescheid dürfen maximal 4 Lagen Carbongitter in einer Carbonbetonschicht verwendet werden.

Den Fasersträngen der Carbongitter dürfen nur Zugkräfte zugewiesen werden. Übersteigt der Bemessungswert der Zugkraft der Carbonbewehrung den Bemessungswert der Zugkraft der Carbonbetonschicht nach Tabelle 4, Zeile 9, ist dieser auf den Tabellenwert als Obergrenze zu begrenzen.

Die Carbonbetonschicht darf auch in der Druckzone angeordnet sein. Übersteigt der Bemessungswert der Druckkraft in der Carbonbetonschicht den Wert nach Tabelle 4, Zeile 9, ist dieser auf den Tabellenwert als Obergrenze zu begrenzen.

Biegezugverstärkungen nach diesem Bescheid dürfen nur in Bereichen angeordnet werden, in denen rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich ist.

Die Verstärkungen dürfen nur an Innenbauteilen erfolgen. Die Maximaltemperatur von  $T_f = 40^\circ\text{C}$  und die relative Luftfeuchtigkeit von 65 % dürfen in der Nutzungsphase nicht überschritten werden. Die Carbonbetonschicht darf keiner direkten Durchfeuchtung, keiner wechselnden Durchfeuchtung und keinem Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt sein.

Die Verstärkungsarbeiten dürfen nur von Unternehmen ausgeführt werden, die ihre Eignung entsprechend Abschnitt 3.4.1 nachgewiesen haben.

## 2 Bestimmungen für die Bauprodukte

### 2.1 Eigenschaften und Zusammensetzung

#### 2.1.1 Typen der getränkten CARBOrefit® Carbongitterbewehrungen

Die Carbongitter müssen der Regelausführung (Zeile 1 der Tabelle 1) oder Sonderausführung nach (Zeile 2 der Tabelle 1) entsprechen.

Die Regelausführung besteht in Kettrichtung (Haupttragrichtung) aus 48K / 50K Carbonfasersträngen und in Schussrichtung (Nebentragrichtung) aus 12K Carbonfasersträngen. Für die Regelausführung sind die Kett- und Schussfadenabstände nach der Zeile 1 von Tabelle 1 einzuhalten.

Die Sonderausführung besteht in Kettrichtung (Haupttragrichtung) aus 48K / 50K Carbonfasersträngen und in Schussrichtung (Nebentragrichtung) aus Carbonfasersträngen mit einem Fasergehalt von 12K bis 48K / 50K. Für die Sonderausführung sind die Kettfadenabstände nach der Zeile 2 von Tabelle 1 einzuhalten. In Schussrichtung muss mindestens 20 % des Querschnitts der Kettrichtung angeordnet werden. Die Schussfadenabstände dürfen die Kettfadenabstände nicht mehr als das 2-fache übersteigen.

**Tabelle 1:** Geometrische Eigenschaften der Faserstränge in Kett- und Schussrichtung für Carbongitter der Regel- und Sonderausführung

Art der Carbongitter	Eigenschaft	Kettfaden	Schussfaden
<b>CARBOrefit®</b> Typ 1, Typ 3 Regelausführung	Fasergehalt [K]	$\geq 48 \text{ K}$ und $\leq 50 \text{ K}$	12 K
	Garnfeinheit [tex]	3.200 bis 3.500	800
	Rohdichte des ungetränkten Rovings $\rho_f$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,74 bis 1,85	1,77
	Querschnittsfläche eines Faserstrangs $A_{f,nm}$ [mm <sup>2</sup> ]	$1,8 \leq A_{Kf,nm} \leq 1,95$	$A_{Sf,nm} = 0,45$
	Gitterweite $a$ [mm]	$a_K = 12,7$	$a_S = 16 +0/ -2,0$
<b>CARBOrefit®</b> Typ 1, Typ 3 Sonderausführung	Fasergehalt [K]	$\geq 48 \text{ K}$ und $\leq 50 \text{ K}$	$\geq 12 \text{ K}$ und $\leq 50 \text{ K}$
	Garnfeinheit [tex]	3.200 bis 3.500	800 bis 3.500
	Rohdichte des ungetränkten Rovings $\rho_f$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,74 bis 1,85	1,74 bis 1,85
	Querschnittsfläche eines Faserstrangs $A_{f,nm}$ [mm <sup>2</sup> ]	$1,8 \leq A_{Kf,nm} \leq 1,95$	$0,45 \leq A_{Sf,nm} \leq 1,95$
	Faserstrangmittenabstand $a$ [mm]	$12,7 \leq a_{Kf,nm} \leq 50,8$	$16 +0/ -2,0 \leq a_{Sf,nm} \leq 2 \times a_{Kf,nm}$
	zusätzliche Forderung für das Gitter		mind. 20 % der Querschnittsfläche der Kettfäden je m

Die Carbongitter müssen mit einem Tränkungsmedium (siehe 2.1.2) so imprägniert, getrocknet und ausreichend vernetzt werden, dass je nach Carbongittertyp, die Kennwerte nach Tabelle 2 erreicht werden.

Die Breite und Länge der Carbonbewehrung hängt von der zur Herstellung verwendeten Textilmaschine und vom Herstellungsverfahren ab.

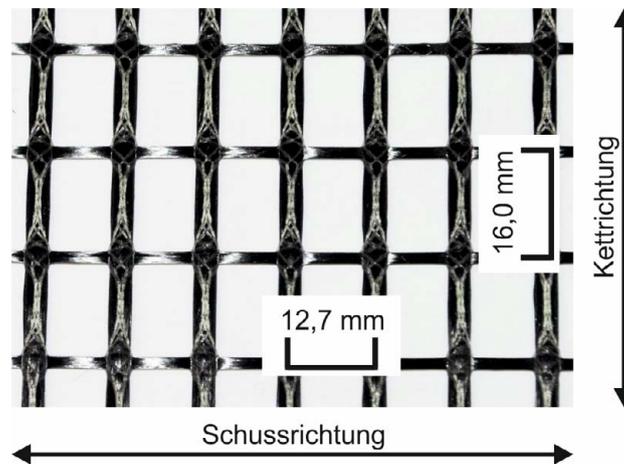


Bild 1: Getränkte Carbonbewehrung in Regelausführung (siehe Tabelle 1, 1. Zeile)

Zusammensetzung und Eigenschaften der Carbonfaserstränge und der Tränkung sowie die verfahrenstechnischen Parameter der Tränkung müssen den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben der Hersteller entsprechen.

**Tabelle 2.1:** Kenndaten der getränkten Faserstränge\* der Carbongitterbewehrung **CARBOrefit®**-Typ 1 und 3 für die werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung

	Eigenschaften der getränkten Faserstränge (Kett- und Schussfaserstränge)	Werte der Stichprobe	
		CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
1	Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs* [N/mm <sup>2</sup> ] Mittelwert $f_{f,m}$	$\geq 1.700^{1)2)}$	$\geq 2700^{3)}$
2	Elastizitätsmodul des getränkten Faserstrangs* [N/mm <sup>2</sup> ] Mittelwert $E_{f,m}$	$\geq 170.000^{1)2)}$	$\geq 170.000^{3)}$
3	Variationskoeffizient der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs*	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$
4	Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs* [N/mm <sup>2</sup> ] im Carbonbeton $f_{f,nm,k}$ Charakteristischer Wert	$\geq 1.550$	$\geq 2.250$
5	Charakteristischer Wert der Bruchdehnung des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton $\varepsilon_{f,nm,uk}$	$\geq 0,75 \%$	$\geq 1,1 \%$

	Eigenschaften der getränkten Faserstränge (Kett- und Schussfaserstränge)	Werte der Stichprobe	
		CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
6	Elastizitätsmodul des getränkten Faserstrangs [N/mm <sup>2</sup> ] $E_{f, nm, i}$ im Carbonbeton Einzelwert	$\geq 160.000$ $\leq 260.000$	$\geq 160.000$ $\leq 260.000$
7	charakteristischer Wert der auf die Faserstranglängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Faserstrangs $T_{nm, k}$	$\geq 4,0$ N/mm	$\geq 10,0$ N/mm
<p>* die getränkten Carbonfaserstränge sind den getränkten Carbongittern zu entnehmen. Bei Rollenware sind die getränkten Carbonfaserstränge von der Rolle zu entnehmen. Der zur Prüfung verwendete Biegerollendurchmesser darf an keiner Stelle unterschritten werden.</p> <p>1) Prüfung in Ketttrichtung nach Anlage 1, Abschnitt 1.3.1 oder 1.3.2 2) Prüfung in Schussrichtung nach Anlage 1, Abschnitt 1.3.1 oder 1.3.2 3) Prüfung nach Anlage 1, Abschnitt 1.3.1</p>			

**Tabelle 2.2:** Beiwerte zu den Eigenschaften der getränkten Faserstränge der Carbongitterbewehrung **CARBOrefit®**-Typ 1 und 3 (Ergebnis der Zulassungsprüfungen aber nicht der werkseigenen Produktionskontrolle)

	Beiwert zu den Eigenschaften der getränkten Faserstränge (Kett- und Schussfaserstränge)	Werte	
		CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
1	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für Temperatureinwirkung $\alpha_{T, t}$	0,85	1,0
2	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit bei Dauerlast $\alpha_{t\infty, t}$	0,70	0,70
3	Abminderungsfaktor für die dauerhafte Zugfestigkeit $\alpha_{D, t}$	1,0	1,0
4	Abminderungsfaktor für den Verbund der Textilbewehrung im Feinbeton bei Temperatureinwirkung $\alpha_{T, b}$	0,45	1,0
5	Abminderungsfaktor für den Verbund der Textilbewehrung im Feinbeton bei Dauerlast $\alpha_{t\infty, b}$	0,47	0,7
6	Abminderungsfaktor für den dauerhaften Verbund der Textilbewehrung im Feinbeton $\alpha_{D, b}$	1,0	1,0

### 2.1.2 Tränkungsmittel

Als Tränkungsmittel werden filmbildende Dispersionen verwendet. Mit dieser werden die Faserstränge unter definierten Herstellungsbedingungen imprägniert. Dadurch werden die einzelnen Filamente der Rovings umhüllt bzw. miteinander verbunden, wodurch der innere Verbund der Filamente in den Rovings hergestellt wird.

Der Typ der Carbongitterbewehrung nach Abschnitt 2.1.1, Tabellen 2, hängt vom verwendeten Tränkungsmittel ab. Die Zuordnung der Tränkungsmittel zu den Typen ist beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) und Fremdüberwacher hinterlegt.

Zusammensetzung und Eigenschaften der Tränkungsmittel müssen den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben entsprechen.

### 2.1.3 CARBOrefit®-Feinbeton

Der **CARBOrefit®**-Feinbeton wird werkmäßig als Trockenmörtel hergestellt. Feinbetonproben müssen nach 28 d Erhärtung nach DIN EN 196-1<sup>1</sup> die in Tabelle 3 aufgeführten Eigenschaften aufweisen.

Zusammensetzung und Eigenschaften des Feinbetons sowie die verfahrenstechnischen Parameter für die Herstellung im Handlaminier- und Spritzverfahren müssen den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben entsprechen.

**Tabelle 3:** Kenndaten **CARBOrefit®**- Feinbeton

Eigenschaften	CARBOrefit®-Feinbeton
Druckfestigkeit (charakteristischer Wert)	≥ 80 N/mm <sup>2</sup>
Biegezugfestigkeit (charakteristischer Wert)	≥ 6 N/mm <sup>2</sup>
Elastizitätsmodul	≥ 25.000 N/mm <sup>2</sup>

## 2.2 Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung, Kennzeichnung

### 2.2.1 Herstellung

#### 2.2.1.1 Getränkte **CARBOrefit®**-Carbongitter

Die Carbongitter dürfen nur aus den gemäß Abschnitt 2.1.1 hinterlegten Bestandteilen in den beim DIBt hinterlegten Werken<sup>2</sup> gefertigt werden.

Die Carbongitter sind so herzustellen, dass die Carbonfaserstränge in Kettrichtung und Schussrichtung ohne Welligkeit ausgerichtet, mit dem Tränkungsmittel vollständig imprägniert, getrocknet und ausreichend vernetzt werden.

Die Carbongitter vom Typ 1 können auf Rollen mit einem inneren Mindestrollendurchmesser von 30 cm und die Carbongitter vom Typ 3 auf Rollen mit einem inneren Mindestrollendurchmesser von 60 cm aufgerollt werden, wenn die wellenfreie Abrollbarkeit und ebenflächige Anwendbarkeit entsprechend der Anforderungen aus Abschnitt 3.4.7.4 demonstriert werden kann sowie Schädigungen der Tränkung ausgeschlossen sind.

#### 2.2.1.2 Tränkungsmittel

Das Tränkungsmittel darf nur aus den gemäß Abschnitt 2.1.2 hinterlegten Bestandteilen in den beim DIBt hinterlegten Werken<sup>2</sup> gefertigt werden.

#### 2.2.1.3 **CARBOrefit®**-Feinbeton

Der **CARBOrefit®**- Feinbeton darf aus den gemäß Abschnitt 2.1.3 hinterlegten Bestandteilen in den beim DIBt hinterlegten Werken<sup>2</sup> gefertigt werden.

### 2.2.2 Verpackung, Transport, Lagerung

#### 2.2.2.1 Getränkte **CARBOrefit®**-Carbongitter Typ 1 und 3

Beim Transport und der Lagerung müssen die Rollen der Carbongitter vor der Witterung und vor Verschmutzung durch die Verpackung geschützt werden. Sie können als Rollen mit dem unter 2.2.1.1 genanntem inneren Mindestrollendurchmesser oder als Platten geliefert werden.

#### 2.2.2.2 Tränkungsmittel

Die Komponenten des Tränkungsmittels sind im Herstellwerk in gebrauchsfertige Arbeitspackungen (Gebinde) zu füllen und luftdicht zu verschließen. Die geschlossenen Behälter sind bei mindestens +5 °C und höchstens +25 °C Raumtemperatur zu lagern.

<sup>1</sup> DIN EN 196-1:2016-11 Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; Deutsche Fassung EN 196-1:2016

<sup>2</sup> Die genaue Bezeichnung der Werke ist beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt.

### 2.2.2.3 **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Feinbeton

Der Feinbeton ist in Säcke oder Großgebinde (big-bags) abzufüllen, die unter der Voraussetzung ordnungsgemäßer Handhabung und trockener sowie witterungsgeschützter Lagerung die Verwendungsfähigkeit des Trockenbetons für eine Zeitspanne von mindestens sechs Monaten (lagerstabil) sicherstellen.

## 2.2.3 **Kennzeichnung**

### 2.2.3.1 Allgemeines

Die Bauprodukte bzw. deren Verpackung müssen vom Hersteller mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) nach den Übereinstimmungszeichen-Verordnungen der Länder gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung darf nur erfolgen, wenn die Voraussetzungen nach Abschnitt 2.3 erfüllt sind.

### 2.2.3.2 Getränkte **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter

Der witterungsfeste Beipackzettel der Verpackungen der getränkten **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter ist unverwechselbar mit folgenden Angaben zu versehen:

- Bezeichnung des Typs der **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter Typ 1 und 3,
- Hersteller und Herstellwerk des Carbongitters
- Hersteller der Tränkung
- Typ des Carbongitters nach 2.1.1
- Material des Faserstrangs nach Spalte 2 der oberen Tabelle in Anlage 7
- Herstellungsdatum des Carbongitters,
- Chargennummer des Carbongitters,
- der Querschnitt der Faserstränge in Kettrichtung je m Gitterlänge in Schussrichtung und der Querschnitt der Faserstränge in Schussrichtung je m Gitterlänge in Kettrichtung,
- der Kett- und Schussfadenabstand (Achismaß der Faserstränge),
- bauaufsichtliches Übereinstimmungszeichen unter Angabe der Bescheidnummer.

### 2.2.3.3 **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Feinbeton

Die Verpackung des Feinbetons ist so zu kennzeichnen, dass der Verwender alle für die Verarbeitung erforderlichen Angaben erhält. Die Kennzeichnung erfolgt im Allgemeinen auf den Gebinden (z. B. Sackbeschriftung). Bei Lieferung in Großgebinden (big-bags) ist ein Begleitzettel mit den erforderlichen Angaben beizufügen. Es sind mindestens folgende Angaben zu machen:

- Name und Anschrift des Herstellwerkes,
- Produktbezeichnung des Feinbetons: **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Feinbeton,
- Füllgewicht in kg,
- Hinweise zur Herstellung und Verarbeitung von Frischbeton auf der Baustelle,
- höchstzulässige Menge des Zugabewassers,
- Dauer der Verwendungsfähigkeit einschließlich Herstellungsdatum und Lagerungsbedingungen, alternativ Verwendbarkeitsdatum und Lagerungsbedingungen,
- bauaufsichtliches Übereinstimmungszeichen unter Angabe der Bescheidnummer.

## 2.3 Übereinstimmungsbestätigung

### 2.3.1 Allgemeines

Die Bestätigung der Übereinstimmung der Bauprodukte nach den Abschnitten 2.1.1 (getränkte **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter) und 2.1.3 (**CARBOrefit**<sup>®</sup>) mit den Bestimmungen der von dem Bescheid erfassten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung muss für jedes Herstellwerk mit einer Übereinstimmungserklärung des Herstellers auf der Grundlage einer werkseigenen Produktionskontrolle und eines Übereinstimmungszertifikates einer hierfür anerkannten Zertifizierungsstelle sowie einer regelmäßigen Fremdüberwachung durch eine anerkannte Überwachungsstelle nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen erfolgen.

Für die Erteilung des Übereinstimmungszertifikats und die Fremdüberwachung einschließlich der dabei durchzuführenden Produktprüfungen hat der Hersteller des Bauprodukts eine hierfür anerkannte Zertifizierungsstelle sowie eine hierfür anerkannte Überwachungsstelle einzuschalten.

Die Übereinstimmungserklärung hat der Hersteller durch Kennzeichnung der Bauprodukte mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) unter Hinweis auf den Verwendungszweck abzugeben.

Dem Deutschen Institut für Bautechnik ist von der Zertifizierungsstelle eine Kopie des von ihr erteilten Übereinstimmungszertifikats und eine Kopie des Erstprüfberichts nach Abschnitt 2.3.3 zur Kenntnis zu geben.

### 2.3.2 Werkseigene Produktionskontrolle

In jedem Herstellwerk der Produkte nach Abschnitt 2.1.1 bis 2.1.3 ist eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten und durchzuführen. Unter werkseigener Produktionskontrolle wird die vom Hersteller vorzunehmende kontinuierliche Überwachung der Produktion verstanden, mit der dieser sicherstellt, dass die von ihm hergestellten Produkte den Bestimmungen dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entsprechen.

Der Nachweis der Materialeigenschaften des Tränkungsmediums ist durch ein Abnahmeprüfzeugnis "3.1" nach DIN EN 10204<sup>3</sup> entsprechend Anlage 1, Tabelle 1 zu erbringen.

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle der getränkten Carbongitter sind mindestens die Prüfungen nach Anlage 1, Tabelle 2, durchzuführen.

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle des Feinbetons sind mindestens die Prüfungen nach Anlage 2, Tabellen 1 und 2, durchzuführen.

Die Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle in den Herstellwerken der getränkten **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter nach Abschnitt 2.1.1 und des **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Feinbetons nach Abschnitt 2.1.3 sind aufzuzeichnen und auszuwerten. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials, des verwendeten Typs und der Bestandteile
- Art der Kontrolle oder Prüfung
- Datum der Herstellung und der Prüfung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials oder der Bestandteile
- Ergebnis der Kontrollen und Prüfungen und, soweit zutreffend, Vergleich mit den Anforderungen
- Unterschrift des für die werkseigene Produktionskontrolle Verantwortlichen

Die Aufzeichnungen sind dem Antragsteller zu übergeben, von diesem mindestens fünf Jahre aufzubewahren und soweit gefordert, der für die Fremdüberwachung eingeschalteten Überwachungsstelle vorzulegen. Sie sind dem Deutschen Institut für Bautechnik und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

<sup>3</sup>

DIN EN 10204:2005-01

Metallische Erzeugnisse; Arten von Prüfbescheinigungen

Bei ungenügendem Prüfergebnis sind vom Hersteller unverzüglich die erforderlichen Maßnahmen zur Abstellung des Mangels zu treffen. Bauprodukte, die den Anforderungen nicht entsprechen, sind so zu handhaben, dass Verwechslungen mit übereinstimmenden ausgeschlossen werden. Nach Abstellung des Mangels ist - soweit technisch möglich und zum Nachweis der Mängelbeseitigung erforderlich - die betreffende Prüfung unverzüglich zu wiederholen.

### 2.3.3 Fremdüberwachung

In jedem Herstellwerk der getränkten **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter nach Abschnitt 2.1.1 und des **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Feinbetons nach Abschnitt 2.1.3 ist die werkseigene Produktionskontrolle durch eine Fremdüberwachung regelmäßig zu überprüfen, mindestens jedoch zweimal jährlich.

Im Rahmen der Fremdüberwachung ist eine Erstprüfung der Bauprodukte durchzuführen und sind Proben für Stichprobenprüfungen zu entnehmen.

Für die Fremdüberwachung der **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitter sind die Prüfungen nach Anlage 1, Tabelle 2 durchzuführen.

Für die Fremdüberwachung des **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Feinbetons sind die Prüfungen nach Anlage 2, Tabellen 1 und 2 durchzuführen.

Die Probenahme und Prüfung obliegen der Überwachungsstelle für die Fremdüberwachung.

Die Ergebnisse der Zertifizierung und der Fremdüberwachung sind mindestens fünf Jahre aufzubewahren. Sie sind von der Zertifizierungsstelle bzw. der Überwachungsstelle dem Deutschen Institut für Bautechnik, der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde und dem Antragsteller auf Verlangen vorzulegen.

## 3 Bestimmungen für Planung, Bemessung und Ausführung

### 3.1 Planung

Zusätzlich zu den Bestimmungen nach Abschnitt 1.2 sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Die Mindestbetondeckung einer Lage Carbongitter beträgt sowohl zum Altbeton, zwischen den Lagen der Carbongitter als auch zur Oberfläche 3 mm für den Typ 1 und 5 mm für den Typ 3.

### 3.2 Bemessung

Für die Bemessung und Konstruktion gilt Anlage 5.

Nach diesem Bescheid dürfen maximal 4 Lagen Carbongitter in einer Carbonbetonschicht eingebaut werden.

Den Fasersträngen der Carbongitter dürfen beim Standsicherheitsnachweis nur Zugkräfte zugewiesen werden. Übersteigt der Bemessungswert der Zugkraft der Carbonbewehrung den Bemessungswert der Zugkraft der Carbonbetonschicht nach Tabelle 4, Zeile 9, ist dieser auf den Tabellenwert als Obergrenze zu begrenzen.

Die Carbonbetonschicht darf auch in der Druckzone angeordnet sein. Übersteigt der Bemessungswert der Druckkraft in der Carbonbetonschicht den Wert nach Tabelle 4, Zeile 9, ist dieser auf den Tabellenwert als Obergrenze zu begrenzen.

Biegezugverstärkungen nach diesem Bescheid dürfen nur in Bereichen angeordnet werden, in denen rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich ist.

Zur Bestimmung des Bemessungswertes der auf die Fläche der Carbongitter bezogenen Zugfestigkeit nach Gleichung (aBG 3.1) von Anlage 5 und des Bemessungswertes der auf die Fläche der Carbongitter bezogenen Spannung des Carbonbetons bei abgeschlossener Rissbildung im Feinbeton nach Gleichung (aBG 3.2) von Anlage 5 gelten je nach Typ der **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbongitterbewehrung die Werte nach Tabelle 4

**Tabelle 4:** Rechenwerte in Kettrichtung der Carbongitter **CARBOrefit**®-Typ 1, 2 und 3 als Eingangsdaten für die Bemessung

	Eigenschaften	CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
<b>Längsfestigkeiten Carbonfaserstränge</b>			
1	$f_{Kf,nm,k}$	1.550 N/mm <sup>2</sup>	2.250 N/mm <sup>2</sup>
2	$\varepsilon_{K,nm,uk}$	0,75 %	1,1 %
3	$E_{Kf,nm,m}$ für die Bemessung	206.667 N/mm <sup>2</sup>	206.667 N/mm <sup>2</sup>
4	$\alpha_{T,t}$	0,85	1,00
5	$\alpha_{t\infty,t}$	0,70	0,7
6	$\alpha_{D,t}$	1,0	1,0
7	$\gamma_{nm}$	1,2	1,2
8	$f_{Kf,nm,d}$ nach (Anlage 5, aBG 3.1)	768 N/mm <sup>2</sup>	1.300 N/mm <sup>2</sup>
9	Bemessungswert der Verstärkungskraft $F_{K,nm,d}$ (für Zug und Druck)	430 kN/m	430 kN/m
<b>Verbundfestigkeit der Carbonfaserstränge</b>			
10	$T_{K,nm,k}$	4,0 N/mm	10,0 N/mm
11	$\alpha_{T,b}$	0,45	1,0
12	$\alpha_{t\infty,b}$	0,47	0,70
13	$\alpha_{D,b}$	1,0	1,0
14	$\gamma_{nm,b}$	1,5	1,5
15	$T_{K,nm,d}$	0,564 N/mm	4,7 N/mm
16	$l_{b,rqd}$ nach (Anlage 5, aBG 8.20)	2.450 mm	500 mm
<b>Betoneigenschaften der Carbonbetonschicht</b>			
17	Bemessungswert der Druckfestigkeit $f_{cd}$ der Carbonbetonschicht ( $\gamma_c=1,5$ und $\alpha_{cc}=0,85$ , s. auch Tabelle 3)	45 N/mm <sup>2</sup>	
18	Mittelwert des Elastizitätsmoduls $E_{cm}$	25.000 N/mm <sup>2</sup>	
Im Rahmen dieses Bescheides dürfen nur Faserstränge des Carbongitters in Kettrichtung zur Verstärkung herangezogen werden.			
1) Die Formelzeichen werden in Abschnitt 1.6 von Anlage 5 erklärt.			

Im Rahmen dieser Zulassung dürfen nur die Faserstränge des Carbongitters in Kettrichtung zur Verstärkung herangezogen werden.

Die für die Bemessung wichtigen geometrischen Eigenschaften der **CARBOrefit**®-Carbongitter der Regelausführung in Kettrichtung sind:

$$a_{Kf,nm} = 140 \text{ mm}^2/\text{m}, A_{Kf,nm} = 1,8 \text{ mm}^2 \text{ mit } n_K = 7,8/\text{m}.$$

Die geometrischen Eigenschaften in Schussrichtung der **CARBOrefit**®-Carbongitter der Regelausführung sind:

$$a_{Sf,nm} = 28 \text{ mm}^2/\text{m}, A_{Sf,nm} = 0,45 \text{ mm}^2, \text{ mit } n_S = 62,5/\text{m}.$$

Die für die Bemessung wichtigen geometrischen Eigenschaften der **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbon-  
gitter der Sonderausführung in Kettrichtung sind wie folgt bestimmt:

$$n_K = \frac{1000}{a_K[\text{mm}]} \cdot \frac{1}{m}, \quad a_{Kf, nm} = A_{Kf, nm} \cdot n_K \text{ mit } A_{Kf, nm} = 1,8 \text{ mm}^2 \text{ und}$$

$a_K$  Gitterweite der Faserstränge in Kettrichtung.

Die geometrischen Eigenschaften der **CARBOrefit**<sup>®</sup>-Carbon-  
gitter der Sonderausführung in Schussrichtung sind wie folgt bestimmt:

$$n_S = \frac{1000}{a_S[\text{mm}]} \cdot \frac{1}{m}, \quad a_{Sf, nm} = A_{Sf, nm} \cdot n_S \text{ mit } A_{Sf, nm} = 0,45 \text{ mm}^2 \text{ für Faserstränge mit 12 K und}$$
$$A_{Sf, nm} = 1,8 \text{ mm}^2 \text{ für Faserstränge mit 48 K / 50 K Fasergehalt und}$$

$a_S$  Gitterweite der Faserstränge in Schussrichtung.

Die Formelzeichen werden in Abschnitt 1.6 von Anlage 5 erklärt.

### 3.3 Feuerwiderstand der Bauteile

Sofern Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile mit Carbonbeton-  
verstärkung gestellt werden, ist die jeweils geforderte Feuerwiderstandsklasse im Einzelfall  
nachzuweisen.

### 3.4 Ausführung

#### 3.4.1 Allgemeines

Dieser Bescheid mit allen Anlagen sowie die Verarbeitungsvorschriften des Herstellers haben  
bei den Verstärkungsarbeiten auf jeder Baustelle vorzuliegen.

Die Verstärkungsarbeiten dürfen nur von Unternehmen ausgeführt werden, die ihre Eignung  
nachgewiesen haben. Die Eignung des ausführenden Unternehmens muss durch einen  
Eignungsnachweis nach den "Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von  
Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen  
Bauartgenehmigungen"<sup>4</sup> gegenüber einer dafür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle  
erbracht werden.

Die qualifizierte Führungskraft nach den "Grundsätzen für den Eignungsnachweis zur  
Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den  
gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen"<sup>4</sup> muss während der entscheidenden Phasen auf  
der Baustelle anwesend sein und die begleitenden Kontrollen nach Abschnitt 3.4.7 und 3.4.8  
durch das Baustellenfachpersonal nach den "Grundsätzen für den Eignungsnachweis zur  
Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den  
gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen"<sup>4</sup> durchführen lassen und selbst stichprobenartig  
überprüfen.

Die Herstellung der Verstärkung darf nur von Baustellenfachpersonal nach der "Grundsätzen  
für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen  
mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen"<sup>4</sup> ausgeführt werden.

4

Deutsches Institut für Bautechnik:  
Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit  
Carbonbeton mit Bausätzen nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen (Fassung Februar 2021)

### 3.4.2 Erfassen des Ist-Zustandes des zu verstärkenden Bauteils

Folgende für die rechnerischen Nachweise und für die Ausführung relevanten Eigenschaften jedes zu verstärkenden Bauteilabschnitts sind zu erfassen und mit einer entsprechenden Bewertung zu dokumentieren:

- die Oberflächenzugfestigkeit des zu verstärkenden Bauteils vor der Oberflächenvorbehandlung<sup>5</sup> gemäß DIN EN 1542<sup>6</sup>,
- die Betondruckfestigkeitsklasse nach DIN EN 13791<sup>7</sup>,
- Stahlart, Lage und Erhaltungszustand der vorhandenen Bewehrung,
- die Betondeckung der vorhandenen Bewehrung sowie deren Karbonatisierungstiefe,
- Lage, Verlauf und Breite von Rissen, sofern diese zur Korrosion der innen liegenden Bewehrung führen können,
- gegebenenfalls Angaben zu Schadstoffen im Beton, die zur Korrosion der Bewehrung oder des Betons führen können (z. B. Chloridkonzentration).

### 3.4.3 Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil

Es dürfen nur Bauteile aus Normalbeton bis zur Festigkeitsklasse C50/60 verstärkt werden.

Die untere Konfidenzschranke  $f_{ctm,surf}$  (mit 95 % Zuverlässigkeit (einseitig)) für den Erwartungswert (Mittelwert) der Oberflächenzugfestigkeit der Betonoberfläche im Bereich der Verstärkungsflächen aus den Messungen mit unbekannter Varianz nach Abschnitt 3.4.2 ist gemäß Anlage 6 zu bestimmen. Er muss mindestens 1,0 N/mm<sup>2</sup> betragen.

Im Bereich der Verstärkungsflächen muss die Betondeckung mindestens 10 mm betragen.

Eine leitende Verbindung zwischen Stahlbewehrung und Carbonbewehrung ist zur Vermeidung von Kontaktkorrosion wirksam auszuschließen.

Die Erfüllung der Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil ist vor Beginn der Maßnahmen zu prüfen und zu dokumentieren.

### 3.4.4 Anforderungen an die Carbongitter und den Feinbeton

Es dürfen nur die in Abschnitt 2.1.1 angegebenen Carbongitteren und der in Abschnitt 2.1.3 angegebene Feinbeton verwendet werden. Die gleichzeitige Anwendung verschiedener Carbongitter nach Abschnitt 2.1.1 in einer Carbonbetonschicht ist nicht zulässig. Die Bauprodukte dürfen nur innerhalb des auf der Verpackung angegebenen Zeitraums verwendet werden.

Gitter die auf Rollen geliefert werden, müssen nach dem Abwickeln eine Ebene bilden können.

### 3.4.5 Oberflächenvorbereitung für die Betonbauteile

Damit für Verstärkungsmaßnahmen mit Carbonbeton an Betonbauteilen der angestrebte Erfolg nach Art, Güte und Dauer sicher erreicht werden kann, muss der betreffende Beton an seiner Oberfläche bestimmte Eigenschaften haben. Um dies zu erreichen, ist eine Untergrundvorbereitung erforderlich.

Risse im Beton im Bereich der Verstärkung, die zur Korrosion der Bewehrung führen können oder Risse mit Flüssigkeitsdurchtritt sind gemäß der TR Instandhaltung<sup>8</sup> zu behandeln.

<sup>5</sup> Im Bereich der Messstellen muss dabei die Oberfläche staubfrei sowie frei von losen Teilen sein. Ferner dürfen keine parallel zur Oberfläche oder schalenförmig im oberflächennahen Bereich verlaufenden Risse und Ablösungen sowie keine artfremden Stoffen wie Gummiabrieb, Trennmittel, ungeeignete Altbeschichtungen, Ausblühungen, Öl, Bewuchs u. ä. vorhanden sein, die keine zuverlässige Ermittlung der Oberflächenzugfestigkeit ermöglichen.

<sup>6</sup> DIN EN 1542:1999-07 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch; Deutsche Fassung EN1542:1999

<sup>7</sup> DIN EN 13791:2008-05 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Deutsche Fassung EN 13791:2007

<sup>8</sup> Technische Regel (DIBt) Instandhaltung von Betonbauwerken (TR Instandhaltung):2020-05  
Teil 1 - Anwendungsbereich und Planung der Instandhaltung  
([https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/I4/TR\\_Instandhaltung\\_Betonbauwerke\\_Teil1.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/I4/TR_Instandhaltung_Betonbauwerke_Teil1.pdf))  
Teil 2 - Merkmale von Produkten oder Systemen für die Instandsetzung und Regelungen für deren Verwendung  
([https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/I4/TR\\_Instandhaltung\\_Betonbauwerke\\_Teil2.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/I4/TR_Instandhaltung_Betonbauwerke_Teil2.pdf))

Die Verstärkungsfläche muss frei von losen Teilen sein. Ferner dürfen keine parallel zur Oberfläche oder schalenförmig im oberflächennahen Bereich verlaufenden Risse und Ablösungen sowie keine artfremden Stoffe wie Gummiabrieb, Trennmittel, ungeeignete Altbeschichtungen, Ausblühungen, Öl, Bewuchs u. ä. vorhanden sein, die den Verbund zur Feinbetonschicht einschränken könnten. Solche Bereiche sind vor der Oberflächenvorbereitung vollständig zu entfernen.

Die zu verstärkende Altbetonoberfläche muss für das Aufbringen der ersten Feinbetonschicht vorbereitet werden, bis die Gesteinskörnung mit einem Durchmesser  $> 4$  mm sichtbar wird, z. B. durch

- Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln,
- Kugelstrahlen,
- Bearbeitung mit einer Nadelpistole,
- Hochdruckwasserstrahlen (HDW).

Die mittlere Rautiefe der Betonoberfläche muss mindestens 1,0 mm betragen.

Die zu verstärkende Altbetonoberfläche sollte möglichst ebenflächig sein. Bei Unebenheiten im Bereich  $>3$  mm bis 30 mm müssen diese reprofiliert werden. Die Reprofilierung hat mit dem Feinbeton nach 2.1.3 durch Spritzen oder Handauftrag zu erfolgen. Bei Unebenheiten  $>30$  mm ist eine gesonderte Bewertung durch den Tragwerkplaner erforderlich. Ausgenommen hiervon sind punktuelle Fehlstellen im Beton wie Betonabplatzungen oder Kiesnester. Diese sind fachgerecht freizulegen und mit dem Feinbeton nach 2.1.3 durch Spritzen oder Handauftrag zu reprofilieren. Die Bereiche der Reprofilierung werden vor dem Überschreiten der Verarbeitungszeit des Feinbetons durch Besenstrich aufgeraut. Zu einem beliebigen Zeitpunkt kann dann mit dem Spritzen oder Handlaminierten der ersten Schicht Feinbeton für die Carbonbetonschicht begonnen werden.

Nach der Untergrundvorbereitung ist die Oberflächenzugfestigkeit des Betonuntergrundes gemäß DIN EN 1542<sup>6</sup> zu prüfen. Die untere Konfidenzschranke  $f_{ctm,surf}$  (mit 95 % Zuverlässigkeit (einseitig)) für den Erwartungswert (Mittelwert) der Oberflächenzugfestigkeit der Betonoberfläche oder der reprofilierten Betonoberfläche im Bereich der Verstärkungsflächen ist gemäß Anlage 6 zu ermitteln. Der Erwartungswert des Mittelwerts  $f_{ctm,surf}$  muss mindestens  $1,0$  N/mm<sup>2</sup> betragen. Sofern in der Statik der Carbonbetonverstärkung ein höherer Wert angesetzt wurde, ist dieser nachzuweisen. Kann die geforderte Oberflächenzugfestigkeit nicht erzielt werden, ist vor Durchführung der Verstärkungsarbeiten der sachkundige Planer zu informieren. Gegebenenfalls können weitere Prüfungen erforderlich werden.

Zum Auftrag der Carbonbetonschicht muss die Oberfläche "feucht" im Sinne der TR Instandhaltung<sup>8</sup>, Teil 1, Abschnitt 7.3.3.5 sein. Dies kann durch folgendes Vorbehandlungsregime erreicht werden:

- Altbetonoberfläche erstmals mindestens 24 h vor dem Aufbringen der Verstärkung kräftig vornässen,
- Anschließend Oberfläche im Intervall von 2h tagsüber nachnässen und über Nacht mit Folie abdecken,
- Altbetonoberfläche letztmalig ca. 20 min vor dem Aufbringen der Verstärkung vornässen.

### 3.4.6 Spritz- und Laminierarbeiten

Die Bahnen der Carbongitter nach Abschnitt 2.1.1 dürfen nicht abgekantet oder scharfen Querpressungen ausgesetzt werden. Sie dürfen, falls erforderlich, auf der Baustelle mit einer geeigneten Schere passend geschnitten werden. Der kleinste Biegedurchmesser, der bei der Handhabung und außerhalb des statisch wirksamen Bereichs der Carbongitter nicht unterschritten werden darf, beträgt 30 mm für das Carbongitter vom Typ 1. Die Carbongitter vom Typ 3 besitzen einen Mindestbiegedurchmesser von 150 mm.

Die Carbongitterbahnen müssen staub- und fettfrei sein.

Während der Spritz- bzw. Laminierarbeiten muss die Temperatur von Luft und Betonbauteilen im Bereich von 5 °C bis 30 °C liegen. Das Spritzen des Feinbetons erfolgt im Dichtstromverfahren mit der MAWO Mantelluftstromdüse (siehe Anlage 4).

Das Mischen des Feinbetons muss gemäß den Angaben des Herstellers erfolgen.

Sollen Bauteile mehrlagig mit Carbongitter bewehrt werden, muss nach der Einarbeitung einer Lage Carbongitter zunächst immer eine Schicht Feinbeton auflaminiert bzw. aufgespritzt werden. Anschließend wird die frisch eingearbeitete Lage Carbongitter erneut durch Spritzen oder Handlaminiere mit einer Schicht Feinbeton überdeckt.

Jede Lage muss in die zugehörige Feinbetonschicht eingearbeitet sein, bevor deren Verarbeitungszeit überschritten ist. Die Bauteile dürfen vom Moment des Auftragens des Feinbetons über das Einarbeiten der Lagen der Carbongitter bis zur Erhärtung des Feinbetons keinen Erschütterungen und Bewegungen ausgesetzt sein.

Die Carbonbetonschichten müssen im ausgehärteten Zustand eben bzw. frei von Aufwellungen nach Abschnitt 3.4.7.4 sein.

Ist eine Arbeitsunterbrechung zwischen dem Aufbringen mehrerer Lagen Carbongitter erforderlich, wird die letzte Lage vor dem Überschreiten der Verarbeitungszeit des Feinbetons mit einer Schicht Feinbeton durch Spritzen oder Handlaminiere überdeckt und anschließend durch Besenstrich aufgeraut. Zu einem beliebigen Zeitpunkt kann dann mit dem Spritzen oder Handlaminiere der nächsten Schicht Feinbeton fortgesetzt werden.

Nach 3.1 beträgt die Mindestbetondeckung einer Lage Carbongitter sowohl zum Altbeton, zwischen den Lagen der Carbongitter als auch zur Oberfläche 3 mm für den Typ 1 und 5 mm für den Typ 3. Daraus folgen die Mindestdicken der aufgespritzten und handlaminierten Carbonbetonschicht in Abhängigkeit von der Anzahl der Lagen der Carbongitter nach Tabelle 5.

**Tabelle 5:** Mindestschichtdicke des Carbonbetons in Abhängigkeit von der Anzahl der Lagen der Carbongitter

Anzahl der Lagen der Carbongitter*	Mindestdicke der Carbonbetonschicht in Abhängigkeit von der Anzahl der Lagen [mm]	
	CARBOrefit® Typ 1	CARBOrefit® Typ 3
1	6	10
2	9	15
3	12	20
4	15	25

\* Die im Projekt enthaltene Anzahl der Carbongitterlagen muss vom Planer unter Berücksichtigung von Tabelle 4, Zeile 9 vorgegeben werden

Vor der Belastung des Bauwerks müssen Abreißprüfungen nach DIN EN 1542<sup>6</sup> am Bauwerk sowie Verbundprüfungen an gesondert hergestellter Carbonbetonprobekörpern nach Abschnitt 3.4.7.4 durchgeführt werden und die dort gestellten Anforderungen erfüllen. In der Regel erfolgt dies nach 28 Tagen.

In Bereichen, in denen die Gefahr einer mechanischen Beschädigung nach dem Einbau nicht auszuschließen ist, müssen die Carbonbetonschichten davor geschützt werden.

### 3.4.7 Prüfungen während der Ausführung

#### 3.4.7.1 Überprüfung der Voraussetzungen

Der Bauausführende hat sich davon zu überzeugen, dass

- die Carbongitter und der Feinbeton das Übereinstimmungszeichen nach dieser Zulassung aufweisen,
- das Verbrauchsdatum noch nicht abgelaufen ist,
- die in den Abschnitten 3.4.1 bis 3.4.6 genannten Bedingungen eingehalten sind.

#### 3.4.7.2 Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit

Auf der gemäß Abschnitt 3.4.5 vorbehandelten Betonfläche wird an mindestens fünf Stellen die Oberflächenzugfestigkeit des Betons gemäß DIN EN 1542<sup>6</sup> mit Ringnut ermittelt.

#### 3.4.7.3 Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons

Die Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons erfolgt entsprechend Anlage 3, Tabelle 1.

#### 3.4.7.4 Kontrolle nach der Ausführung

Die Ebenheit der Carbongitterlage in der Feinbetonschicht ist zu überprüfen. Dabei darf auf einer Prüfstrecke von 30 cm die Abweichung von einer ebenen Fläche nicht mehr als  $\Delta h = 1$  mm betragen.

Einsinnige Krümmungen, welche die gezogenen Carbonbetonschichten gegen den Altbeton drücken (konvexe Krümmungen), sind ausführbar. Bei einsinniger Krümmungen, welche die gezogenen Carbonbetonschichten vom Altbeton wegziehen (konkave Krümmungen), ist ein statischer Nachweis entsprechend Anlage 5, Abschnitt aBG 6.2.5.1, Absatz (aBG 3) zu führen.

Vor Belastung des verstärkten Bauteils sind Abreißprüfungen nach Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 9 an Stellen durchzuführen, an denen der Wegfall des Bewehrungsquerschnitts durch die Ringbohrung keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit hat. Diese Stellen sind durch den Tragwerksplaner vorzugeben. Bei diesen Abreißprüfungen muss die untere Konfidenzschranke des Erwartungswertes (Mittelwerts) der Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$ , welche gemäß Anlage 6 zu bestimmen sind, mindestens  $1,0$  N/mm<sup>2</sup> betragen. Sofern in der Statik der Carbonbetonverstärkung ein höherer Wert angesetzt wurde, ist dieser nachzuweisen. Kann die geforderte Haftzugfestigkeit nicht erzielt werden, ist vor Belastung des Bauteils der sachkundige Planer zu informieren. Gegebenenfalls können weitere Prüfungen erforderlich werden.

Weiterhin sind vor der Belastung des Bauwerks Verbundprüfungen (siehe Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 10) an gesondert hergestellten Carbonbetonprobekörpern durchzuführen. Die gesondert hergestellten Prüfkörper sind aus denselben Feinbetonmischungen und Chargen der Carbongitter wie die Carbonbetonschicht herzustellen und unter den gleichen Bedingungen zu lagern, wie das verstärkte Bauteil selbst.

### 3.4.8 Überwachung der Ausführung

#### 3.4.8.1 Allgemeines

Für die Überwachung der Ausführung gilt die DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen"<sup>9</sup>, Teil 3, Abschnitt 2. Neben der Überwachung durch das ausführende Unternehmen besteht eine Überwachungspflicht durch eine dafür anerkannte Überwachungsstelle.

Die Erfüllung der Voraussetzungen gemäß Abschnitt 3.4.8.2 sowie die Vollständigkeit der Überwachung durch den Bauausführenden gemäß Anlage 3 sind durch die Überwachungsstelle zu kontrollieren.

#### 3.4.8.2 Voraussetzungen

Das ausführende Unternehmen muss seine Eignung zur bestimmungsgemäßen Herstellung von Verstärkungen von Betonbauteilen mit Carbonbeton durch eine geltende Bescheinigung gemäß den "Grundsätzen für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton mit Bausätzen nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und allgemeinen Bauartgenehmigungen"<sup>4</sup> gegenüber einer dafür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle nachweisen.

<sup>9</sup>

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.):

"DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - Oktober 2001 -"

Berichtigung – Januar 2002 -; 2. Berichtigung - Dezember 2005 -; 3. Berichtigung September 2014 –

([http://www.dafstb.de/application/BerichtigungRL-SIB2001-10\\_2002-01.pdf](http://www.dafstb.de/application/BerichtigungRL-SIB2001-10_2002-01.pdf)

[http://www.dafstb.de/application/ZweiteBerichtigungRL-SIB2001-10\\_2005-12.pdf](http://www.dafstb.de/application/ZweiteBerichtigungRL-SIB2001-10_2005-12.pdf)

[http://www.dafstb.de/application/3\\_Berichtigung\\_Spritzmoertel\\_Vergussbeton2014-09-12\\_Internet.pdf](http://www.dafstb.de/application/3_Berichtigung_Spritzmoertel_Vergussbeton2014-09-12_Internet.pdf))

Berlin: Beuth, 2014 (Vertriebs-Nr. 65030)

Das ausführende Unternehmen muss über eine qualifizierte Führungskraft und über Baustellenfachpersonal gemäß "Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton mit Bausätzen nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und allgemeinen Bauartgenehmigungen"<sup>4</sup> verfügen.

#### 3.4.8.3 Aufzeichnungen

Jedes ausführende Unternehmen hat eine Liste der ausgeführten Bauobjekte zu führen und der Überwachungsstelle auf Verlangen vorzulegen. Die Liste muss mindestens folgende Angaben enthalten:

1. Name, Ort und Art des Bauobjektes
2. Beschreibung des verstärkten Bauteils
3. Anzahl der Lagen, Abmessungen und Typ der Carbongitter
4. Aufsteller und Prüfer der statischen Berechnung, Verstärkungsgrad
5. Zeitpunkt der Verstärkung
6. Eigenschaften von Beton und Betonstahl nach Abschnitt 3.4.2
7. Art, Bezeichnung und Menge des verbrauchten Feinbetons
8. Name des Bauleiters, des Kolonnenführers und des Düsenführers, der Spritzbeton oder das Auftragen des Feinbetons per Hand bereits ausgeführt hat (SIVV-Schein)
9. Ergebnisse der folgenden Kontrollen bzw. Prüfungen:
  - Lufttemperatur und Bauteiltemperatur beim Einbau,
  - relative Luftfeuchten beim Einbau,
  - Oberflächenzugfestigkeit des Betons vor dem Verstärken,
  - Einstellung des Mantelluft-Drucks nach Anlage 4, Abschnitt 3
  - Abreißprüfung der Carbonbetonschicht nach Abschnitt 3.4.7.4 bzw. Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 9,
  - Ebenheit der Carbongitterlagen in der Feinbetonschicht und
  - Verbundtragfähigkeit der Carbongitter im Feinbeton nach Abschnitt 3.4.7.4 bzw. Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 10.

Dr.-Ing. Lars Eckfeldt  
Referatsleiter

Beglaubigt  
Dr.-Ing. Alex

Tabelle A1.1: **Prüfungen am Tränkungsmittel** für das Abnahmeprüfzeugnis "3.1" nach DIN EN 10204

Prüfung	Anforderung	Häufigkeit
1 Thermogravimetrische Analyse am Beschichtungsfilm nach DIN EN ISO 11358	muss den hinterlegten Daten entsprechen	jede 10. Charge, alle zwei Wochen oder nach jeweils 1 000 Tonnen, je nachdem, welcher Zeitpunkt früher erreicht ist (d. h., welche Variante die häufigsten Prüfungen erfordert)
2 Dynamische Differenzkalorimetrie am Beschichtungsfilm nach DIN EN ISO 11357-1 Bestimmung der Glasübergangstemperatur nach DIN EN ISO 11357-2 Bestimmung der Schmelz- und Kristallisierungstemperatur nach DIN EN ISO 11357-3		
3 Infrarotanalyse nach DIN EN 1767		zweimal jährlich

Tabelle A1.2: **Werkseigene Produktionskontrolle für die Carbongitter**

Komponente/Produktionsschritt	Prüfung	Anforderung	Häufigkeit
1 Carbonfilamentstränge	Wareneingangskontrolle über Abnahmeprüfzeugnis "3.1" nach DIN EN 10204:2005-01	Übereinstimmung mit den beim DIBt hinterlegten Daten	jede Rohmaterial-Charge
2 Beschichtungskomponenten			jede Rohmaterial-Charge
3 Herstellung des Carbongitters	Sichtkontrolle auf Fehlstellen und deren Markierung am Warenrand		laufend
4 getränktes Carbongitter	Qualität der Tränkung der Faserstränge	Sichtkontrolle	wie 3
5 getränktes Carbongitter	Empfehlung: Festigkeit getränkter Carbonfilamentstränge in Kettrichtung (aus dem Carbongitter entnommen) nach Abschnitt 1 von Anlage 1	siehe "Besondere Bestimmungen" Tabelle 2.1, Zeile 1	1x je Spulen-Aufsteckung (vom Hersteller nach Bedarf festzulegen)
6	Zugfestigkeit Carbonbeton nach Abschnitt 2 von Anlage 1	siehe "Besondere Bestimmungen" Tabelle 2.1, Zeile 3	<b>Erstprüfung:</b> 10 Proben aus den ersten 100 m <sup>2</sup> oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche  <b>laufende Produktion:</b> 1x je Spulen-Aufsteckung (10 Proben)
7	Verbundfestigkeit Carbonbeton nach Abschnitt 3 bzw. 4 von Anlage 1	siehe "Besondere Bestimmungen" Tabelle 2.1, Zeile 7	wie 6

**Fremdüberwachung für die Carbongitter**

Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle und alle Prüfungen stichprobenartig

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmittel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 1 von 18

## 1. Prüfung der Zugfestigkeit des Faserstrangs

### 1.1 Allgemeines

Der Faserstrangzugversuch dient zur Ermittlung des einaxialen Zugtragverhaltens der Carbonbewehrung am aus dem Carbongitter herauspräparierten Faserstrang. Aus dem Versuch resultiert die einaxiale Zugfestigkeit, die Bruchdehnung, die Spannungs-Dehnungs-Linie und der E-Modul des Faserstrangs.

### 1.2 Anwendungsbereich

Die Prüfung erfolgt entsprechend 1.3.1 an aus einem Carbongitter herauspräparierten Faserstrang für alle Typen nach Abschnitt 1.2.4 der Zulassung. Der Faserstrang vom Typ 1 kann alternativ auch nach Abschnitt 1.3.2 geprüft werden

### 1.3 Beschreibung des Prüfverfahrens

#### 1.3.1 Standardprüfung

##### 1.3.1.1 Probekörper

Als Probekörper für die Prüfung dient ein einzelner Faserstrang, welcher aus einem getränkten und ausgehärteten Carbongitter herauszutrennen ist. Die Prüfung erfolgt getrennt für die Faserstränge in Kett- und in Schussrichtung. Die herausgeschnittenen Faserstränge müssen repräsentativ für das Carbongitter sein und dürfen keine Beschädigungen aufweisen.

Bei Rollenwaren müssen die herausgeschnittenen Faserstränge von der Rolle abgewickelt und für die Prüfung herangezogen werden.

Die Probekörperlänge ist in Abhängigkeit des im nachfolgenden Abschnitt erläuterten Versuchsaufbau festzulegen.

##### 1.3.1.2 Versuchsaufbau

Die Anzahl der zu prüfenden Probekörper ergibt sich bei der werkseigenen Produktionskontrolle des Carbongitters nach Anlage 1, Tabelle A1.2.

Der Prüfaufbau muss den im Bild A1-1 dargestellten Randbedingungen erfüllen, mit:

- Freie Probekörperlänge  $l_F$  ( $200 \pm 5$  mm)
- Messbereichslänge  $l_M$  (max (2,5-fache Gitterweite; 50 mm)
- Mindestabstand Einspannung – Messbereich 50 mm
- Einspannlänge  $l_k$  (empfohlen wird ein Mindestwert von 100 mm)

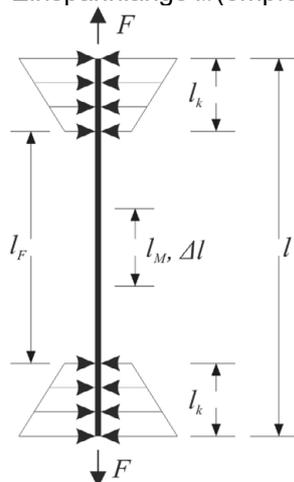


Bild A1-1: Versuchsaufbau Faserstrangversuch

Die Lasteinleitungs- bzw. Einspannvorrichtung (z. B. Klemmen oder Eingießen) der Faserstränge ist frei wählbar, jedoch sollte diese an die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften sowie die Dicke des Faserstrangs angepasst sein.

Die Länge der Einspannung  $l_k$  muss ausreichend gewählt sein, um ein Zugversagen des Faserstrangs zu erhalten.

### 1.3.1.3 Versuchsdurchführung

Die Probe muss axial ausgerichtet werden. Die Belastung der Probekörper erfolgt verformungsgesteuert mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 3 mm/min. Während der Versuche ist die Maschinenkraft  $F$  mittels Kraftmessdose, der Maschinenweg  $s$  anhand der Maschinendaten und die Längenänderung des Messbereichs  $\Delta l$  mittels geeigneter Messmittel zu messen. Die Messmittel können, um Beschädigungen zu vermeiden, vor dem Erreichen der Bruchdehnung der Faserstränge entfernt werden. Zur Ermittlung des E-Moduls ist die Dehnungsmessung bis 60 % der Bruchdehnung notwendig. Die Messfrequenz beträgt mindestens 5 Hz.

Die Prüfung ist beendet, wenn es entweder zu einem Zugversagen des Faserstrangs oder zu einem Faserauszug aus dem Einspannbereich kommt.

### 1.3.2 Alternativprüfung für Faserstrangtyp 1

- 1) Die Prüfung in Kettrichtung erfolgt nach ISO 3341, Umschlingungsklemmen mit optischer Längenänderungserfassung, 500 mm freie Einspannlänge, Prüfgeschwindigkeit 200 mm/min E Modulbestimmung im Bereich des Linearanstieges der Spannungs-Dehnungs-Kurve.
- 2) Die Prüfung in Schussrichtung erfolgt wie 1.3.2 1), jedoch bei 200 mm freier Einspannlänge der beschichteten Schussfäden, Prüfgeschwindigkeit 80 mm/min, um analoge Prüfung ab einer Warenbreite von 1,20 m der Carbongitter zu ermöglichen.
- 3) Bei der Versuchsdurchführung ist neben ISO 3341, Abschnitt 8, der obenstehende Abschnitt 1.3.1.3 zu berücksichtigen und der Versuchsbericht ist entsprechend 1.3.3 zu erstellen.

### 1.3.3 Versuchsbericht

Neben der zuvor aufgeführten Maschinenkraft  $F$ , dem Maschinenweg  $s$  und der Längenänderung  $\Delta l$  sind die nachfolgenden Parameter zu dokumentieren:

- Carbongitter mit den Angaben nach 2.2.3.2 dieser Zulassung,
- Richtung des untersuchten Faserstrangs (Kett- oder Schussrichtung),
- bei Rollenware: minimaler Rollendurchmesser,
- Faserstranglänge
- Einspannlänge
- freie Faserstranglänge
- Art der Lasteinleitungs-konstruktion,
- ggf. aufgebrachte Vorkraft,
- Prüftemperatur
- Messlänge
- Versagensart und -ort
- Bruchkraft des Faserstranges  $F_{nm}$
- Kraft des Faserstranges bei ca. 10 % der mittleren Bruchkraft  $F_{nm,10}$
- Kraft des Faserstranges bei ca. 60 % der mittleren Bruchkraft  $F_{nm,60}$
- Dehnung des Faserstranges bei ca. 10 %  $\epsilon_{nm,10}$
- Dehnung des Faserstranges bei ca. 60 %  $\epsilon_{nm,60}$
- die Materialkennwerte nach 1.3.4.

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungs-mittel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 3 von 18

### 1.3.4 Auswertung und Materialkennwerte

Bei der Bewertung der Versagensarten kann zwischen vier Fällen unterschieden werden:

- Versagen I: Faserstrang reißt innerhalb der freien Länge vollständig in zwei Teile → gültig
- Versagen II: Faserstrang reißt nicht und wird vollständig aus der Klemmung herausgezogen → ungültig
- Versagen III: Faserstrang reißt innerhalb der Klemmung → ungültig
- Versagen IV: Versagen der Einspannvorrichtung → ungültig

Der Versuch ist als gültig zu werten, wenn Versagen I eintritt. Alle anderen Versagen sind als ungültig zu kennzeichnen.

Als Ergebnis der Faserstrangprüfungen sind die Bruchkraft sowie die Verformung zu bestimmen. Unter Beachtung der Faserquerschnittsfläche wird die Bruchspannung, der E-Modul und die Bruchdehnung nach Gl. 1.1 – 1.5 bestimmt.

$$\sigma_f = \frac{F}{A_{f, nm}} \quad (\text{Gl. 1.1})$$

mit:

$\sigma_f$  Faserstrangspannung  
 $F$  Maschinenkraft  
 $A_{f, nm}$  Querschnittsfläche Faserstrang

$$\sigma_{f, 10} = \frac{F_{nm, 10}}{A_{f, nm}} \quad (\text{Gl. 1.2})$$

mit:

$\sigma_{f, 10}$  Faserstrangspannung bei 10 % der Bruchkraft  
 $F_{f, 10}$  Maschinenkraft bei 10 % der Bruchkraft  
 $A_{f, nm}$  Querschnittsfläche Faserstrang

$$\sigma_{f, 60} = \frac{F_{nm, 60}}{A_{f, nm}} \quad (\text{Gl. 1.3})$$

mit:

$\sigma_{f, 60}$  Faserstrangspannung bei 60 % der Bruchkraft  
 $F_{f, 60}$  Maschinenkraft bei 60 % der Bruchkraft  
 $A_{f, nm}$  Querschnittsfläche Faserstrang

$$E_f = \frac{\sigma_{f, 60} - \sigma_{f, 10}}{\varepsilon_{f, 60} - \varepsilon_{f, 10}} \quad (\text{Gl. 1.4})$$

mit:

$\sigma_{f, 60}$  Faserstrangspannung bei 60 % der Bruchkraft  
 $\varepsilon_{f, 60}$  Dehnung bei 60 % der Bruchkraft  
 $\sigma_{f, 10}$  Faserstrangspannung bei 60 % der Bruchkraft  
 $\varepsilon_{f, 10}$  Dehnung bei 60 % der Bruchkraft  
 $E_f$  E-Modul

$$\varepsilon_{f, u} = E_f \cdot \sigma_f \quad (\text{Gl. 1.5})$$

mit:

$\varepsilon_{f, u}$  Bruchdehnung Faserstrang

Die in den Versuchen ermittelte Bruchspannung sowie der berechnete E-Modul darf die in Tabelle 2.1 der "Besondere Bestimmungen" aufgeführten Werte nicht unterschreiten.

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
 Seite 4 von 18

## 2. Prüfung des Carbongitters in Verbindung mit dem Feinbeton - Zugtragverhalten

### 2.1 Allgemeines

Die Prüfung des Carbongitters in Verbindung mit dem Feinbeton erfolgt mittels Dehnkörperversuchen. Bei diesem Prüfverfahren wird das Zugtragverhalten von mit Gittern bewehrtem Beton unter einaxialer Zugbeanspruchung bestimmt. Es werden die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung und die Spannungs-Dehnungslinie des Verbundwerkstoffs ermittelt.

### 2.2 Anwendungsgebiete

Die Prüfung kann für die in dieser Zulassung beschriebenen Gitter angewendet werden.

### 2.3 Probekörper

Der rechteckige Probekörper für die Prüfung besteht aus einer Betonmatrix, welche mindestens eine Bewehrungslage enthält. Für die Probekörper von **CARBOrefit®** Typ 1 (siehe Bild A1-3) sind zwei Lagen Carbongitter, bei Typ 3 (siehe Bild A1-4) eine Lage zu verwenden. Die zu untersuchende Richtung des Geleges muss parallel zur Probenlänge verlaufen.

Die Carbongitterabschnitte müssen repräsentativ für die Produktion der Carbongitter sein und dürfen keine Beschädigungen aufweisen.

Bei Rollenwaren müssen die Abschnitte der Carbongitter von der Rolle abgewickelt und für die Prüfung verwendet werden.

Sowohl in Richtung der Probendicke als auch der Probenbreite sind die Faserstränge symmetrisch anzuordnen. In jeder Bewehrungslage müssen gleich viele Faserstränge, jedoch mindestens 3 Faserstränge, enthalten sein. Die Probenbreite richtet sich nach der Anzahl der zu untersuchenden Faserstränge und muss mindestens 60 mm betragen. Die Dicke der Probe ist auf den Carbongitter-Typ mit den Abmessungen nach Tabelle 5 der "Besonderen Bestimmungen" und der Anzahl an Carbongitter abzustimmen.

Der Mindestwert der Probenlänge beträgt 500 mm. Die Probenlänge besteht aus einem Messbereich, dem Übergangsbereich zwischen Mess- und Klemmbereich und dem Klemmbereich sowie gegebenenfalls einer freien Probenlänge. Der Untersuchungsbereich, bestehend aus Messbereich und Übergangsbereichen, hat dabei ein Verhältnis von Länge zu Breite von mindestens 3:1.

Zur Vermeidung eines Auszugversagens muss eine ausreichende Verankerungslänge sichergestellt sein. Dies ist durch Wahl eines ausreichend langen Klemmbereichs und ggf. einer zusätzlichen freien Probenlänge zu gewährleisten. Eine verbundverbessernde Zusatzbeschichtung mit Epoxidharz und Sand sowie von zusätzlichen Lagen Carbongitter (z. B. durch eine Knochenform) ist nur bei **CARBOrefit®**-Typ 1 im Verankerungsbereich zulässig.

Die Mindestlänge des Messbereichs beträgt 200 mm.

Die verwendeten Probekörper werden, wie in Bild A1-2 gezeigt, unter Verwendung der in den "Besonderen Bestimmungen" definierten Carbongitter im Handlaminierverfahren zunächst als großformatige Carbonbetonplatten auf glatten nicht saugenden Stahlschalungen hergestellt.

Der Einbau der erforderlichen Anzahl an Carbon- und Feinbetonlagen erfolgt abwechselnd, beginnend und abschließend mit einer Feinbetonschicht. Nach dem Aufbringen der oberen Betondeckschicht wird diese glatt abgezogen.

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmittel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 5 von 18



Bild A1-2: Herstellung der Dehnkörper im Laminierverfahren

Nach der Herstellung verbleiben die Probekörper für 1-3 Tage in der Schalung, um ein Austrocknen zu vermeiden. Nach dem Ausschalen werden sie bis zum 7. Tag ständig feucht gehalten und anschließend bis zum Tag der Prüfung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte gelagert. Die Prüfung erfolgt nach 28 Tagen. Der ggf. erforderliche Zuschnitt der Proben erfolgt nach der Feuchtelagerung und spätestens 3 Tage vor der Prüfung.

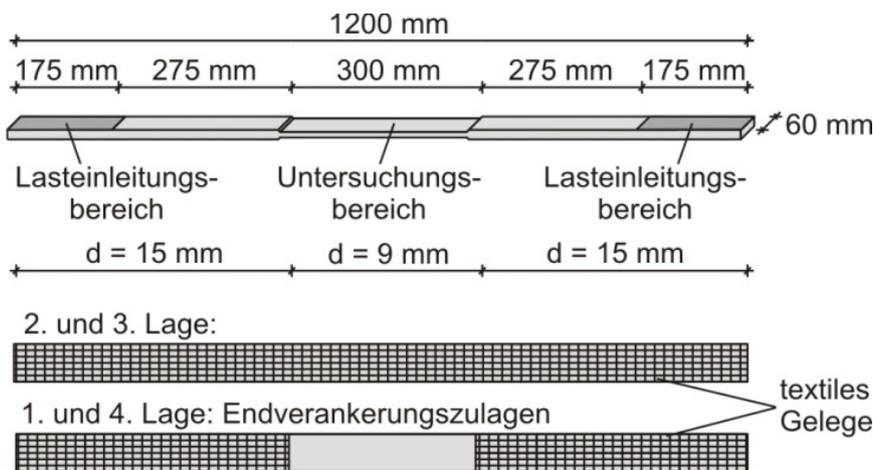


Bild A1-3: Probekörper Zugversuch für Carbongitter Typ 1

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
 Seite 6 von 18

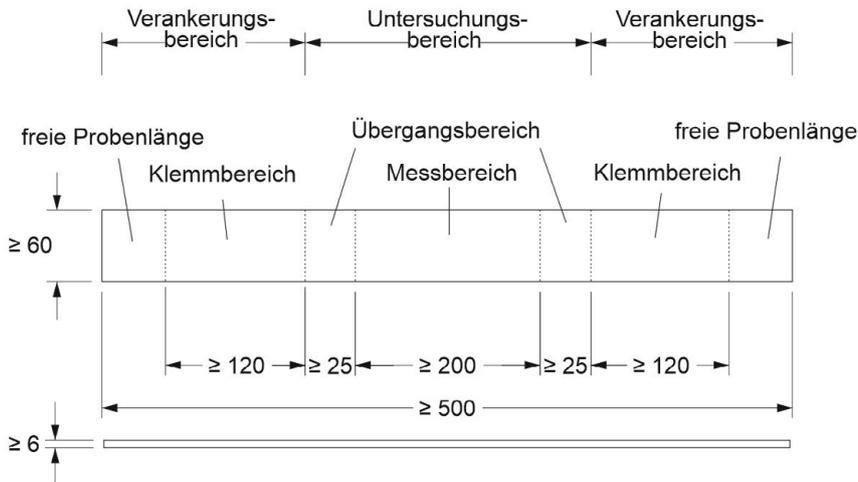


Bild A1-4: Probekörper Zugversuch für Carbongitter Typ 3

## 2.4 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Klemmbereichen gleichmäßig durch Lasteinleitungsplatten geklemmt. Dabei muss der Anpressdruck so festgelegt werden, dass ein Rutschen aus der Lasteinleitung vermieden wird. Der Anpressdruck darf nicht so hoch gewählt werden, dass der Probekörper beschädigt wird. Die Lasteinleitungsplatten werden über eine geeignete Konstruktion mit der Prüfmaschine verbunden. Um Vorschädigungen zu vermeiden, sind die Lasteinleitungsstrukturen beim Einbau der Probe zu stabilisieren.

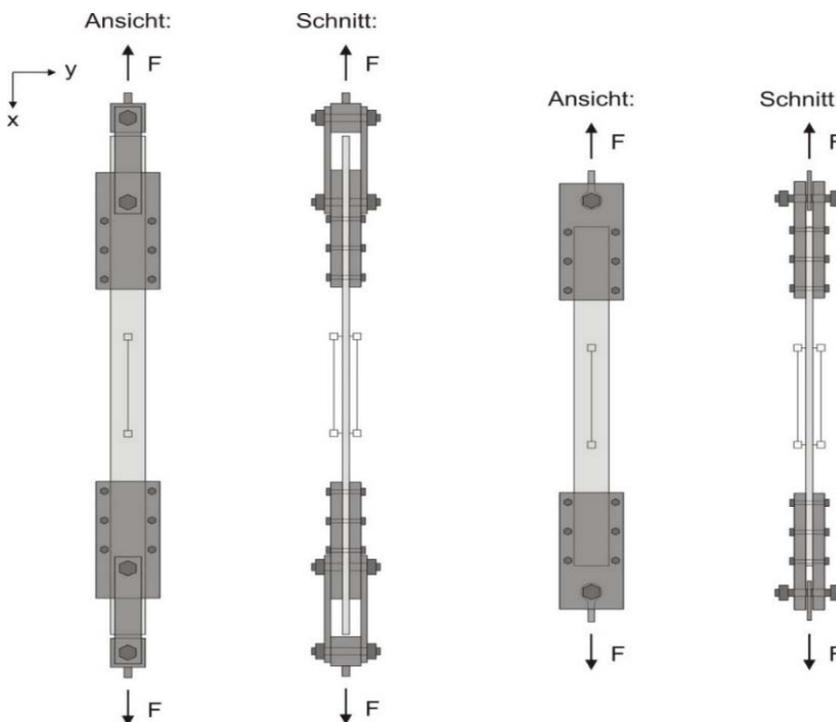


Bild A1-5: Exemplarische Versuchsaufbauten mit seitlich verschraubten Stahlblechen mit freier Probenlänge und einem Rotationsfreiheitsgrad um die z-Achse (links) sowie ohne freie Probenlänge und mit zwei Rotationsfreiheitsgraden um die y- und z-Achse

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
 Seite 7 von 18

## 2.5 Versuchsdurchführung

Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, müssen mindestens 5 Proben dieser Versuchsserie ein gültiges Versagen nach 2.7 aufweisen. Die Proben werden zentrisch im Schwerpunkt der Bewehrung gezogen. Für die Überprüfung der Zentrierung wird das Aufbringen einer Vorlast von bis zu 0,5 kN empfohlen. Die Belastung erfolgt weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von 1 mm/min bis zum Versagen des Probekörpers. Die Messrate beträgt mindestens 5 Hz. Die Verformungsmessung erfolgt mindestens jeweils in Probenmitte über dem Messbereich auf Vorder- und Rückseite der Probe.

Die Anzahl der zu prüfenden Probekörper ergibt sich bei der werkseigenen Produktionskontrolle des Bewehrungsgitters nach Anlage 1, Tabelle A1.1.

## 2.6 Messgrößen, Ergebnisse und Dokumentation

Die erforderlichen kontinuierlichen Messgrößen sind: Maschinenkraft  $F$ , der Maschinenweg  $s$ , die Verformung bzw. Längenänderung  $\Delta l$ .

Des Weiteren sind zu dokumentieren:

- Beton: Art und geprüfte Druckfestigkeit mit Angabe der Prüfnorm
- Carbongitter mit den Angaben nach 2.2.3.2 dieser Zulassung
- in Prüfrichtung: Faserstrangquerschnitt; Untersuchungsrichtung (Kett-/Schussrichtung); Anzahl intakter Faserstränge; ggf. Zahl während Herstellung angesägte Faserstränge; ggf. verbundverbessernde Maßnahmen
- bei Rollenware: minimaler Rollendurchmesser,
- Probekörpergeometrie (aufzumessen vor der Prüfung): Breite an den Enden des Messbereichs ( $\pm 1$  mm genau); dort und in Messbereichsmitte Probekörperdicke sowie Lage der Carbongitter in Dickenrichtung (beidseitig,  $\pm 0,1$  mm); Probekörperlänge ( $\pm 1$  mm); Eigengewicht
- Probenalter und Lagerungsregime
- Prüfgeschwindigkeit
- Prüfmaschine: Bezeichnung; Position der Kraftmessung (aktive/passive Seite)
- Wegmessung: Art, Anzahl, Position, Messlängen  $l_i$
- Lasteinleitung: Eigengewicht (für die Korrektur der Kraft  $F$ ); Art und Anzahl Freiheitsgrade der Verbindung von Lasteinleitung und Prüfmaschine; Klemmlänge; ggf. Anpressdruck; Verankerungslänge
- Direkt vor Versuchsbeginn: Vorschädigungen der Probe (Risse, Abplatzungen etc.); Prüftemperatur
- Versuchsverlauf: Rissbildungsprozess
- Versuchsende: Bruchkraft  $F_u$ , Art und Ort des Versagens (Mess-, Übergangs-, Klemmbereich); ggf. Rutschen der Probe in der Lasteinleitung während des Versuchs; Anzahl Risse im Messbereich, ggf. Schäden im Bereich der Lasteinleitung
- Materialkennwerte nach 2.7

## 2.7 Auswertung und Materialkennwerte

Bei der Bewertung der Versagensarten kann zwischen 3 Fällen unterschieden werden:

- Versagen I: Bruch der Bewehrung im Untersuchungsbereich → gültig
- Versagen II: Bewehrungsbruch innerhalb der Klemmlänge → ungültig
- Versagen III: Faserstrangauszug → ungültig

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
 Seite 8 von 18

Der Versuch ist als gültig zu werten, wenn Versagen I eintritt. Alle anderen Versagen sind als ungültig zu werten.

Die Kennwerte der Spannungs-Dehnungs-Linie (Carbongitterspannung  $\sigma_{f, nm}$  und Dehnung des Verbundwerkstoffes  $\varepsilon_{nm}$  werden wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{f, nm} = \frac{F_{red}}{A_{f, nm}} \quad (\text{Gl. 2.1})$$

mit:

$\sigma_{f, nm}$  Faserstrangspannung  
 $F_{red}$  Maschinenkraft, korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung  
 $A_{f, nm}$  Querschnittfläche

$$\varepsilon_{nm} = \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{Gl. 2.2})$$

mit:

$\Delta l$  Längenänderung  
 $l$  Messlänge der Wegsensoren

Die Zugfestigkeit  $f_{f, nm}$  und die mittlere Bruchdehnung  $\varepsilon_{nm, um}$  des Verbundwerkstoffs ergeben sich dementsprechend zu:

$$f_{f, nm} = \frac{F_{u, red}}{A_{f, nm}} \quad (\text{Gl. 2.3})$$

mit:

$f_{f, nm}$  Zugfestigkeit  
 $F_{u, red}$  Bruchkraft, korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung  
 $A_{f, nm}$  Querschnittfläche

$$\varepsilon_{nm, um} = \frac{\Delta l_u}{l} \quad (\text{Gl. 2.4})$$

mit:

$\Delta l_u$  Längenänderung bei Erreichen der Bruchkraft  
 $l$  Messlänge der Wegsensoren

$$E_{f, nm} = \frac{f_{f, nm}}{\varepsilon_{nm, um}} \quad (\text{Gl. 2.5})$$

mit:

$E_{f, nm}$  E-Modul

Die in den Versuchen ermittelten Kennwerte darf die in Tabelle 2.1 der "Besonderen Bestimmungen" aufgeführten Werte nicht unterschreiten. Die Bestimmung der Zugfestigkeit  $f_{f, nm, k}$  hat nach Abschnitt 5 zu erfolgen.

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 9 von 18

### 3. Prüfung des Carbongitters in Verbindung mit dem Feinbeton – Verbundtragverhalten anhand von Ausziehversuchen

#### 3.1 Allgemeines

Die Prüfung des Carbongitters in Verbindung mit dem Feinbeton kann mittels Auszugversuchen erfolgen. Mit diesem Prüfverfahren wird das Verbundverhalten von Carbongittern im Beton unter einaxialer Zugbeanspruchung untersucht.

#### 3.2 Anwendungsgebiete

Die Prüfung kann für die in dieser Zulassung beschriebenen Gitter angewendet werden.

#### 3.3 Probekörper

Der rechteckige Probekörper für die Prüfung besteht aus einer Betonmatrix, welche genau eine Bewehrungslage enthält. Die zu untersuchende Richtung des Geleges muss parallel zur Probenlänge verlaufen.

Die Carbongitterabschnitte müssen repräsentativ für die Produktion der Carbongitter sein und dürfen keine Beschädigungen aufweisen.

Bei Rollenwaren müssen die Abschnitte der Carbongitter von der Rolle abgewickelt und für die Prüfung verwendet werden.

Sowohl in Richtung der Probendicke als auch der Probenbreite sind die Faserstränge symmetrisch anzuordnen. Ein Faserstrang muss dabei genau in der Achse des Probekörpers (Probenmitte) liegen.

Im Probekörper müssen mindestens 3 Faserstränge enthalten sein. Die Probenbreite richtet sich nach der Anzahl der zu untersuchenden Faserstränge und muss mindestens 60 mm betragen. Die Dicke der Probe ist auf den Carbongitter-Typ mit den Abmessungen nach Tabelle 5 der "Besonderen Bestimmungen" und der Anzahl an Carbongitter abzustimmen.

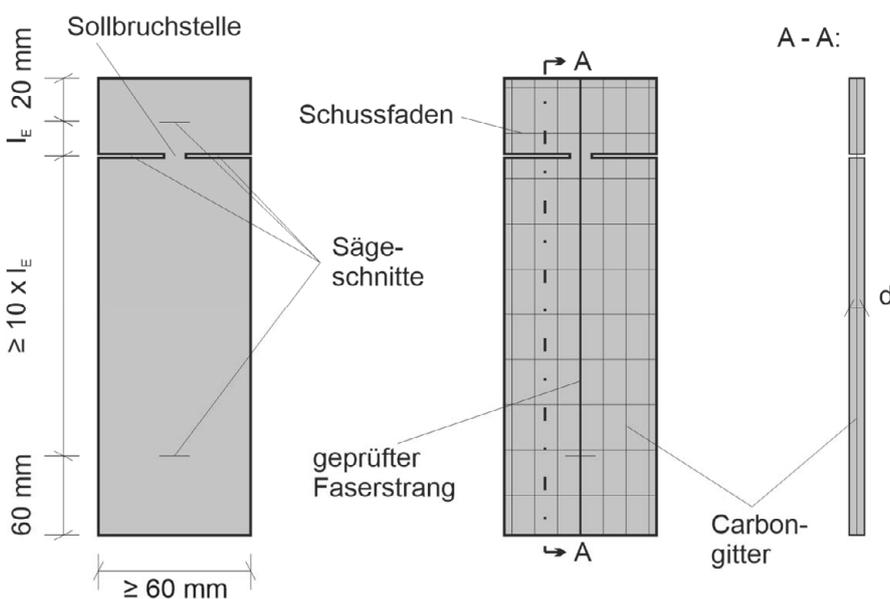


Bild A1-6: Probekörper

Die Mindestlänge der Probe ergibt sich aus Bild A1-6.

Die Festlegung der kürzeren Verankerungslänge  $l_E$  erfolgt an deren Ende mittels vollständiger Durchtrennung des Faserstrangs, z. B. mit einer Diamantbohrung oder einem Sägeschnitt. Alternativ kann der Faserstrang auch vor der Betonage des Probekörpers durchtrennt werden. Der Faserstrang darf dabei im Untersuchungsbereich nicht geschädigt und in seiner Lage nicht verändert werden.

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
 Seite 10 von 18

Der Anfang der Verankerungslänge wird mit Hilfe eines beidseitigen Sägeschnittes begrenzt, der auch die Sollrissstelle definiert. An der Sollrissstelle darf der verbleibende Betonquerschnitt nur noch den zu prüfenden Faserstrang enthalten. Die Größe der Verankerungslänge  $l_E$  wird zum einfachen Abstand der Faserstränge in Querrichtung festgelegt.

Alternative Probekörper, die eine Übertragbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen haben, sind zulässig. Ggfs. kann unterhalb der Sollbruchstelle der Beton entfallen und der Faserstrang direkt gezogen werden, solange der Auszugweg direkt bestimmt werden kann und eine Übertragbarkeit der Ergebnisse sichergestellt ist.

Die verwendeten Probekörper werden, wie in Bild A1-2 gezeigt, unter Verwendung der in den "Besonderen Bestimmungen" definierten CARBOrefit® - Carbongitter im Handlaminierverfahren zunächst als großformatige Carbonbetonplatten auf glatten nicht saugenden Stahlschalungen hergestellt. Alternativ können kleinformatige Probekörper direkt hergestellt werden.

Der Einbau der erforderlichen Anzahl an Carbongitterlagen und Feinbetonlagen erfolgt abwechselnd, beginnend und abschließend mit einer Feinbetonschicht. Nach dem Aufbringen der oberen Betondeckschicht wird diese glatt abgezogen.

Nach der Herstellung verbleiben die Probekörper für 1-3 Tage in der Schalung, um ein Austrocknen zu vermeiden. Nach dem Ausschalen werden sie bis zum 7. Tag ständig feucht gehalten und anschließend bis zum Tag der Prüfung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte gelagert. Die Prüfung erfolgt nach 28 Tagen. Der ggf. erforderliche Zuschnitt der Proben erfolgt nach der Feuchtelagerung und spätestens 3 Tage vor der Prüfung.

### 3.4 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Lasteinleitungsbereichen auf einer Länge von mindestens 20 mm gleichmäßig zwischen Lasteinleitungsplatten geklemmt oder geklebt. Falls die Lasteinleitung mittels Klemmung erfolgt, muss der Anpressdruck so festgelegt werden, dass ein Rutschen aus der Lasteinleitung vermieden wird. Der Anpressdruck darf nicht so hoch gewählt werden, dass der Probekörper beschädigt wird. Falls die Lasteinleitung mittels Klebung erfolgt, muss sichergestellt sein, dass der verwendete Klebstoff keine verfestigenden Einflüsse in der Verbundzone zwischen Carbongitter und Betonmatrix besitzen.

Die Lasteinleitungsplatten sind über eine geeignete Konstruktion mit der Prüfmaschine verbunden. Mindestens an der Probekörperseite des Untersuchungsbereiches erfolgt der Anschluss gelenkig. Die Lasteinleitungsstrukturen sind beim Einbau der Probe zu stabilisieren, um Vorschädigungen zu vermeiden.

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmittel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 11 von 18

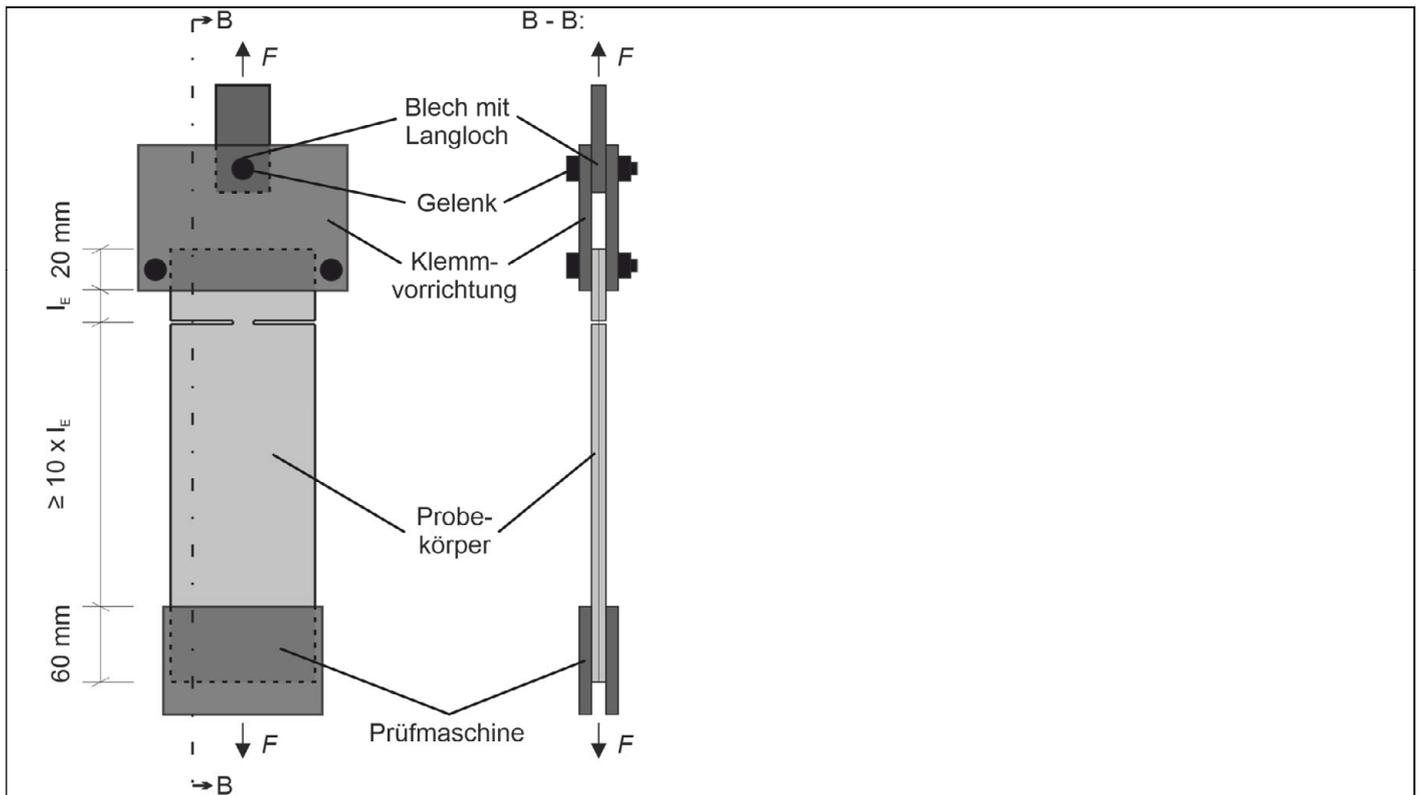


Bild A1-7: Versuchsaufbau

### 3.5 Versuchsdurchführung

Der Probekörper muss während des Anbaus der Lasteinleitung sowie während des Einbaus in die Prüfmaschine durch geeignete Maßnahmen stabilisiert werden. Die Stabilisierungsmaßnahmen sind unmittelbar vor Versuchsbeginn zu entfernen.

Die Belastung erfolgt weggesteuert mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min mindestens bis zu einer Rissöffnung von 5 mm.

Die Messrate beträgt mindestens 5 Hz. Die Rissöffnung wird mit mittig auf beiden Seiten der Probe über der Sollbruchstelle angebrachten Wegsensoren mit kurzem Messbereich oder mittels optischer Messverfahren gemessen.

Die Verankerungslänge  $l_E$  ist nach dem Versuch zu messen.

Die Anzahl der zu prüfenden Probekörper ergibt sich bei der werkseigenen Produktionskontrolle des Bewehrungsgitters nach Anlage 1, Tabelle A1.1.

### 3.6 Versuchsbericht

Die erforderlichen kontinuierlichen Messgrößen sind: Maschinenkraft  $F$ , der Maschinenweg  $s$ , die Rissöffnung  $w$ .

Des Weiteren sind zu dokumentieren:

- Beton: Art und geprüfte Druckfestigkeit mit Angabe der Prüfnorm
- Carbongitter mit den Angaben nach 2.2.3.2 dieser Zulassung
- Faserstrangquerschnitt; Untersuchungsrichtung (Kett-/Schussrichtung), Anzahl intakter Faserstränge,
- bei Rollenware: minimaler Rollendurchmesser,

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmittel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 12 von 18

- Probekörpergeometrie (aufzumessen vor der Prüfung): Breite an den Enden des Messbereichs ( $\pm 1$  mm genau); dort und in Messbereichsmittle Probekörperdicke sowie Lage der Carbongitter in Dickenrichtung (beidseitig,  $\pm 0,1$  mm); Probekörperlänge ( $\pm 1$  mm); Eigengewicht
- Probenalter und Lagerungsregime
- Prüfgeschwindigkeit
- Prüfmaschine: Bezeichnung; Position der Kraftmessung (aktive/passive Seite)
- Wegmessung: Art, Anzahl, Position, Messlängen  $l_i$
- Lasteinleitung: Eigengewicht (für die Korrektur der Kraft  $F$ ); Art und Anzahl Freiheitsgrade der Verbindung von Lasteinleitung und Prüfmaschine; Klemmlänge; ggf. Anpressdruck; Verankerungslänge
- Direkt vor Versuchsbeginn: Vorschädigungen der Probe (Risse, Abplatzungen etc.); Prüftemperatur
- Probekörpergeometrie (aufzumessen nach der Prüfung): Einbindelänge  $l_E$  Faserstrang ( $\pm 0,1$  mm), Breite und Probekörperdicke an der Sollbruchstelle ( $\pm 0,1$  mm); Lage der Textilien in Dickenrichtung (beidseitig,  $\pm 0,1$  mm), Lage des Querfaserstrangs im Untersuchungsbereich ( $\pm 0,1$  mm),
- Versuchsende: Bruchkraft  $F_u$ ; Lage des Sollrisses; Art und Ort des Versagens; ggf. Rutschen der Probe in der Lasteinleitung während des Tests; ggf. Schäden im Bereich der Lasteinleitung.
- Materialkennwerte nach 3.7 bzw. 3.8

### 3.7 Auswertung und Materialkennwerte – Carbongitter Typ 1

Ein Versuch ist gültig, wenn es zu einem Faserstrangauszug aus der Betonmatrix kommt. Alle weiteren Versagensarten sind als nicht gültig zu kennzeichnen.

Das Eigengewicht der oberen Lasteinleitung sowie des oberen Probenteils muss für die Ermittlung der tatsächlichen Auszugskraft  $F_G$  durch eine Korrektur der gemessenen Maschinenkraft  $F$  gemäß Gl. (3.1) berücksichtigt werden.

$$F_G(w) = F(w) - F_{\text{kor}} \quad (\text{Gl. 3.1})$$

Die Größe der Korrekturkraft  $F_{\text{kor}}$  wird durch die nach dem vollständigen Auszug des Garnes, infolge des Eigengewichts des oberen Teils des Versuchsaufbaus, verbleibende Maschinenkraft festgelegt.

Aus den aufgezeichneten Daten werden Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen abgeleitet sowie die Verankerungslänge je Einzelversuch bestimmt, siehe Abschnitt 3.8.

Aufgrund der charakteristischen Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen für Bewehrung Typ 1 können vereinfachend die typischen Werte nach Bild A1-8 bestimmt werden. Die Kennwerte nach Tabelle 2.1 der "Besondere Bestimmungen" sind dann erfüllt. Die Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen für Typ 1 ist in jeweils drei charakteristische Bereiche mit den Verbundwiderständen  $T_1$  bis  $T_3$  und den zugehörigen Rissöffnungen  $w_1$  bis  $w_3$  unterteilt, siehe Bild A1-8.

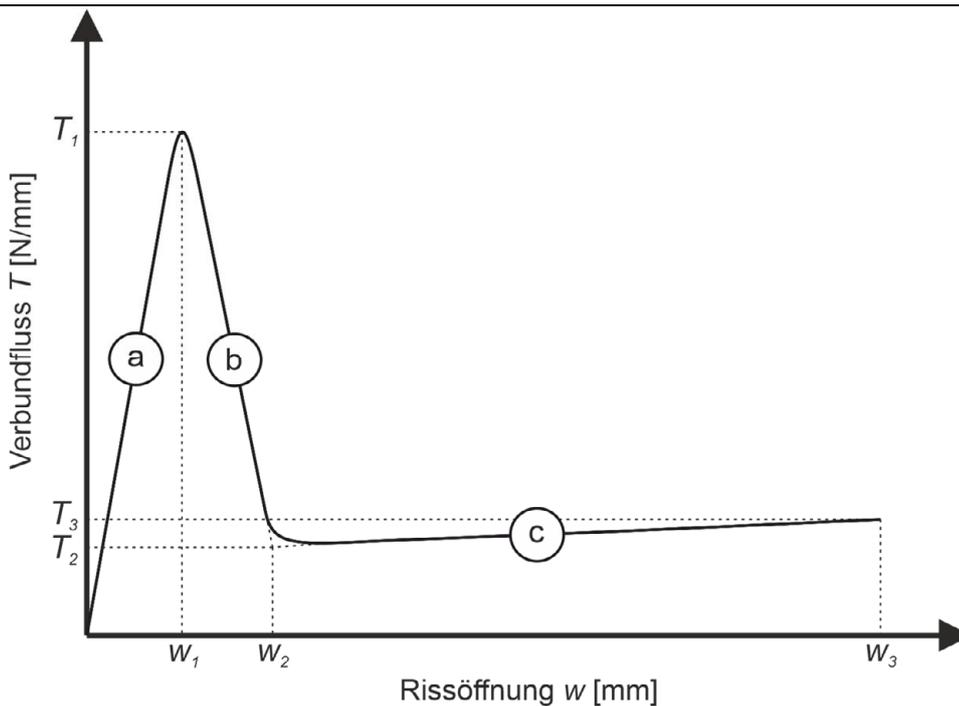


Bild A1-8: Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungskurve für Typ 1

Während sich die Punkte  $T_1$  und  $T_2$  beim Erreichen des Größtwertes des Auszugswiderstandes sowie beim Übergang vom abfallenden Ast (b) zum Bereich (c) ergeben, beschreibt der Punkt  $T_3$  den Auszugswiderstand im Abschnitt (c) bei einer festgelegten Rissöffnung  $w_3$  von 1,50 mm.

Der Verbundfluss errechnet sich nach Gl. (3.2).

$$T(w) = F_G(w) / l_E \quad (\text{Gl. 3.2})$$

Die charakteristischen Punkte  $T_2$  und  $T_3$  der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen (siehe Bild A1-8) dürfen folgende Werte nicht unterschreiten:

Mittelwert aus den letzten 10 Proben  $T_{2,m}; T_{3,m} \geq 4,72 \text{ N/mm}$

Zusätzlich wird für den charakteristischen Punkt  $T_1$  der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen eine Obergrenze definiert.

Mittelwert aus den letzten 10 Proben  $T_{1,m} \leq 30,2 \text{ N/mm}$

Quelle: LORENZ, E.; SCHÜTZE, E.; SCHLADITZ, F.; CURBACH, M.: Textilbeton – Grundlegende Untersuchungen im Überblick. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013), Heft 10, S. 711-722. doi: 10.1002/best201300041

### 3.8 Auswertung und Materialkennwerte – Carbongitter (Typ 1 und 3)

Ein Versuch ist gültig, wenn es zu einem Faserstrangauszug aus der Betonmatrix kommt. Alle weiteren Versagensarten sind als nicht gültig zu kennzeichnen.

Das Eigengewicht der oberen Lasteinleitung sowie des oberen Probenteils muss für die Ermittlung der tatsächlichen Auszugskraft  $F_G$  durch eine Korrektur der gemessenen Maschinenkraft  $F$  gemäß Gl. (3.1) berücksichtigt werden.

<p><b>CARBOrefit®</b> - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton</p>	<p>Anlage 1                  Seite 14 von 18</p>
<p>Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung                  Tränkungsmitel und Carbongitter</p>	

Aus den aufgezeichneten Daten werden Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen abgeleitet. Aus den Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen wird durch rechnerische Verfahren für die in Tabelle 2.1 der "Besondere Bestimmungen" für das jeweilige Carbongitter (Typ 1 und 3) eine Verankerungslänge  $l_{b,calc,i}$  bestimmt. Aus der rechnerisch ermittelten Verankerungslänge  $l_{b,calc,i}$  wird ein über die Verankerungslänge gemittelter Verbundfluss  $T_{nm,i}$  nach Gleichung 3.3 bestimmt.

$$T_{nm,i} = A_{f,nm} \cdot f_{f,nm,k} / l_{b,calc,i} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

mit:

- $T_{nm,i}$  über die Verankerungslänge gemittelter Verbundfluss für eine Einzelprobe
- $f_{f,nm,k}$  Charakteristische Zugfestigkeit
- $l_{b,calc,i}$  rechnerische Verankerungslänge für eine Einzelprobe
- $A_{f,nm}$  Querschnittfläche

Aus Gl. 3.3 und der Auswertung nach Abschnitt 5 ergibt sich der charakteristische Verbundfluss  $T_{nm,k}$ , der die Angaben nach Tabelle 2.1 der "Besondere Bestimmungen" erfüllen muss.

Der Rechenwert der Endverankerungslänge wird in Abhängigkeit des Verlaufs der Verankerungskraft-Verankerungslängen-Funktion eines Faserstrangs definiert. Der Rechenwert der Endverankerungslänge  $l_{b,calc,i}$  entspricht der x-Koordinate des Schnittpunkts der Verankerungskraft-Verankerungslängen-Funktion mit der Kraft, bei welcher die charakteristische Faserspannung  $f_{f,nm,k}$  erreicht ist. Der Verlauf der Verankerungskraft-Verankerungslängen-Funktion muss den charakteristischen Verlauf nach Bild A1-9 (links) aufweisen. Andere charakteristischer Verläufe sind nicht anzuwenden.

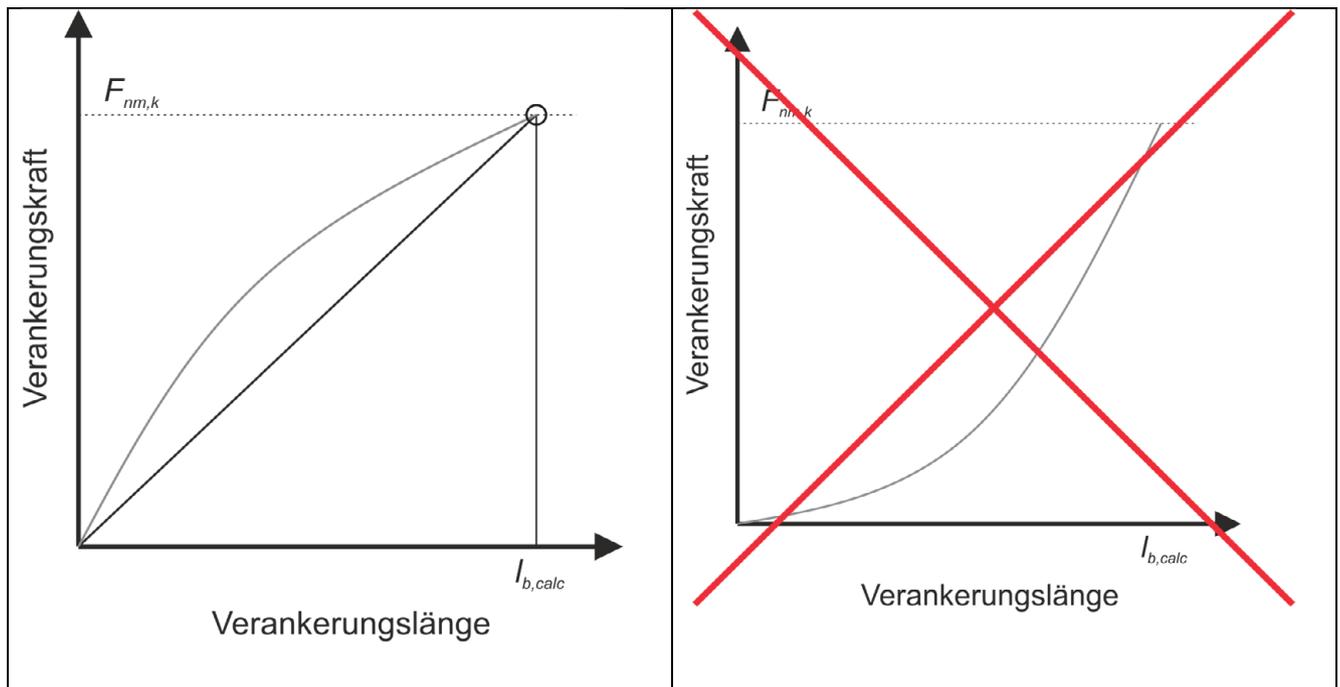


Bild A1-9: Exemplarische Verankerungskraft-Verankerungslängen-Funktionen:  
 links: zulässige charakteristische Kurve; rechts: beispielhaft dargestellte nicht zulässige Kurve

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
 Seite 15 von 18

Die Funktion kann durch Bestimmung der lokalen Verbundkraft-Schlupf-Beziehung und Lösung der Differentialgleichung (DGL) des verschieblichen Verbundes oder durch numerische Verfahren (z. B. abschnittsweise Integration), sofern die Verfahren wissenschaftlich belegt sind, bestimmt werden. Zur Berechnung der Verankerungslänge darf die vereinfachte Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes unter Vernachlässigung der Differenzverschiebung des Betons verwendet werden. Bei der Bestimmung der lokalen Verbundkraft-Schlupf-Beziehung und Lösung der Differentialgleichung (DGL) des verschieblichen Verbundes dürfen keine sich positiv auf die Verankerungslänge ergebenden Einflussfaktoren (u. a. mittragende Anteile aus dem Betonsteg) angesetzt werden.

Zur Bestimmung der Verankerungslänge sind folgende Parameter zu verwenden:

$$E_{f, nm} = 206.667 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Gl. 3.4})$$

$$s_{ge} = 3 \text{ mm} \quad (\text{Gl. 3.5})$$

$$s_{fe} < s_{ge} \quad (\text{Gl. 3.6})$$

mit:

$E_{f, nm}$  E-Modul  
 $s_{ge}$  max. zulässiger Schlupf am belasteten Ende  
 $s_{fe}$  Schlupf am unbelasteten Ende

## 4. Prüfung des Carbongitters in Verbindung mit dem Feinbeton – Verbundtragverhalten anhand von Übergreifungsversuchen

### 4.1 Allgemeines

Die Prüfung der Verankerungslänge des Carbongitters in Verbindung mit dem Feinbeton kann mittels Übergreifungsversuchen erfolgen, alternativ zu Abschnitt 3.

Mit diesem Prüfverfahren wird das Verbundverhalten von Carbongittern im Beton unter einaxialer Zugbeanspruchung überprüft. Die Verankerungslänge wird bei diesem Verfahren indirekt über die Übergreifungslänge bestimmt.

### 4.2 Anwendungsgebiete

Die Prüfung kann für die in dieser Zulassung beschriebenen Gitter angewendet werden.

### 4.3 Probekörper

Die Probekörper werden analog zu Abschnitt 2 hergestellt. Davon abweichende Regelungen werden nachfolgend beschrieben.

Der Übergreifungsstoß ist sowohl in Richtung der Probendicke als auch in Probenbreite und Probenlänge symmetrisch anzuordnen. Die Carbongitter und die Maschen der Gitter sind dabei genau übereinander zu positionieren.

Gemäß Bild A1-3 bzw. A1-4 muss die Länge der Probe mindestens 1200 mm bzw. 500 mm betragen. Sie besteht aus einem Übergreifungsstoß, dem Übergangsbereich zwischen Übergreifungs- und Klemmbereich und dem Klemmbereich sowie gegebenenfalls einer freien Probenlänge. Der Untersuchungsbereich, bestehend aus Übergreifungs- und Übergangsbereichen, hat dabei ein Verhältnis von Länge zu Breite von mindestens 3:1.

Der Übergreifungsbereich für Typ 1 beträgt 500 mm und 250 mm für das Carbongitter vom Typ 3.

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmittel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 16 von 18

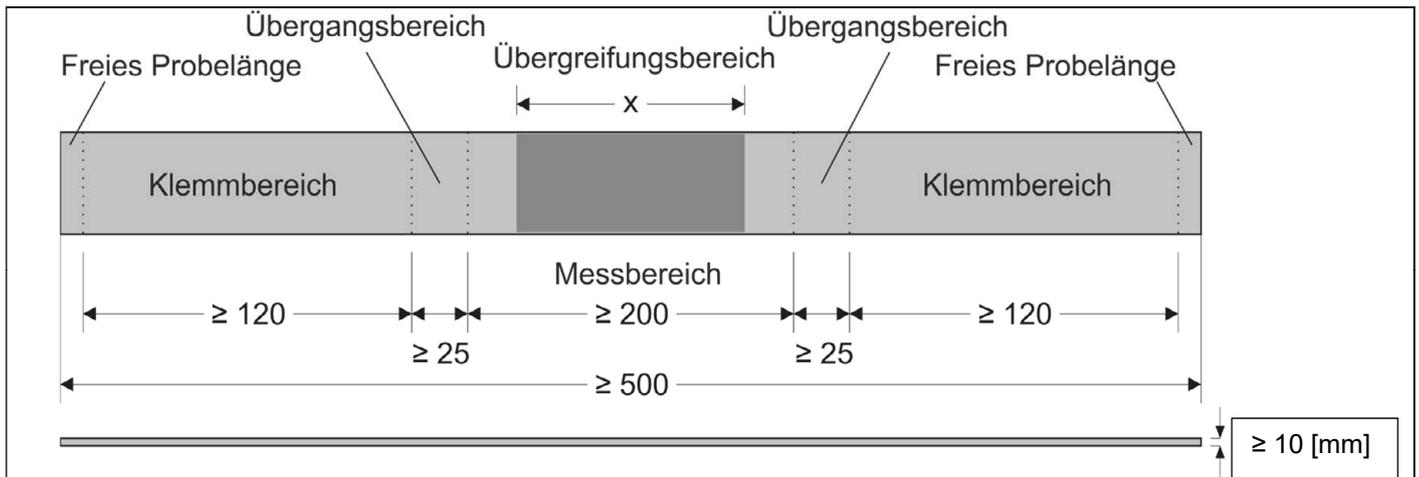


Bild A1-9: Probekörper Übergreifungsversuch

#### 4.4 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entspricht dem von Abschnitt 2.4.

#### 4.5 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung entspricht der von Abschnitt 2.5.

Die Belastung erfolgt weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von 1 mm/min bis zum Versagen des Probekörpers oder bis zu einer Rissöffnung von mindestens 10 mm.

#### 4.6 Versuchsbericht

Zusätzlich zu den Angaben aus Abschnitt 2.6 ist die Verformung bzw. die Längenänderung im gesamten Messbereich und im Bereich der Übergreifungslänge zu messen.

Zusätzlich zu dokumentieren ist neben den Angaben aus Abschnitt 2.6 die Übergreifungslänge. Im Unterschied 2.6 sind nicht die Materialkennwerte nach 2.7, sondern nach 4.7 zu dokumentieren.

#### 4.7 Auswertung und Materialkennwerte

Bei der Bewertung der Versagensarten kann zwischen 3 Fällen unterschieden werden:

- Versagen I: Bruch der Bewehrung im Untersuchungsbereich → gültig
- Versagen II: Bewehrungsbruch innerhalb der Klemmlänge → ungültig
- Versagen III: Faserstrangauszug → gültig

Der Versuch ist als gültig zu werten, wenn Versagen I oder III eintritt. Alle anderen Versagen sind als ungültig zu kennzeichnen.

Die Carbongitterspannung  $\sigma_{f, nm}$  wird wie folgt ermittelt.

$$\sigma_{f, nm} = \frac{F_{u, red}}{A_{f, nm}} \quad (\text{Gl. 4.1})$$

mit:

- $\sigma_{f, nm}$  Faserstrangspannung
- $F_{u, red}$  Bruchkraft, korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung
- $A_{f, nm}$  Querschnittfläche

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Bewehrungstextil

Anlage 1  
 Seite 17 von 18

Der über die Übergreifungslänge  $l_{\text{ver}}$  gemittelte Verbundfluss ergibt sich zu:

$$T_{\text{nm},i} = \frac{A_{f,\text{nm}} \cdot \sigma_{f,\text{nm}}}{l_{\text{ver}}} \quad (\text{Gl. 4.2})$$

mit:

$T_{\text{nm},i}$  über die Übergreifungslänge gemittelter Verbundfluss der einzelnen Probe  
 $l_{\text{ver}}$  Übergreifungslänge

Aus Gl. 4.2 und der Auswertung nach Abschnitt 5 ergibt sich der charakteristische Verbundfluss  $T_{\text{nm},k}$ , der die Angaben nach Tabelle 2.1 der "Besondere Bestimmungen" erfüllen muss.

## 5. Statistische Auswertung der experimentellen Ermittlung des Zug- und Verbundtragverhaltens

Aus den Versuchen einer Stichprobe sind der Schätzwert des Mittelwerts und des charakteristischen Wertes abzuleiten.

Die Bestimmung des Schätzwertes des charakteristischen Werts (5%-Quantil) erfolgt entsprechend DIN EN 1990, Abschnitt D.7.2. Es kann der Fall „ $V_x$  bekannt“ (bekannter Variationskoeffizient) mit  $V_x=0,1$  zugrunde gelegt werden, wenn der Variationskoeffizient der Stichprobe den Wert von  $V_x = 0,10$  nicht überschreitet und die Approximation einer Normalverteilung anhand der Versuchsdaten der herangezogenen Stichprobe statistisch begründet ist. Damit ergibt sich für den Schätzwert der charakteristischen Festigkeit  $f_{\text{nm},k}$  und des charakteristischen Verbundflusses  $T_{\text{nm},k}$ :

$$f_{\text{nm},k} = f_{\text{nm},m} \cdot (1 - k_n \cdot V_x) \quad (\text{Gl. 5.1})$$

$$T_{\text{nm},k} = T_{\text{nm},m} \cdot (1 - k_n \cdot V_x) \quad (\text{Gl. 5.2})$$

Bei Einhaltung der oben genannten Bedingung darf zur Bestimmung von  $k_n$  die erste Zeile der Tabelle D.1 aus DIN EN 1990:2010-12 angewendet werden. Für die Versuchsanzahl von  $n = 5$  ergibt sich damit der Faktor  $k_n = 1,80$  und für eine Versuchsanzahl von  $n = 10$  der Faktor  $k_n = 1,72$ .

Tabelle 1: Werkseigene Produktionskontrolle der Ausgangsstoffe des Feinbetons

	1	2	3	4
	Gegenstand der Prüfung	Prüfung	Anforderung	Häufigkeit
1	Zement	Lieferschein und Verpackungsaufdruck bzw. Silozettel	Bezeichnung und Festigkeitsklasse gemäß den beim DIBt hinterlegten Angaben, Unterlagen zur Konformitätsbewertung	Jede Lieferung
2	Gesteinskörnung	Lieferschein <sup>a, b</sup> und Unterlagen zur Bescheinigung der Konformität, Sichtprüfung auf Art der Gesteinskörnung	Art und Herkunft gemäß den beim DIBt hinterlegten Angaben	Jede Lieferung
3		Kornzusammensetzung, Siebanalyse nach DIN EN 933-1	Übereinstimmung der Korngruppen mit den beim DIBt hinterlegten Korngrößenverteilungen	Jede Lieferung
4		Prüfung auf Verunreinigungen und schädliche Bestandteile gemäß DIN EN 12620 unter Berücksichtigung von DIN 1045-2	Einhalten der Bestimmungen von DIN EN 12620 unter Berücksichtigung von DIN 1045-2 Übereinstimmung mit der bestellten Korngruppe, Kornform, ausreichende Kornfestigkeit, keine Verunreinigungen	Jede Lieferung
5		Restfeuchte	Restfeuchte i. M. $\leq 0,1$ M.-% (Einzelwert $\leq 0,2$ M.-%)	Jeder Produktionstag und vor erster Herstellung
6	Gesteinskörnung nach Trocknung	Kornzusammensetzung, Siebanalyse nach DIN EN 933-1	Einhaltung der werkseitig vorgegebenen Zusammensetzung der Korngruppen	Mindestens je 1000 t bzw. alle 5 Produktionstage
7	Zusatzmittel <sup>c</sup>	Prüfung des Lieferscheins <sup>b</sup> und der Beschriftung auf dem Behälter nach DIN EN 934-6	Sicherstellen, dass die Lieferung der Bestellung hinsichtlich Bezeichnung und Wirkungsgruppe entspricht. Unterlagen zur Konformitätsbewertung	Jede Lieferung
8	Zusatzstoffe, pulverförmig <sup>c</sup>	Prüfung des Lieferscheins <sup>b</sup>	Sicherstellen, dass die Lieferung der Bestellung entspricht und die richtige Herkunft hat, Unterlagen zur Konformitätsbewertung	Jede Lieferung

<sup>a</sup> Der Lieferschein oder das Produktdatenblatt muss auch Angaben über den Höchstchloridgehalt enthalten sowie eine Klassifizierung hinsichtlich der Alkali-Kieselsäure-Reaktion nach der DAfStb Alkali-Richtlinie.

<sup>b</sup> Dem Lieferschein muss eine Leistungserklärung des Herstellers, wie in der entsprechenden Norm oder Festlegung gefordert, beigelegt sein.

<sup>c</sup> Es wird empfohlen, Proben bei jeder Lieferung zu entnehmen und zu lagern.

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Werkseigenen Produktionskontrolle des Feinbetons

Anlage 2  
Seite 1 von 4

Tabelle 2: Werkseigene Produktionskontrolle des Feinbetons

	1	2	3	4	5																					
	Gegenstand der Prüfung	Prüfung	Prüfnorm	Anforderung	Häufigkeit																					
1	Bestandteile der Trockenmischung	Granulometrie (Durchgänge in M.-%)	DIN EN 12192-1	<table border="1"> <tr> <td>Ø</td> <td>min %</td> <td>max %</td> </tr> <tr> <td>2 mm</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1 mm</td> <td>95</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>0,5 mm</td> <td>71,7</td> <td>81,7</td> </tr> <tr> <td>0,25 mm</td> <td>51,7</td> <td>61,7</td> </tr> <tr> <td>0,125 mm</td> <td>44,5</td> <td>54,5</td> </tr> <tr> <td>0,063 mm</td> <td>40,9</td> <td>50,9</td> </tr> </table>	Ø	min %	max %	2 mm	100	100	1 mm	95	100	0,5 mm	71,7	81,7	0,25 mm	51,7	61,7	0,125 mm	44,5	54,5	0,063 mm	40,9	50,9	Jede zehnte Charge, alle 50 t, mindestens einmal je Produktionstag
Ø	min %	max %																								
2 mm	100	100																								
1 mm	95	100																								
0,5 mm	71,7	81,7																								
0,25 mm	51,7	61,7																								
0,125 mm	44,5	54,5																								
0,063 mm	40,9	50,9																								
2	Frischbeton	Ausbreitmaß t = 10 Minuten	DIN EN 1015-3	17 cm bis 21 cm.																						
3		Rohdichte t = 10 Minuten	DIN EN 1015-6	2,07 kg/dm <sup>3</sup> bis 2,27 kg/dm <sup>3</sup>																						
4		Luftporengehalt t = 10 Minuten	DIN EN 1015-7	1,5 Vol.-% bis 4,5 Vol.-%																						
6	Festbeton	Biegezugfestigkeit <sup>1</sup>	DIN EN 196-1	<table border="1"> <tr> <td>24h</td> <td>≥ 3,0 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>7d</td> <td>≥ 5,0 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>28d</td> <td>≥ 6,0 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> </table>	24h	≥ 3,0 N/mm <sup>2</sup>	7d	≥ 5,0 N/mm <sup>2</sup>	28d	≥ 6,0 N/mm <sup>2</sup>	Jede zehnte Charge, nach jeweils 50 t, mindestens einmal je Produktionstag. Je nachdem welche Variante die häufigsten Prüfungen erfordert															
24h		≥ 3,0 N/mm <sup>2</sup>																								
7d		≥ 5,0 N/mm <sup>2</sup>																								
28d	≥ 6,0 N/mm <sup>2</sup>																									
7	Druckfestigkeit <sup>1</sup>	DIN EN 196-1 Lagerung der Probekörper gemäß DIN EN 12390-2, Anhang NA.	<table border="1"> <tr> <td>24h</td> <td>≥ 15,0 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>7d</td> <td>≥ 40,0 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>28d</td> <td>≥ 80,0 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> </table>	24h	≥ 15,0 N/mm <sup>2</sup>	7d	≥ 40,0 N/mm <sup>2</sup>	28d	≥ 80,0 N/mm <sup>2</sup>																	
24h	≥ 15,0 N/mm <sup>2</sup>																									
7d	≥ 40,0 N/mm <sup>2</sup>																									
28d	≥ 80,0 N/mm <sup>2</sup>																									
8	Rohdichte	DIN EN 1015-10	1,95 kg/dm <sup>3</sup> bis 2,15 kg/dm <sup>3</sup>																							
9		Gehalt an Zusatzstoffen	Aufzeichnen der zugegebenen Menge	Überprüfen des Gehaltes in Übereinstimmung mit den beim DIBt hinterlegten Angaben	Jede Charge																					
10		Gehalt an Zusatzmittel	Aufzeichnen der zugegebenen Menge		Jede Charge																					

<sup>1</sup> Mittelwert eines Prismensatzes, mindestens drei Prismensätze

### Fremdüberwachung des Feinbetons

Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle und alle Prüfungen nach Tabellen 1 und 2 stichprobenartig.

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Werkseigene Produktionskontrolle des Feinbetons

Anlage 2  
Seite 2 von 4

Tabelle 3: Kontrolle der Werksausstattung

	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
	<b>Gegenstand der Prüfung</b>	<b>Prüfung</b>	<b>Anforderungen</b>	<b>Häufigkeit</b>
1	Abmessvorrichtung für den Zement	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Je Herstelltag
			Einhalten der Sollmasse mit einer Genauigkeit von 3 %	Vor Beginn der Herstellung, dann mindestens monatlich
2	Abmessvorrichtung für die Gesteinskörnung	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Je Herstelltag
			Einhalten der Sollmasse mit einer Genauigkeit von 3 %	Vor Beginn der Herstellung, dann mindestens monatlich
3	Abmessvorrichtung für die Betonzusatzstoffe	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Je Herstelltag
			Einhalten der Sollmasse mit einer Genauigkeit von 3 %	Vor Beginn der Herstellung, dann mindestens monatlich
4	Abmessvorrichtung für die Betonzusatzmittel	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Je Herstelltag
			Einhalten der Sollmasse oder der Sollmenge mit einer Genauigkeit von 3 %	Vor Beginn der Herstellung, dann mindestens monatlich
5	Mischwerkzeuge	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Vor Beginn der Herstellung, dann mindestens monatlich
6	Abfüllvorrichtungen	Funktionskontrolle	Innerhalb der Verkehrsfehlergrenzen gemäß Eichgesetz	Mindestens je Herstelltag
7	Mess- und Laborgeräte	Funktionskontrolle	Ausreichende Messgenauigkeit	Vor Inbetriebnahme, dann in angemessenen Zeitspannen

**CARBOrefit®** - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Werkseigene Produktionskontrolle des Feinbetons

Anlage 2  
Seite 3 von 4

Normative Verweise:

DIN EN 12620:2008-07	Gesteinskörnungen für Beton; Deutsche Fassung EN 12620:2002+A1:2008
DIN V 18004:2004-04	Anwendungen von Bauprodukten in Bauwerken - Prüfverfahren für Gesteinskörnungen nach DIN V 20000-103 und DIN V 20000-104
DIN 1045-2:2008-08	DIN 1045-2:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
DIN EN 933-1:2012-03	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren; Deutsche Fassung EN 933-1:2012
DIN EN 934-6:2006-03	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle und Bewertung der Konformität; Deutsche Fassung EN 934-6:2001 + A1:2005
DIN EN 12192-1:2002-09	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Korngrößenverteilung - Teil 1: Prüfverfahren für Trockenkomponenten von Fertigmörtel; Deutsche Fassung EN 12192-1:2002
DIN EN 12390-2:2019-10	Prüfung von Festbeton - Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen; Deutsche Fassung EN 12390-2:2019
DIN EN 1015-3:2007-05	Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch); Deutsche Fassung EN 1015-3:1999 + A1:2004 + A2:2006
DIN EN 1015-6:2007-05	Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel; Deutsche Fassung EN 1015-6:1998 + A1:2006
DIN EN 1015-7:1998-12	Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 7: Bestimmung des Luftgehaltes von Frischmörtel; Deutsche Fassung EN 1015-7:1998
DIN EN 1015-10:2007-05	Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 10: Bestimmung der Trockenrohddichte von Festmörtel; Deutsche Fassung EN 1015-10:1999 + A1:2006
DIN EN 196-1:2016-11	Prüfverfahren für Zement; Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; Deutsche Fassung EN 196-1:2016
Richtlinie SIB des DAfStb	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): "DAfStb Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen Oktober 2001" Berlin: Beuth, 2001 (Vertriebs Nr. 65030) und Berichtigung – Januar 2002 -; 2. Berichtigung - Dezember 2005 -; 3. Berichtigung September 2014 – ( <a href="http://www.dafstb.de/application/BerichtigungRL-SIB2001-10_2002-01.pdf">http://www.dafstb.de/application/BerichtigungRL-SIB2001-10_2002-01.pdf</a> , <a href="http://www.dafstb.de/application/ZweiteBerichtigungRL-SIB2001-10_2005-12.pdf">http://www.dafstb.de/application/ZweiteBerichtigungRL-SIB2001-10_2005-12.pdf</a> , <a href="http://www.dafstb.de/application/3_Berichtigung_Spritzmoertel_Vergussbeton2014-09-12_Internet.pdf">http://www.dafstb.de/application/3_Berichtigung_Spritzmoertel_Vergussbeton2014-09-12_Internet.pdf</a> )

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Werkseigene Produktionskontrolle des Feinbetons

Anlage 2  
Seite 4 von 4

Tabelle 1: Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle

	1	2	3	4
	Gegenstand der Prüfungen	Prüfverfahren	Anforderung	Häufigkeit der Prüfung
1	Trockenmischung	Angaben auf dem Gebinde oder Begleitzettel	Augenscheinprüfung/ Übereinstimmung mit der Systembezeichnung	Jede Lieferung
2	Zugabewasser	Prüfung nach DIN EN 1008	Sicherstellen, dass das Wasser frei von betonschädlichen Bestandteilen ist	Sofern es sich nicht um Trinkwasser handelt oder wenn eine neue Quelle erstmalig verwendet wird
3	Frischbeton	Sichtprüfung	Kein Bluten oder Separieren erkennbar	Jede Mischung
4		Frischbeton-konsistenz gemäß DIN EN 1015-3, Ausbreitmaß $t = 10$ Minuten	17 cm bis 21 cm	Bei Herstellung der Probekörper für die Festigkeitsprüfung sowie in Zweifelsfällen
5		Frischmörtel-Rohdichte nach DIN EN 1015-6	2,07 kg/dm <sup>3</sup> bis 2,27 kg/dm <sup>3</sup>	Je 100 m <sup>2</sup> , mindestens einmal je Arbeitstag
6	Erhärteter Feinbeton	Prüfung nach DIN EN 196-1 Lagerung der Probekörper gemäß DIN EN 12390-2 Anhang NA	Biegezugfestigkeit <sup>1</sup> : 7d mindestens 5,0 N/mm <sup>2</sup> 28d mindestens 5,5 N/mm <sup>2</sup>	Eine Prüfung je angefangene 250 m <sup>2</sup> oder mindestens 3 Prüfungen je Projekt
7		Prüfung nach DIN EN 196-1 Lagerung der Probekörper gemäß DIN EN 12390-2, Anhang NA	Druckfestigkeit <sup>1</sup> 7d mindestens 40,0 N/mm <sup>2</sup> 28d mindestens 72,0 N/mm <sup>2</sup>	
8		Rohdichte gemäß DIN EN 1015-10	1,95 kg/dm <sup>3</sup> bis 2,15 kg/dm <sup>3</sup>	Bei Prüfung der Druckfestigkeit
9		Haftzugfestigkeit am Bauwerk gemäß DIN EN 1542, entsprechend "Besondere Bestimmungen", Abschnitt 3.4.7.4	Versagen in der Altbetonschicht, Ausnahmen sind zulässig, wenn die Haftzugfestigkeit im Mittel über 3 N/mm <sup>2</sup> und der kleinste Wert über 2 N/mm <sup>2</sup> beträgt.	Drei Einzelprüfungen je angefangene 250 m <sup>2</sup> und mindestens 5 Prüfungen je Projekt, Mindestens drei Proben je Prüfung, Einzelprüfungen gleichmäßig über die Fläche verteilt.

<sup>1</sup> Anforderungen beziehen sich auf den Mittelwert eines Prismensatzes von mindestens drei Prismen

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle

Anlage 3  
Seite 1 von 3

Tabelle 1 (Fortsetzung): Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle

	1	2	3	4
	Gegenstand der Prüfungen	Prüfverfahren	Anforderung	Häufigkeit der Prüfung
10	Gesondert hergestellte Carbonbetonprüfkörper nach Anlage 1, Abschnitt 3 oder 4	Verbundprüfung entsprechend Anlage 1, Abschnitt 3 oder 4	Anforderungen gemäß Anlage 1, Abschnitt 3.8 oder 4.7	Eine Prüfung je angefangene 250 m <sup>2</sup> oder mindestens 3 Prüfungen je Projekt. Mindestens drei Proben je Prüfung

Tabelle 2: Kontrolle der Technischen Einrichtungen zur Prüfung und Herstellung des Feinbetons

	Gegenstand der Prüfungen	Prüfung	Anforderungen	Häufigkeit der Prüfung
1	Mess- und Laborgeräte	Funktionskontrolle	Ausreichende Messgenauigkeit und Ablesbarkeit	Bei Inbetriebnahme, dann monatlich
2	Abmessvorrichtung für das Trockengemisch (bei Großgebinden mit chargenweiser Entnahme)	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Jeder Herstelltag
			Einhalten der Sollmasse mit einer Genauigkeit von 3 M.-%	Monatlich
3	Abmessvorrichtung für Wasser und flüssige Betonzusatzmittel	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Jeder Herstelltag
			Einhalten der Sollmenge mit einer Genauigkeit von 3 %	Monatlich
4	Mischwerkzeuge	Funktionskontrolle	Einwandfreies Arbeiten	Je Herstelltag

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle

Anlage 3  
Seite 2 von 3

**Normative Verweise:**

- DIN EN 1015-3:2007-05 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch); Deutsche Fassung EN 1015-3:1999 + A1:2004 + A2:2006
- DIN EN 1015-6:2007-05 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel; Deutsche Fassung EN 1015-6:1998 + A1:2006
- DIN EN 1015-7:1998-12 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 7: Bestimmung des Luftgehaltes von Frischmörtel; Deutsche Fassung EN 1015-7:1998
- DIN EN 1015-10:2007-05 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 10: Bestimmung der Trockenrohddichte von Festmörtel; Deutsche Fassung EN 1015-10:1999 + A1:2006
- DIN EN 1008:2002-10 Zugabewasser für Beton - Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton; Deutsche Fassung EN 1008:2002
- DIN EN 12390-2:2019-10 Prüfung von Festbeton - Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen; Deutsche Fassung EN 12390-2:2019
- DIN EN 1542:1999-07 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch; Deutsche Fassung EN 1542:1999
- DIN EN 196-1:2016-11 Prüfverfahren für Zement; Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; Deutsche Fassung EN 196-1:2016
- Richtlinie SIB des DAfStb Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): "DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - Oktober 2001  
 Berlin: Beuth, 2001 (Vertriebs Nr. 65030)"  
 und  
 Berichtigung – Januar 2002 -; 2. Berichtigung - Dezember 2005 –; 3. Berichtigung September 2014 –  
 ( [http://www.dafstb.de/application/BerichtigungRL-SIB2001-10\\_2002-01.pdf](http://www.dafstb.de/application/BerichtigungRL-SIB2001-10_2002-01.pdf) ,  
[http://www.dafstb.de/application/ZweiteBerichtigungRL-SIB2001-10\\_2005-12.pdf](http://www.dafstb.de/application/ZweiteBerichtigungRL-SIB2001-10_2005-12.pdf) ,  
[http://www.dafstb.de/application/3\\_Berichtigung\\_Spritzmoertel\\_Vergussbeton2014-09-12\\_Internet.pdf](http://www.dafstb.de/application/3_Berichtigung_Spritzmoertel_Vergussbeton2014-09-12_Internet.pdf) )

<b>CARBOrefit®</b> - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 3 Seite 3 von 3
Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle	

## 1 Allgemeine Hinweise

Die Applikation des Feinbetons erfolgt im Dichtstrom-Nassspritzverfahren mit der "MAWO" Mörtel-Spritzdüse. Für den Auftrag des CARBOrefit® Feinbeton wird die MAWO-Düse in der Ausführung "Fein" verwendet.

Die gebrauchsfertige Feinbeton-Nassmischung wird mittels einer Mörtelpumpe bis zur MAWO-Düse gefördert und dort mit der zugeführten Druckluft ummantelt, beschleunigt und auf die Auftragsfläche gespritzt. Der Abstand der Spritzdüse zu Auftragsfläche sollte mindestens 30 cm betragen. Bauseitig ist für eine zuverlässige Funktion der Spritzdüse eine Druckluftbereitstellung von mindestens 5 m<sup>3</sup>/Minute erforderlich. Der Mantelluft-Druck ist gemäß den Empfehlungen in Abschnitt 3 einzustellen.

## 2 Beschreibung der MAWO-Düse

Die MAWO-Düse besteht aus der MAWO Mörtelzuführung in Abbildung 1 und der Düse in Abbildung 2. Die Abbildung 3 zeigt die MAWO Mantelluftstromdüse im gebrauchsfertigen Zustand. Die Anschlüsse der Spritzdüse haben folgende Abmessungen: 1" Außengewinde, Schlauchaufnahme DN 25 oder DN 35.



Bild 1: Mörtelzuführung



Bild 2: MAWO-Düse



Bild 3: MAWO Mantelluftstromdüse

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

MAWO Mantelstromdüse

Anlage 4  
Seite 1 von 2

### 3 Empfehlungen zur Einstellung des Mantelluft-Drucks

Die Einstellung der Druckluftunterstützung bzw. des Mantelluft-Drucks erfolgt durch den Düsenführer je nach Lage des Bauteils und nach Abstand der Düse zur Spritzunterlage. Nachfolgend wird ein bauseitig durchzuführendes Näherungsverfahren zur Überprüfung des Mantelluft-Drucks vorgestellt.

Die Prüfung erfolgt ohne Spritzgut. Es wird der Luftdruck im Bereich der Mantelstromdüse eingestellt. Der Luftstrom wird in einen Eimer mit einem Abstand zum Eimerboden von ca. 30 cm, mittig eingeleitet. Die Höhe des Eimers soll ca. 25 cm und der Durchmesser ca. 27,5 cm betragen. Die aus dem Luftstrom resultierende Druckkraft wird mittels einer digitalen Waage bestimmt. Die Waage ist nach Aufsetzen des Eimers zu tarieren. Der Versuchsaufbau ist in Bild 4 dargestellt. Der maximal zulässige Mantelluft-Druck beträgt 0,75 bar, was einem Anzeigewert der Waage von 390 g entspricht.



Bild 4: Versuchsanordnung zur Einstellung des Mantelluft-Drucks

Die nachstehende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen Mantelluft-Druck und Anzeigewert der Waage.

Tabelle 1: Anzeigewert der Digitalwaage und Mantelluft-Druck.

Anzeige in Gramm	Mantelluft-Druck in bar
130	0,25
260	0,50
390	0,75

**Vorwort**

(aBG 1) Das Präfix aBG kennzeichnet in dieser Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung die zur DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup>, ergänzten Abschnitte, Absätze, Bilder, Tabellen und Gleichungen.

(aBG 2) Diese Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung regelt die Bemessung der Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton.

(aBG 3) Diese Anlage ist inhaltlich entsprechend DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup> aufgebaut. Soweit nachfolgend nicht anders geregelt, gelten die entsprechenden Abschnitte von DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>	DIN EN 1992-1-1:2011-01	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010
	DIN EN 1992-1-1/A1:2015-03	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004/A1:2014
<sup>2</sup>	DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Änderung A1

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 1 von 32
Bemessung und Konstruktion	

## Inhalt

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES</b>	<b>10</b>
1.1	Anwendungsbereich	10
1.1.1	Anwendungsbereich des Eurocode 2 .....	10
1.1.2	Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1 .....	10
aBG 1.1.3	Anwendungsbereich der allgemeinen Bauartgenehmigung .....	10
1.2	Normative Verweisungen	10
1.2.1	Allgemeine normative Verweisungen .....	10
1.2.2	Weitere normative Verweisungen.....	10
1.3	Annahmen	11
1.4	Unterscheidungen zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln	11
1.5	Begriffe	11
1.5.1	Allgemeines .....	11
1.5.2	Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm.....	11
1.6	Formelzeichen	11
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN DER TRAGWERKSPLANUNG</b>	<b>12</b>
2.1	Anforderungen	12
2.1.1	Grundlegende Anforderungen .....	12
2.1.2	Behandlung der Zuverlässigkeit .....	13
2.3	Basisvariablen	13
2.3.1	Einwirkungen und Umgebungseinflüsse.....	13
2.3.2	Eigenschaften von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen.....	13
2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	14
2.4.1	Allgemeines .....	14
2.4.2	Bemessungswerte .....	14
2.4.3	Kombinationsregeln für Einwirkungen .....	14
2.4.4	Nachweis der Lagesicherheit.....	14
2.5	Versuchsgestützte Bemessung	14
2.6	Zusätzliche Anforderungen an Gründungen	14
2.7	Anforderungen an Befestigungsmittel	14
NA.2.8	Bautechnische Unterlagen	14
NA.2.8.1	Umfang der bautechnischen Unterlagen.....	14
CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton		Anlage 5 Seite 2 von 32
Bemessung und Konstruktion		

NA.2.8.2	Zeichnungen .....	15
NA.2.8.3	Statische Berechnungen .....	15
NA.2.8.4	Baubeschreibung .....	15
<b>3</b>	<b>BAUSTOFFE</b>	<b>15</b>
3.1	Beton	15
3.1.1	Allgemeines .....	15
3.1.2	Festigkeiten .....	15
3.1.3	Elastische Verformungseigenschaften .....	15
3.1.4	Kriechen und Schwinden .....	15
3.1.5	Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen.....	15
3.1.6	Bemessungswert der Betondruck- und Betonzugfestigkeit .....	15
3.1.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung.....	15
3.1.8	Biegezugfestigkeit.....	15
3.1.9	Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung .....	16
3.2	Betonstahl	16
3.2.1	Allgemeines .....	16
3.2.2	Eigenschaften .....	16
3.2.3	Festigkeiten	16
3.2.4	Duktilitätsmerkmale	16
3.2.5	Schweißen	16
3.2.6	Ermüdung	16
3.2.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	16
<b>3.3</b>	<b>Spannstahl</b>	<b>16</b>
3.3.1	Allgemeines	16
3.3.2	Eigenschaften	16
3.3.3	Festigkeiten	16
3.3.4	Duktilitätseigenschaften	17
3.3.5	Ermüdung	17
3.3.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	17
3.3.8	Spannstähle in Hüllrohren	17
<b>3.4</b>	<b>Komponenten von Spannsystemen</b>	<b>17</b>
3.4.1	Verankerungen und Spanngliedkopplungen.....	17

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 3 von 32
Bemessung und Konstruktion	

3.4.2	Externe Spannglieder ohne Verbund.....	17
aBG 3.5	Baustoffe für eine Verstärkung mit Carbonbeton	17
aBG 3.6	Zu verstärkendes Bauteil	18
<b>4</b>	<b>DAUERHAFTIGKEIT UND BETONDECKUNG</b>	<b>19</b>
4.1	Allgemeines	19
4.2	Umgebungsbedingungen	19
4.3	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit	19
4.4	Nachweisverfahren	19
4.4.1	Betondeckung.....	19
<b>5</b>	<b>ERMITTLUNG DER SCHNITTGRÖßEN</b>	<b>19</b>
5.1	Allgemeines	19
5.1.1	Grundlagen.....	19
5.1.2	Besondere Anforderungen an Gründungen.....	19
5.1.3	Lastfälle und Einwirkungskombinationen.....	19
5.1.4	Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung).....	19
5.2	Imperfektionen	20
5.3	Idealisierungen und Vereinfachungen	20
5.3.1	Tragwerksmodelle für statische Berechnungen.....	20
5.3.2	Geometrische Angaben.....	20
5.4	Linear-elastische Berechnung	20
5.5	Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung	20
5.6	Verfahren nach der Plastizitätstheorie	20
5.6.1	Allgemeines.....	20
5.6.2	Balken, Rahmen und Platten.....	20
5.6.3	Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation.....	20
5.6.4	Stabwerkmodelle.....	20
5.7	Nichtlineare Verfahren	20
5.8	Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung	20
5.8.1	Begriffe.....	20
5.8.2	Allgemeines.....	20
5.8.3	Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung.....	20
5.8.4	Kriechen.....	21
5.8.5	Berechnungsverfahren.....	21

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 4 von 32
Bemessung und Konstruktion	

5.8.6	Allgemeines Verfahren .....	21
5.8.7	Verfahren mit Nennsteifigkeiten.....	21
5.8.8	Verfahren mit Nennkrümmung.....	21
5.8.9	Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte.....	21
5.9	Seitliches Ausweichen schlanker Träger	21
5.10	Spannbetontragwerke	21
5.10.1	Allgemeines .....	21
5.10.2	Vorspannkraft während des Spannvorgangs.....	21
5.10.3	Vorspannkraft nach dem Spannvorgang .....	21
5.10.4	Sofortige Spannkraftverluste bei sofortigem Verbund .....	21
5.10.5	Sofortige Spannkraftverluste bei nachträglichem Verbund.....	21
5.10.6	Zeitabhängige Spannkraftverluste bei sofortigem und nachträglichem Verbund.....	21
5.10.7	Berücksichtigung der Vorspannung in der Berechnung.....	21
5.10.8	Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	21
5.10.9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung .....	21
5.11	Berechnung für ausgewählte Tragwerke .....	22
aBG 5.12	Querzugnachweis am Ende der Carbonbetonschicht	22
<b>6</b>	<b>NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT (GZT)</b>	<b>22</b>
6.1	Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein	22
6.2	Querkraft	22
6.2.1	Nachweisverfahren .....	22
6.2.2	Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung.....	22
6.2.3	Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung.....	22
6.2.4	Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten .....	22
6.2.5	Schubkraftübertragung in Fugen .....	22
aBG 6.2.6	Schubkraftübertragung in Fugen .....	23
6.3	Torsion	23
6.3.1	Allgemeines .....	23
6.3.2	Nachweisverfahren .....	24
6.3.3	Wölbkrafttorsion.....	24
6.4	Durchstanzen	24
6.4.1	Allgemeines .....	24

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 5 von 32
Bemessung und Konstruktion	

6.4.2	Lasteinleitung und Nachweisschnitte.....	24
6.4.3	Nachweisverfahren .....	24
6.4.4	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung.....	24
6.4.5	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung .....	24
6.5	Stabwerkmodelle	24
6.5.1	Allgemeines .....	24
6.5.2	Bemessung der Druckstreben .....	24
6.5.3	Bemessung der Zugstreben .....	24
6.5.4	Bemessung der Knoten .....	24
6.6	Verankerung der Längsbewehrung und Stöße	24
6.7	Teilflächenbelastung	24
6.8	Nachweis gegen Ermüdung	24
6.8.1	Allgemeines .....	24
6.8.2	Innere Kräfte und Spannungen beim Nachweis gegen Ermüdung.....	25
6.8.3	Einwirkungskombinationen .....	25
6.8.4	Nachweisverfahren für Betonstahl und Spannstahl.....	25
6.8.5	Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Schwingbreiten.....	25
6.8.6	Vereinfachte Nachweise .....	25
6.8.7	Nachweis gegen Ermüdung des Betons unter Druck oder Querkraftbeanspruchung .....	25
<b>7</b>	<b>NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (GZG)</b>	<b>25</b>
7.1	Allgemeines	25
7.2	Begrenzung der Spannungen Beton, Betonstahl und Spannstahl	25
7.3	Begrenzung der Rissbreiten	25
7.3.1	Allgemeines .....	25
7.3.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite .....	25
7.3.3	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung .....	25
7.3.4	Berechnung der Rissbreite .....	25
7.4	Begrenzung der Verformungen	26
7.4.1	Allgemeines .....	26
7.4.2	Nachweis der Begrenzung der Verformungen ohne direkte Berechnung.....	26
7.4.3	Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung.....	26
<b>8</b>	<b>ALLGEMEINE BEWEHRUNGSREGELN</b>	<b>26</b>
8.1	Allgemeines	26

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 6 von 32
Bemessung und Konstruktion	

8.2	Stababstände von Betonstählen	26
8.3	Biegen von Betonstählen	26
8.4	Verankerung der Längsbewehrung	26
8.4.1	Allgemeines .....	26
8.4.2	Bemessungswert der Verbundfestigkeit .....	26
8.4.3	Grundwert der Verankerungslänge.....	27
8.4.4	Bemessungswert der Verankerungslänge .....	27
8.5	Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung	27
8.6	Verankerung mittels angeschweißter Stäbe	27
8.7	Stöße und mechanische Verbindungen	27
8.7.1	Allgemeines .....	27
8.7.2	Stöße .....	27
8.7.3	Übergreifungslänge .....	27
8.7.5	Stöße von Betonstahlmatten aus Rippenstahl.....	27
aBG 8.7.6	Übergreifungsstöße der Carbongitter .....	27
8.8	Zusätzliche Regeln bei großen Stabdurchmessern	27
8.9	Stabbündel	28
8.9.1	Allgemeines .....	28
8.9.2	Verankerung von Stabbündeln .....	28
8.9.3	Gestoßene Stabbündel.....	28
8.10	Spannglieder	28
8.10.1	Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren.....	28
8.10.2	Verankerung von Spanngliedern im sofortigen Verbund .....	28
8.10.3	Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund.....	28
8.10.4	Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder .....	28
8.10.5	Umlenkstellen .....	28
<b>9</b>	<b>KONSTRUKTIONSREGELN</b>	<b>28</b>
9.1	Allgemeines	28
9.2	Balken	28
9.2.1	Längsbewehrung .....	28
9.2.2	Querkraftbewehrung .....	29
9.2.3	Torsionsbewehrung .....	29

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 7 von 32
Bemessung und Konstruktion	

9.2.4	Oberflächenbewehrung .....	29
9.2.5	Indirekte Auflager .....	29
9.3	Vollplatten	29
9.3.1	Biegebewehrung .....	29
9.3.2	Querkraftbewehrung .....	29
9.4	Flachdecken	30
9.4.1	Flachdecken im Bereich von Innenstützen .....	30
9.4.2	Flachdecken im Bereich von Randstützen .....	30
9.4.3	Durchstanzbewehrung .....	30
9.5	Stützen	30
9.5.1	Allgemeines .....	30
9.5.2	Längsbewehrung .....	30
9.5.3	Querbewehrung .....	30
9.6	Wände	30
9.6.1	Allgemeines .....	30
9.6.2	Vertikale Bewehrung .....	30
9.6.3	Horizontale Bewehrung .....	30
9.6.4	Querbewehrung .....	30
9.7	Wandartige Träger	30
9.8	Gründungen	30
9.8.1	Pfahlkopfplatten .....	30
9.8.2	Einzel- und Streifenfundamente .....	30
9.8.3	Zerrbalken .....	30
9.8.4	Einzelfundament auf Fels .....	30
9.8.5	Bohrpfähle .....	31
9.9	Bereiche mit geometrischen Diskontinuitäten oder konzentrierten Einwirkungen (D-Bereiche)	31
9.10	Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen	31
9.10.1	Allgemeines .....	31
9.10.2	Ausbildung von Zugankern .....	31
9.10.3	Durchlaufwirkung und Verankerung von Zugankern .....	31
<b>10</b>	<b>ZUSÄTZLICHE REGELN FÜR BAUTEILE UND TRAGWERKE AUS FERTIGTEILEN</b>	<b>31</b>
<b>11</b>	<b>ZUSÄTZLICHE REGELN FÜR BAUTEILE UND TRAGWERKE AUS LEICHTBETON</b>	<b>31</b>
<b>12</b>	<b>TRAGWERKE AUS UNBEWEHRTEM ODER GERING BEWEHRTEM BETON</b>	<b>31</b>

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 8 von 32
Bemessung und Konstruktion	

<b>ANHANG A – MODIFIKATION VON TEILSICHERHEITSBEIWERTEN FÜR BAUSTOFFE</b>	<b>31</b>
<b>ANHANG B – KRIECHEN UND SCHWINDEN</b>	<b>31</b>
<b>ANHANG C – EIGENSCHAFTEN DES BETONSTAHL</b>	<b>31</b>
<b>ANHANG D – GENAUERE METHODE ZUR BERECHNUNG VON SPANNKRAFTVERLUSTEN AUS RELAXATION</b>	<b>31</b>
<b>ANHANG E – INDIKATIVE MINDESTFESTIGKEITSKLASSEN ZUR SICHERSTELLUNG DER DAUERHAFTIGKEIT</b>	<b>31</b>
<b>ANHANG F – GLEICHUNGEN FÜR ZUGBEWEHRUNG FÜR DEN EBENEN SPANNUNGSZUSTAND</b>	<b>31</b>
<b>ANHANG G – BODEN-BAUWERK-INTERAKTION</b>	<b>32</b>
<b>ANHANG H – NACHWEISE AM GESAMTTTRAGWERK NACH THEORIE II. ORDNUNG</b>	<b>32</b>
<b>ANHANG I – ERMITTLUNG DER SCHNITTGRÖßEN BEI FLACHDECKEN UND WANDSCHEIBEN</b>	<b>32</b>
<b>ANHANG J – KONSTRUKTIONSREGELN FÜR AUSGEWÄHLTE BEISPIELE</b>	<b>32</b>
<b>CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton</b>	Anlage 5 Seite 9 von 32
Bemessung und Konstruktion	

## 1 Allgemeines

### 1.1 Anwendungsbereich

#### 1.1.1 Anwendungsbereich des Eurocode 2

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 1.1.2 Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### aBG 1.1.3 Anwendungsbereich der allgemeinen Bauartgenehmigung

(aBG 1) Diese Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung enthält Grundregeln für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Verstärkungsmaßnahmen mit Carbonbeton für Tragwerke aus Beton und Stahlbeton.

(aBG 2) Diese Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung gilt nicht für:

- das Verstärken von Stahlbetonbauteilen aus Leichtbeton;
- das Verstärken von Stahlbetonbauteilen mit vorgespannten Faserverbundwerkstoffen.

(aBG 3) Die Anforderungen an Produkte und Systeme für das Verstärken von Betonbauteilen gemäß der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind zu beachten.

(aBG 4) Mit Carbonbeton dürfen vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile gemäß DIN EN 1990<sup>3</sup> in Verbindung mit DIN EN 1990/NA<sup>4</sup>, Abschnitte 1.5.3.11, 1.5.3.12 und 4.1 verstärkt werden.

(aBG 5) Für die Anwendung dieser Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung muss der Erwartungswert des Mittelwertes der Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$  nach Anlage 6 und nach DIN EN 1542<sup>5</sup> ermittelt werden und mindestens 1,0 N/mm<sup>2</sup> betragen.

### 1.2 Normative Verweisungen

#### 1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 1.2.2 Weitere normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung zusätzlich zu den in DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup> aufgeführten Dokumenten erforderlich.

DIN EN 1504-2<sup>6</sup>, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton*

3	DIN EN 1990:2010-12	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010
4	DIN EN 1990/NA:2010-12	Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
	DIN EN 1990/NA/A1:2012-08	Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Änderung A1
5	DIN EN 1542:1999-07	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch Deutsche Fassung EN1542:1999
6	DIN EN 1504-2:2005-01	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton; Deutsche Fassung EN 1504-2:2004

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 10 von 32

DIN EN 1542<sup>5</sup>, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch*

DIN V 18026<sup>7</sup>, *Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2<sup>6</sup>*

DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Ausgabe 2001

DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand - Beton und Betonstahl“

### 1.3 Annahmen

(aBG 2) Die Annahmen nach DIN EN 1990<sup>3</sup> in Verbindung mit DIN EN 1990/NA<sup>4</sup> und DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup> werden bei Anwendung dieser Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung vorausgesetzt. In dieser Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung sind ergänzende und abweichende Regeln zu DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup> für das Verstärken von Betonbauteilen mit Carbonbeton enthalten.

### 1.4 Unterscheidungen zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 1.5 Begriffe

#### 1.5.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 1.5.2 Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm

##### aBG 1.5.2.27 Feinbeton

Beton mit Größtkorn zwischen 1 mm bis 5 mm, der auf die Altbetonoberfläche im Handlaminierverfahren oder durch ein spezielles Spritzverfahren aufgetragen wird und in den die getränkte Carbongitter eingearbeitet wird.

##### aBG 1.5.2.28 Getränkte Carbongitter

Aus Carbongarnen in Kett- und Schussrichtung hergestelltes Gitter, das an den Kreuzungspunkten mit einem Wirkfaden vernäht wird. Im Anschluss an die Herstellung auf der Textilmaschine wird das Gitter mit einem Kunststoff getränkt. Diese Tränkung dient dem Verbund der Einzelfasern eines Garns untereinander.

### 1.6 Formelzeichen

Die folgenden Formelzeichen sind für die Anwendung dieser Anlage zusätzlich zu den in DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup> aufgeführten erforderlich.

#### Große lateinische Buchstaben

$A_{Kf, nm}$	Querschnittsfläche eines Garns in Kettrichtung
$A_{Sf, nm}$	Querschnittsfläche eines Garns in Schussrichtung
$T_{K, nm, k}$	charakteristischer Wert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung des im Feinbeton eingebundenen Carbongitters [N/mm]
$T_{K, nm, d}$	Bemessungswert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung des im Feinbeton eingebundenen Carbongitters [N/mm]

#### Kleine lateinische Buchstaben

<sup>7</sup> DIN V 18026:2006-06 Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2:2005-01

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 11 von 32

$a_{Kf, nm}$	Flächen der Carbonfasern in Kettrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Kettrichtung [mm <sup>2</sup> /m]
$a_{Sf, nm}$	Flächen der Carbonfasern in Schussrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Schussrichtung [mm <sup>2</sup> /m]
$f_{ctm, surf}$	Erwartungswert des Mittelwertes der Oberflächenzugfestigkeit des zu verstärkenden Betonbauteils (untere Vertrauensgrenze mit 95 % Zuverlässigkeit(einseitig))
$f_{Kf, nm, k}$	charakteristische Zugfestigkeit des Carbonbetons bezogen auf den Querschnitt der Carbonfasern in Kettrichtung
$f_{Kf, nm, d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit des Carbonbetons bezogen auf den Querschnitt der Carbonfasern in Kettrichtung
$s_{r, K}$	Schlupf des im Feinbeton eingebundenen Carbongitters in Kettrichtung

### Kleine griechische Buchstaben

$\alpha_{T, t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit der getränkten Carbongarne für Temperatureinwirkung
$\alpha_{T, b}$	Abminderungsfaktor für den Verbund der getränkten Carbongarne im Feinbeton bei Temperatureinwirkung
$\alpha_{t \infty, t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit der getränkten Carbongarne bei Dauerlast
$\alpha_{t \infty, b}$	Abminderungsfaktor für den Verbund der getränkten Carbongarne im Feinbeton bei Dauerlast
$\alpha_{D, t}$	Abminderungsfaktor für die dauerhafte Zugfestigkeit der getränkten Carbongarne
$\alpha_{D, b}$	Abminderungsfaktor für den dauerhaften Verbund der getränkten Carbongarne im Feinbeton
$\gamma_{nm}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Zugfestigkeit des Carbonbetons
$\gamma_{nm, b}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Verbund der getränkten Carbongarne im Feinbeton
$\epsilon_{nm, und, k}$	charakteristischer Dehnungswert zur Beschreibung der idealisierten bilinearen Materialkennlinie von Carbonbeton
$\epsilon_{nm, uk}$	charakteristischer Wert der Bruchdehnung des Carbonbetons
$\sigma_{nm, und, k}$	charakteristischer Wert der Spannung zur Beschreibung der idealisierten bilinearen Materialkennlinie von Carbonbeton
$n_K$	Anzahl der Garne in Kettrichtung, je m Breite senkrecht zur Kettrichtung
$n_S$	Anzahl der Garne in Schussrichtung, je m Breite senkrecht zur Schussrichtung

## 2 Grundlagen der Tragwerksplanung

### 2.1 Anforderungen

#### 2.1.1 Grundlegende Anforderungen

(aBG 4) Eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die verwendete Produktkombination (System) aus Feinbeton und Carbongitterbewehrung muss für den entsprechenden Anwendungsbereich vorhanden sein.

(aBG 5) Der Nachweis der am Ort der Verwendung geforderten Feuerwiderstandsfähigkeit eines Bauteils, das nach der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung verstärkt wurde, ist nach DIN EN

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 12 von 32

1992-1-2<sup>8</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-2/NA<sup>9</sup> ohne Anrechnung der Verstärkungswirkung des Carbonbetons zu führen. Wenn der Carbonbeton durch eine bauaufsichtlich zugelassene Brandschutzverkleidung vor der Temperatur- und Brandeinwirkung geschützt wird, ist dieser Nachweis nach den Regeln der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung zu führen.

## 2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Qualitätssicherung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 2.3 Basisvariablen

### 2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

#### 2.3.1.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 2.3.1.2 Temperatureuswirkungen

(aBG 4) Der Carbonbetonschicht dürfen oberhalb der Temperatur  $T_f$  nach den „Besonderen Bestimmungen“ der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / Allgemeinen Bauartgenehmigung, Abschnitt 1.2, keine Kräfte mehr zugewiesen werden.

ANMERKUNG: Für den Brandschutz der Carbonbetonschicht sind Brandschutzsysteme, die für die Brandschutzverkleidung von Carbonbetonverstärkungen allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind, zu verwenden.

#### 2.3.1.3 Setzungs-/Bewegungsunterschiede

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 2.3.1.4 Vorspannung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 2.3.2 Eigenschaften von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen

#### 2.3.2.1 Allgemeines

(aBG 3) Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil sind in Abschnitt aBG 3.6 enthalten.

(aBG 4) Die Anforderungen an die Produkte sowie die Systeme für die Verstärkung sind in den "Besonderen Bestimmungen" der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung enthalten.

#### 2.3.2.2 Kriechen und Schwinden

- |              |                               |  |
|--------------|-------------------------------|--|
| <sup>8</sup> | DIN EN 1992-1-2:2010-12       | Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004 + AC:2008                      |
| <sup>9</sup> | DIN EN 1992-1-2/NA:2010-12    | Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall;             |
|              | DIN EN 1992-1-2/NA/A1:2015-09 | Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; Änderung A1 |

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
 Seite 13 von 32

(aBG 4) Um übermäßiges Kriechen zu verhindern, werden die Dauerverbundfestigkeit und die maximale Anwendungstemperatur in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / Allgemeinen Bauartgenehmigung des jeweiligen Bausatzes vorgegeben.

2.3.3 Verformungseigenschaften des Betons

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

2.3.4 Geometrische Angaben

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten**

### **2.4.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **2.4.2 Bemessungswerte**

#### **2.4.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Schwinden**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **2.4.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Vorspannung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **2.4.2.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen beim Nachweis gegen Ermüdung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **2.4.2.4 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe**

(aBG 4) Für Verstärkungen aus Carbonbeton werden in Ergänzung zu DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> die Teilsicherheitsbeiwerte in den „Besonderen Bestimmungen“, Abschnitt 3.1 verwendet.

#### **2.4.2.5 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe bei Gründungen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **2.4.3 Kombinationsregeln für Einwirkungen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **2.5 Versuchsgestützte Bemessung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **2.6 Zusätzliche Anforderungen an Gründungen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **2.7 Anforderungen an Befestigungsmittel**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **NA.2.8 Bautechnische Unterlagen**

### **NA.2.8.1 Umfang der bautechnischen Unterlagen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 14 von 32

### NA.2.8.2 Zeichnungen

(aBG 5)P Die Bauteile sowie die Carbonbetonschichten sind auf den Zeichnungen eindeutig und übersichtlich darzustellen. Die Darstellungen müssen mit den Angaben in der statischen Berechnung übereinstimmen und alle für die Ausführung der Bauteile und für die Prüfung der Berechnungen erforderlichen Maße enthalten.

(aBG 6)P Auf den Ausführungsplänen sind insbesondere anzugeben:

- der erforderliche Erwartungswert des Mittelwertes der Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$ ;
- Bezeichnungen und Komponenten des Verstärkungssystems;
- Anzahl, Abmessungen und Lage der Carbonbetonschichten;
- gegebenenfalls besondere Maßnahmen zur Qualitätssicherung.

### NA.2.8.3 Statische Berechnungen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### NA.2.8.4 Baubeschreibung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 3 Baustoffe

### 3.1 Beton

#### 3.1.1 Allgemeines

(aBG 3)P Diese Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung darf nur für Bauteile aus Normalbeton angewendet werden (siehe auch aBG 3.6).

#### 3.1.2 Festigkeiten

(aBG 10)P Die Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$  ist gemäß Anlage 6 der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung zu bestimmen.

(aBG 11) Da es sich bei den zu verstärkenden Bauteilen um Bestandsbauteile handelt, kann in einigen Fällen, zum Beispiel zur Vordimensionierung, eine Umrechnung der Betonfestigkeit nötig sein, die nach dem DBV- Merkblatt „Bauen im Bestand - Beton und Betonstahl“ durchgeführt werden darf.

#### 3.1.3 Elastische Verformungseigenschaften

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 3.1.4 Kriechen und Schwinden

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 3.1.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 3.1.6 Bemessungswert der Betondruck- und Betonzugfestigkeit

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 3.1.7 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 3.1.8 Biegezugfestigkeit

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 15 von 32

### **3.1.9 Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **3.2 Betonstahl**

### **3.2.1 Allgemeines**

(aBG 6) Diese Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung darf auch bei Bauteilen mit Betonstählen und Bewehrungselementen, die nicht den Anforderungen der DIN EN 10080 bzw. DIN 488 entsprechen, angewendet werden.

### **3.2.2 Eigenschaften**

(aBG 7) Bei der Verstärkung von Bestandsbauteilen nach der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung müssen die vorhandenen Betonstähle nicht DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> Abschnitte 3.2.2 (2), (3), (4), (5) und (6) erfüllen.

(aBG 8) Die Eigenschaften der vorhandenen Betonstähle nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 3.2.2 (1), sollten bekannt sein.

(aBG 9) Für Betonstähle ab 1952 dürfen die Streckgrenzen als charakteristische Werte verwendet werden. Anhaltswerte für ältere Betonstähle und Bewehrungselemente dürfen zum Beispiel dem DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand - Beton und Betonstahl“ entnommen werden.

(aBG 10) Falls nicht gerippte Betonstähle verwendet worden sind, darf vereinfachend das Verbundverhalten eines Glattstahls angenommen werden.

### **3.2.3 Festigkeiten**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **3.2.4 Duktilitätsmerkmale**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **3.2.5 Schweißen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **3.2.6 Ermüdung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **3.2.7 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **3.3 Spannstahl**

### **3.3.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **3.3.2 Eigenschaften**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **3.3.3 Festigkeiten**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 16 von 32

### 3.3.4 Duktilitätseigenschaften

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 3.3.5 Ermüdung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 3.3.7 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 3.3.8 Spannstähle in Hüllrohren

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 3.4 Komponenten von Spannsystemen

### 3.4.1 Verankerungen und Spanngliedkopplungen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 3.4.2 Externe Spannglieder ohne Verbund

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## aBG 3.5 Baustoffe für eine Verstärkung mit Carbonbeton

(aBG 1) Es gelten die "Besonderen Bestimmungen" dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / Allgemeinen Bauartgenehmigung.

(aBG 2) Die Bemessungsgleichungen basieren auf Versuchen und theoretischen Überlegungen. In diesem Zusammenhang wurden geometrische und stoffliche Anwendungsgrenzen definiert. Die nachfolgenden Gleichungen gelten deshalb nur für den im Abschnitt aBG 3.6 angegebenen Bereich.

(aBG 3) Falls in einem Bemessungsfall einzelne Grenzwerte nach Abschnitt aBG 3.6 überschritten werden, können in die Bemessungsgleichungen die Grenzwerte nach Abschnitt aBG 3.6 eingesetzt werden, wenn das Ergebnis dadurch ungünstiger wird.

(aBG 4) Die Spannungs-Dehnungslinie bezogen auf den Querschnitt der Carbonfasern ist in Bild aBG 5.1 angegeben. Die Bemessungswerte der Festigkeiten  $f_{Kf,nm,d}$  und  $\sigma_{Kf,nm,und,d}$  sind wie folgt zu ermitteln:

$$f_{Kf,nm,d} = \alpha_{T,t} \cdot \alpha_{t\infty,t} \cdot \alpha_{D,t} \cdot f_{Kf,nm,k} / \gamma_{nm} \quad (\text{aBG 3.1})$$

und

$$\sigma_{Kf,nm,und,d} = \alpha_{T,t} \cdot \alpha_{t\infty,t} \cdot \alpha_{D,t} \cdot \sigma_{Kf,und,k} / \gamma_{nm} \quad (\text{aBG 3.2})$$

Dabei sind:

$f_{Kf,nm,k}$	charakteristische Zugfestigkeit des Carbonbetons bezogen auf den Querschnitt der Carbonfasern in Kettrichtung
$\alpha_{T,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für Temperatureinwirkung
$\alpha_{t\infty,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für das Dauerstandverhalten
$\alpha_{D,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für die Dauerhaftigkeit
$\gamma_{nm}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Zugfestigkeit des Carbonbetons
$\varepsilon_{K,nm,und,k}$	charakteristische Dehnung des Carbonbetons in Kettrichtung, bei abgeschlossener Rissbildung im Feinbeton

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

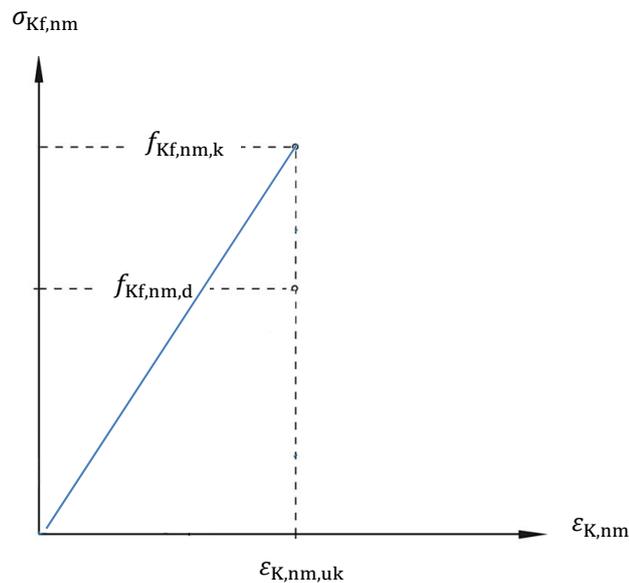
Anlage 5  
 Seite 17 von 32

- $\epsilon_{K,nm,uk}$  charakteristische Wert der Bruchdehnung des Carbonbetons in Kettrichtung
- $\sigma_{Kf,nm,und,k}$  charakteristischer Wert der Spannung des Carbonbetons in Kettrichtung bei abgeschlossener Rissbildung im Feinbeton

Weiterhin sind die Flächen der Carbonfasern in Kett- und Schussrichtung je m Breite senkrecht zur Garnrichtung von Bedeutung.

- $a_{Kf,nm}$  Flächen der Carbonfasern in Kettrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Kettrichtung [ $\text{mm}^2/\text{m}$ ]
- $a_{Sf,nm}$  Flächen der Carbonfasern in Schussrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Schussrichtung [ $\text{mm}^2/\text{m}$ ]

Die Werte für  $f_{Kf,nm,k}$ ,  $\alpha_{T,t}$ ,  $\alpha_{t\infty,t}$ ,  $\alpha_{D,t}$ ,  $\gamma_{nm}$ ,  $\epsilon_{K,nm,und}$ ,  $\epsilon_{K,nm,uk}$ ,  $\sigma_{Kf,nm,und,k}$ ,  $a_{Kf,nm}$ , und  $a_{Sf,nm}$  sind im Abschnitt 3.1 der „Besonderen Bestimmungen“ angegeben.



**Bild aBG 5.1: Idealisierte Spannungs-Dehnungslinie für Carbonbeton**

### aBG 3.6 Zu verstärkendes Bauteil

(aBG 1) Es dürfen nur Bauteile aus Normalbeton verstärkt werden, die an den für die Verstärkung vorbereiteten Oberflächen mindestens einen Erwartungswert des Mittelwertes der Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$  von  $1,0 \text{ N/mm}^2$  aufweisen und deren Festigkeitsklasse C50/60 nicht überschreitet.

(aBG 2) Der Durchmesser der Betonstahlbewehrung in der Biegezugzone des zu verstärkenden Bauteils darf nicht größer als 20 mm sein.

(aBG 3) Die Bemessungsgleichungen gelten für planmäßig gerade bzw. ebene Bauteile. Bei konvex gekrümmten Bauteiloberflächen dürfen die Bemessungsgleichungen jedoch sinngemäß angewendet werden. Bei Verstärkung von Bauteilen mit konkaver Krümmung ist insbesondere der statische Nachweis nach Abschnitt aBG 6.2.5.1, Absatz (aBG 4) zu führen.

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
 Seite 18 von 32

## 4 Dauerhaftigkeit und Betondeckung

### 4.1 Allgemeines

(aBG 7) Die zulässigen Umgebungsbedingungen, wie Expositionsklassen und weitere Umwelteinflüsse (z. B. Temperatur) sowie die sich daraus ergebenden Maßnahmen werden in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung/ Allgemeinen Bauartgenehmigung des Verstärkungsbausatzes, Abschnitt 1.2 geregelt.

### 4.2 Umgebungsbedingungen

(aBG 4) Es gelten die Angaben nach Abschnitt 1.2 der „Besonderen Bestimmungen“ der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / Allgemeinen Bauartgenehmigung.

### 4.3 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 4.4 Nachweisverfahren

#### 4.4.1 Betondeckung

##### 4.4.1.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### 4.4.1.2 Mindestbetondeckung $c_{\min}$

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### 4.4.1.3 Vorhaltemaß

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 5 Ermittlung der Schnittgrößen

### 5.1 Allgemeines

#### 5.1.1 Grundlagen

(aBG 15) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitte 5.5 und 5.6, bei Biegebeanspruchung ist nur dann zugelassen, wenn sich im zu verstärkenden Bereich keine Reduktion der Schnittgrößen im Vergleich zur linear-elastischen Berechnung ergibt.

(aBG 16) Der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung dürfen planmäßig nur Zugkräfte zugewiesen werden.

(aBG 17) Auf der Zugseite müssen die vorhandenen Stahl- und Betondehnungen vor bzw. während der Verstärkungsmaßnahme berücksichtigt werden. Die vorhandenen Dehnungen sind dabei entweder wirklichkeitsnah mit den vorhandenen Einwirkungen oder vereinfachend auf Gebrauchstauglichkeitsniveau mit der quasi-ständigen Belastungskombination zu ermitteln.

#### 5.1.2 Besondere Anforderungen an Gründungen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 5.1.3 Lastfälle und Einwirkungskombinationen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 5.1.4 Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung)

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 19 von 32

## 5.2 Imperfektionen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 5.3 Idealisierungen und Vereinfachungen

### 5.3.1 Tragwerksmodelle für statische Berechnungen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 5.3.2 Geometrische Angaben

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 5.4 Linear-elastische Berechnung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 5.5 Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung

(aBG 7) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-11, Abschnitt 5.5, bei Biegebeanspruchung ist nur dann zugelassen, wenn sich im zu verstärkenden Bereich keine Reduktion der Schnittgrößen im Vergleich zur linear-elastischen Berechnung ergibt.

## 5.6 Verfahren nach der Plastizitätstheorie

### 5.6.1 Allgemeines

(aBG 6) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-11, Abschnitt 5.6, bei Biegebeanspruchung ist nur dann zugelassen, wenn sich im zu verstärkenden Bereich keine Reduktion der Schnittgrößen im Vergleich zur linear-elastischen Berechnung ergibt.

### 5.6.2 Balken, Rahmen und Platten

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 5.6.3 Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 5.6.4 Stabwerkmodelle

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 5.7 Nichtlineare Verfahren

(aBG 16) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-11, Abschnitt 5.7, ist bei einer Verstärkung mit Carbonbeton nicht zugelassen.

## 5.8 Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung

### 5.8.1 Begriffe

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 5.8.2 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 5.8.3 Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 20 von 32

#### **5.8.4 Kriechen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **5.8.5 Berechnungsverfahren**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **5.8.6 Allgemeines Verfahren**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **5.8.7 Verfahren mit Nennsteifigkeiten**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **5.8.8 Verfahren mit Nennkrümmung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **5.8.9 Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **5.9 Seitliches Ausweichen schlanker Träger**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### **5.10 Spannbetontragwerke**

##### **5.10.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.2 Vorspannkraft während des Spannvorgangs**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.3 Vorspannkraft nach dem Spannvorgang**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.4 Sofortige Spannkraftverluste bei sofortigem Verbund**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.5 Sofortige Spannkraftverluste bei nachträglichem Verbund**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.6 Zeitabhängige Spannkraftverluste bei sofortigem und nachträglichem Verbund**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.7 Berücksichtigung der Vorspannung in der Berechnung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.8 Grenzzustand der Tragfähigkeit**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **5.10.9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 21 von 32

## 5.11 Berechnung für ausgewählte Tragwerke

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### aBG 5.12 Quersugnachweis am Ende der Carbonbetonschicht

(aBG 1) Die senkrecht zur Ebene der Carbonbetonschicht wirkende Zugspannung am Ende der Biegeverstärkung muss berücksichtigt werden, da es hier zu einem Versatzbruch kommen kann, bei dem sich der Beton am Ende der Carbonbetonschicht von der Betonstahlbewehrung ablöst. Der Versatzbruch ist in Bild aBG 5.2 schematisch dargestellt.

(aBG 2) Diese abhebende Kraft gilt als ausreichend verankert, wenn der Nachweis nach Abschnitt aBG 6.2.6 erfüllt ist.

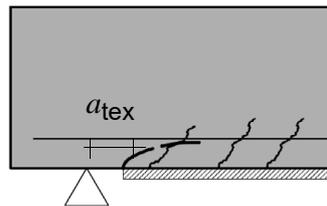


Bild aBG 5.2 – Schematische Darstellung des Versatzbruches

## 6 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)

### 6.1 Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein

*keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 6.2 Querkraft

#### 6.2.1 Nachweisverfahren

(aBG 12) Prinzipiell muss die Querkrafttragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 6.2, eingehalten sein.

#### 6.2.2 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

(aBG 8) Bei der Ermittlung des Bemessungswertes für den Querkraftwiderstand  $V_{Rd,c}$  nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 6.2.2, dürfen die im Feinbeton eingebetteten Carbongitter nicht bei der Fläche der Zugbewehrung  $A_{sl}$  angerechnet werden.

#### 6.2.3 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 6.2.4 Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 6.2.5 Schubkraftübertragung in Fugen

##### aBG 6.2.5.1 Nachweis des Verbundes zwischen Altbeton und Carbonbetonschicht

(aBG 1) Der Nachweis der Verankerung der Carbonbetonschicht am Altbeton für ebene und konvex gekrümmte Oberflächen des Altbetons ist erbracht, wenn:

- die Bemessungskraft in der Carbonbetonschicht nach Tabelle 4, Zeile 9 und der Bemessungswert der Verankerungslänge nach Tabelle 4, Zeile 16 der besonderen Bestimmungen eingehalten werden und
- die mittlere Rautiefe der Betonoberfläche des Altbetons mindestens 1 mm beträgt (siehe auch Abschnitt 3.4.5 der besonderen Bestimmungen).

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 22 von 32

(aBG 2) Für ebene und konvex gekrümmte Oberflächen des Altbetons erfolgt der Nachweis des Verbundes der Carbonbetonschicht zum Altbeton zwischen den Verankerungen auf der Grundlage von DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 6.2.5, insbesondere Gl. (6.25) wie folgt:

- Die Schubbeanspruchung der Fuge ist aus der Zugkraftänderung der Carbongitterbewehrung zu bestimmen. Der Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils ist dabei unter der Voraussetzung einer ebenen Dehnungsverteilung und unter Berücksichtigung des Versatzmaßes sowie der vorhandenen Dehnung der Betonstahlbewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung zu ermitteln.
- Für den Verbund der Carbonbetonschicht im Bereich zwischen den Verankerungen (siehe aBG 1) ist die Oberflächenzugfestigkeit im Altbeton nach Abschnitt 3.4.7.2 der "Besonderen Bestimmungen" zu bestimmen. Aus den Messwerten ist der charakteristische Wert der Oberflächenzug- bzw. Haftzugfestigkeit  $f_{ctk,0,05,surf}$  nach DIN EN 1990, Tabelle D.1 (für  $V_x$  unbekannt) zu bestimmen. Der so bestimmte Wert darf als charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betons  $f_{ctk,0,05}$  in Gleichung (3.16) zur Bestimmung des Bemessungswertes der Zugfestigkeit  $f_{ctd}$  nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>1</sup> verwendet werden.  $f_{ctd}$  dient dann zur Bestimmung der Schubtragfähigkeit zwischen Altbeton und Carbonbetonschicht nach Gleichung (6.25).

(aBG 3) Bauteile dürfen auch in Bereichen konkaver Krümmung verstärkt werden wenn beide nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- $1 \text{ N/mm}^2 + 5 * p_{\text{konkav}} \leq f_{ctm,surf}$   
 mit  $p_{\text{konkav}} = a_{Kf,nm} \cdot f_{Kf,nm,k} \cdot 1,5/r$  sowie  $f_{ctm,surf}$  nach Abschnitt 3.4.7 der Besonderen Bestimmungen bzw Anlage 6. Dabei ist  $a_{Kf,nm}$  nach 1.6 dieser Anlage die Flächen der Carbonfasern in Kettrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Kettrichtung [ $\text{mm}^2/\text{m}$ ] und  $r$  ist der Krümmungsradius. Er muss größer als 5 m sein.
- der Schubnachweis in der Fuge zwischen Altbeton und Carbonbetonschicht an der Verankerung und zwischen den Verankerungen nach Gl. (6.25) von DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> erfüllt ist für:  

$$\sigma_n = a_{Kf,nm} \cdot \frac{\sigma_{Kf,nm,k}}{r}$$
 und  $f_{ctd}$  nach Gl. (3.16) mit  $f_{ctk,0,05} = f_{ctk,0,05,surf} - \sigma_n$ .  
 Dabei ist  $\sigma_{Kf,nm,k}$  die Zugspannung in den Fasersträngen des Carbongitters an der Stelle der konkaven Krümmung der Carbonbetonschicht unter seltenen Einwirkungskombinationen und  $f_{ctk,0,05,surf}$  der nach (aBG 2) ermittelte charakteristische Wert der Oberflächenzugfestigkeit des Altbetons.

## aBG 6.2.6 Schubkraftübertragung in Fugen

(aBG 1) Die einwirkende Querkraft am Endauflager bzw. am Trägerende darf nicht größer sein als

$$V_{Rd,c,tex} = 0,75 \cdot \left( 1 + 19,6 \frac{(100\rho_{s1})^{0,15}}{a_{tex}^{0,36}} \right) \cdot V_{Rd,ct} \quad (\text{aBG 6.121})$$

Dabei ist:

- $V_{Rd,ct}$  der Bemessungswert des Querkraftwiderstandes nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>1</sup>, Gleichungen (6.2.a) und (6.2.b) unter Berücksichtigung von Abschnitt 6.2.2 dieser Anlage
- $\rho_{s1}$  der Längsbewehrungsgrad der internen Betonstahlbewehrung ohne Carbongitter (nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>1</sup>, Abschnitt 6.2.2)
- $a_{nm}$  der Abstand des Endes der Carbongitter von der Mitte des Endauflagers bzw. des Trägerendes (siehe Bild aBG 5.2)

## 6.3 Torsion

### 6.3.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 23 von 32
Bemessung und Konstruktion	

**6.3.2 Nachweisverfahren**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.3.3 Wölbkrafttorsion**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.4 Durchstanzen**

**6.4.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.4.2 Lasteinleitung und Nachweisschnitte**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.4.3 Nachweisverfahren**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.4.4 Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung**

(aBG 3) Bei der Ermittlung des Bemessungswertes für den Durchstanzwiderstand  $v_{Rd,c}$  nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 6.4.4, dürfen die im Feinbeton eingebundenen Carbongitter nicht bei der Fläche der Zugbewehrung  $A_{s1}$  angerechnet werden.

**6.4.5 Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.5 Stabwerkmodelle**

**6.5.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.5.2 Bemessung der Druckstreben**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.5.3 Bemessung der Zugstreben**

(aBG 4) Für die im Feinbeton eingebundene Bewehrung darf als Zugstrebenkraft nur die verankerbare Kraft angesetzt werden.

**6.5.4 Bemessung der Knoten**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.6 Verankerung der Längsbewehrung und Stöße**

(aBG 5) Die Stöße der im Feinbeton eingebundenen Carbongitter sind gemäß aBG 8.7.6 zu behandeln.

**6.7 Teilflächenbelastung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**6.8 Nachweis gegen Ermüdung**

**6.8.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
 Seite 24 von 32

## 6.8.2 Innere Kräfte und Spannungen beim Nachweis gegen Ermüdung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 6.8.3 Einwirkungskombinationen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 6.8.4 Nachweisverfahren für Betonstahl und Spannstahl

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 6.8.5 Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Schwingbreiten

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 6.8.6 Vereinfachte Nachweise

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 6.8.7 Nachweis gegen Ermüdung des Betons unter Druck oder Querkraftbeanspruchung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 7 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

### 7.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 7.2 Begrenzung der Spannungen Beton, Betonstahl und Spannstahl

(aBG 8) Es gelten die Spannungsbegrenzungen nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup>.

(aBG 9) Die Dehnung des Bewehrungsstahls darf unter seltener Einwirkungskombination im verstärkten Querschnitt auf

$$\varepsilon_s \leq \frac{f_{yk}}{E_s} \quad (\text{aBG 7.1})$$

begrenzt werden.

### 7.3 Begrenzung der Rissbreiten

#### 7.3.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 7.3.2 Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 7.3.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 7.3.4 Berechnung der Rissbreite

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 25 von 32

## 7.4 Begrenzung der Verformungen

### 7.4.1 Allgemeines

(aBG 7) Die Grenzwerte für die Verformungen nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 7.4.1, sollten auch nach den Verstärkungsmaßnahmen eingehalten werden.

(aBG 8) Eine Berechnung der Verformungen kann nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 7.4.3, erfolgen.

### 7.4.2 Nachweis der Begrenzung der Verformungen ohne direkte Berechnung

(aBG 3) Ein Nachweis der Verformungen ohne direkte Berechnung nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 7.4.2, darf für verstärkte Bauteile im Regelfall nicht angewendet werden.

### 7.4.3 Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung

(aBG 8) Bei der Berechnung der Verformungen nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 7.4.3, darf die Wirkungsweise der Carbongitter im Feinbeton in dem Durchbiegungsparameter  $\alpha$  berücksichtigt werden. Für die direkte Berechnung von Verformungen ist die charakteristische Materialkennlinie nach Bild aBG 5.1 von Carbonbeton zu verwenden, je nach Anwendungsfall kann gegebenenfalls auch die Mittelwertkurve verwendet werden.

(aBG 9) Die Verformungen zum Zeitpunkt der Verstärkung müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

## 8 Allgemeine Bewehrungsregeln

### 8.1 Allgemeines

(aBG 5) Es gelten die allgemeinen Bewehrungsregeln gemäß DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA<sup>2</sup>, sofern nachfolgend nicht anders festgelegt.

### 8.2 Stababstände von Betonstählen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 8.3 Biegen von Betonstählen

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 8.4 Verankerung der Längsbewehrung

#### 8.4.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 8.4.2 Bemessungswert der Verbundfestigkeit

(aBG 3) Der Bemessungswert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung der im Feinbeton eingebundenen Carbongitter  $T_{Kf, nmd}$  darf wie folgt ermittelt werden.

$$T_{K, nm, d} = \alpha_{T, b} \cdot \alpha_{t \infty, b} \cdot \alpha_{D, b} \cdot T_{K, nm} / \gamma_{nm, b} \quad (\text{aBG 8.19})$$

Dabei sind

- $T_{K, nm, k}$  charakteristischer Wert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung der im Feinbeton eingebundenen Carbongitter [N/mm]
- $\alpha_{T, b}$  Abminderungsfaktor für den Verbund der Carbongitter im Feinbeton bei Temperatureinwirkung
- $\alpha_{t \infty, b}$  Abminderungsfaktor für den Verbund der Carbongitter im Feinbeton bei Dauerlast
- $\alpha_{D, b}$  Abminderungsfaktor für den dauerhaften Verbund der Carbongitter im Feinbeton

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
 Seite 26 von 32

$\gamma_{nm,b}$  Teilsicherheitsbeiwert für den Verbund der Carbongitter im Feinbeton

(aBG 4) Die Werte für die Größen  $T_{K,nm,k}$ ,  $\alpha_{T,b}$ ,  $\alpha_{t\infty,b}$ ,  $\alpha_{D,b}$  und  $\gamma_{nm,b}$  sind im Abschnitt 3.2 der „Besonderen Bestimmungen“ angegeben.

### 8.4.3 Grundwert der Verankerungslänge

(aBG 5) Der erforderliche Grundwert der Verankerungslänge  $l_{b,rqd}$  zur Verankerung der Kraft eines Garns unter Annahme einer konstanten Verbundspannung  $T_{Kf,nm,d}$  folgt aus der Gleichung:

$$l_{b,rqd} = \sigma_{Kf,nm} A_{Kf,nm} / T_{K,nm,d} \quad (\text{aBG 8.20})$$

Dabei ist  $\sigma_{Kf,nm}$  die vorhandene Spannung im GZT in einem Garn am Beginn der Verankerungslänge. Werte für  $T_{K,nm,d}$  und  $A_{Kf,nm}$  sind in den "Besonderen Bestimmungen", Abschnitt 3.2 angegeben.

### 8.4.4 Bemessungswert der Verankerungslänge

Der Bemessungswert der Verankerungslänge  $l_{bd}$  darf wie folgt ermittelt werden:

$$l_{bd} = l_{b,rqd} \geq 100\text{mm} \quad (\text{aBG 8.21})$$

## 8.5 Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 8.6 Verankerung mittels angeschweißter Stäbe

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 8.7 Stöße und mechanische Verbindungen

### 8.7.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 8.7.2 Stöße

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 8.7.3 Übergreifungslänge

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 8.7.4 Querbewehrung im Bereich der Übergreifungsstöße

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 8.7.5 Stöße von Betonstahlmatten aus Rippenstahl

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### aBG 8.7.6 Übergreifungsstöße der Carbongitter

(aBG 1) Die Carbongitter dürfen durch Übergreifung gestoßen werden.

(aBG 2) Die Abschnitte der gestoßenen Carbongitter müssen sich im Stoß wechselweise mit  $l_{bd}$  nach Abschnitt 8.4.4 übergreifen.

(aBG 3) Für nicht vorwiegend ruhende Beanspruchung sind Übergreifungsstöße in der Carbongitterbewehrung nicht zulässig.

## 8.8 Zusätzliche Regeln bei großen Stabdurchmessern

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
 Seite 27 von 32

## **8.9 Stabbündel**

### **8.9.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **8.9.2 Verankerung von Stabbündeln**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **8.9.3 Gestoßene Stabbündel**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **8.10 Spannglieder**

### **8.10.1 Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **8.10.2 Verankerung von Spanngliedern im sofortigen Verbund**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **8.10.3 Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **8.10.4 Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **8.10.5 Umlenkstellen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **9 Konstruktionsregeln**

### **9.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.2 Balken**

#### **9.2.1 Längsbewehrung**

##### **9.2.1.1 Mindestbewehrung und Höchstbewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **9.2.1.2 Weitere Konstruktionsregeln**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

##### **9.2.1.3 Zugkraftdeckung**

(aBG 5) Für jedes Bauteil sind die versetzte Zugkraft- und die Zugkraftdeckungslinie für den Grenzzustand der Tragfähigkeit darzustellen. Ein Einschneiden der versetzten Zugkraftlinie ist nicht zulässig.

##### **9.2.1.4 Verankerung der unteren Bewehrung an Endauflagern**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 28 von 32

### 9.2.1.5 Verankerung der unteren Bewehrung an Zwischenauflagern

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 9.2.2 Querkraftbewehrung

(aBG 9) Carbonbeton als Querkraftzulage ist nicht zulässig.

### 9.2.3 Torsionsbewehrung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 9.2.4 Oberflächenbewehrung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 9.2.5 Indirekte Auflager

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 9.3 Vollplatten

### 9.3.1 Biegebewehrung

#### 9.3.1.1 Allgemeines

(aBG 6) Für jedes Bauteil sind die versetzte Zugkraft- und die Zugkraftdeckungslinie für den Grenzzustand der Tragfähigkeit darzustellen. Ein Einschneiden der versetzten Zugkraftlinie ist nicht zulässig.

(aBG 7) Bei Platten muss die Querbewehrung gemäß DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 9.3.1.1, vorhanden sein. Fehlende Querbewehrung darf durch Carbonbeton ergänzt werden.

(aBG 8) Bei einachsig gespannten Platten sind für die Querbewehrung 20 % der vorhandenen Betonstahlbewehrung auch bei verstärkten Bauteilen ausreichend.

(aBG 9) Bei gelenkig gelagerten Platten ist in der Regel mindestens die Hälfte der erforderlichen Feldbewehrung über das Auflager zu führen und dort sinngemäß nach DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 8.4.4, zu verankern. Dabei ist das Versatzmaß  $a_l$  der Platten ohne Querkraftbewehrung mit  $0,1 d$  anzusetzen. Wird bei verstärkten Platten weniger als 50 % der erforderlichen Feldbewehrung im Auflager verankert, ist das Versatzmaß mit dem Faktor  $0,5 \cdot \left( \frac{\text{erf}A_{s,\text{Feld}}}{\text{vorh}A_{s,\text{Auflager}}} \right) \geq 1,0$  zu vergrößern. Unabhängig davon sind bei verstärkten Bauteilen stets mindestens 25 % von  $A_{s,\text{Feld}}$  über das Auflager zu führen.

(aBG 10) Bei dem Nachweis der Endverankerung der Carbonbetonschicht darf das Versatzmaß bei Platten in Änderung zu DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 9.3.1.1 (4), zu  $0,5 h$  bestimmt werden. Bei der Verankerung der Längsbewehrung ist das Versatzmaß gemäß DIN EN 1992-1-1<sup>1</sup>, Abschnitt 9.3.1.1 (4), anzusetzen.

#### 9.3.1.2 Bewehrung von Platten in Auflagernähe

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 9.3.1.3 Eckbewehrung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 9.3.1.4 Randbewehrung an freien Rändern von Platten

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 9.3.2 Querkraftbewehrung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
 Seite 29 von 32

## **9.4 Flachdecken**

### **9.4.1 Flachdecken im Bereich von Innenstützen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.4.2 Flachdecken im Bereich von Randstützen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.4.3 Durchstanzbewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **9.5 Stützen**

### **9.5.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.5.2 Längsbewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.5.3 Querbewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **9.6 Wände**

### **9.6.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.6.2 Vertikale Bewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.6.3 Horizontale Bewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.6.4 Querbewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **9.7 Wandartige Träger**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **9.8 Gründungen**

### **9.8.1 Pfahlkopfplatten**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.8.2 Einzel- und Streifenfundamente**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.8.3 Zerrbalken**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.8.4 Einzelfundament auf Fels**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 30 von 32

## **9.8.5 Bohrpfähle**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **9.9 Bereiche mit geometrischen Diskontinuitäten oder konzentrierten Einwirkungen (D-Bereiche)**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **9.10 Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen**

### **9.10.1 Allgemeines**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.10.2 Ausbildung von Zugankern**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### **9.10.3 Durchlaufwirkung und Verankerung von Zugankern**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **10 Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Fertigteilen**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **11 Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Leichtbeton**

Diese Anlage der in diesem Bescheid enthaltenen allgemeinen Bauartgenehmigung gilt nicht für das Verstärken von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen aus Leichtbeton.

## **12 Tragwerke aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang A – Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang B – Kriechen und Schwinden**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang C – Eigenschaften des Betonstahls**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang D – Genauere Methode zur Berechnung von Spannkraftverlusten aus Relaxation**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang E – Indikative Mindestfestigkeitsklassen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang F – Gleichungen für Zugbewehrung für den ebenen Spannungszustand**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 31 von 32

## **Anhang G – Boden-Bauwerk-Interaktion**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang H – Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang I – Ermittlung der Schnittgrößen bei Flachdecken und Wandscheiben**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## **Anhang J – Konstruktionsregeln für ausgewählte Beispiele**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Bemessung und Konstruktion

Anlage 5  
Seite 32 von 32

**Ermittlung der unteren Konfidenzschranke des Erwartungswerts der Oberflächenzugfestigkeit**

(1) Die untere Konfidenzschranke des Erwartungswertes (Mittelwert) der Oberflächenzugfestigkeit mit 95 % Zuverlässigkeit (einseitig) ist aus dem Umfang und der Standardabweichung der Stichprobe gemäß folgender Gleichung zu ermitteln.

$$f_{ctm,surf} = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cti,surf} \right) - k \cdot s$$

Dabei ist:

- $f_{ctm,surf}$  Erwartungswert der Oberflächenzugfestigkeit (untere Vertrauensgrenze)
- $n$  Stichprobenumfang
- $f_{cti,surf}$  Einzelwerte der Oberflächenzugfestigkeit
- $k$  Faktor nach Tabelle 1
- $s$  Standardabweichung der Stichprobe

**Tabelle 1: Faktor  $k$**

Spalte	1	2
Zeile	$n$	$k$
1	5	0,953
2	6	0,823
3	7	0,734
4	8	0,670
5	9	0,620
6	10	0,580
7	15	0,455
8	20	0,387
9	25	0,342
10	30	0,310
11	35	0,286
12	$k = \frac{t_{n-1;1-S}}{\sqrt{n}}$ Einseitig berechnet für eine statistische Sicherheit von $S=95\%$ ; $t$ aus Studentverteilung (t-Verteilung)	

<b>CARBOrefit®</b> - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 6
Unteren Konfidenzschranke des Erwartungswerts der Oberflächenzugfestigkeit	

Faserstrangtyp	Material des Faserstrangs <sup>1)</sup>	Faser		Tränkung	
		Hersteller	Bezeichnung	Hersteller	Bezeichnung
1	C1T1	SGL Carbon SE	SIGRAFIL C T50-4.4/255-E100 oder SIGRAFIL C T50-4.0/240-E100"	Lefatex Chemie GmbH	Lefasol VLT-1
	C2T1	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E STS40 F13 48K 3200tex CP Tenax-E STS40 F13 48K 3200tex Tenax-J STS40 F13 48K 3200tex CP Tenax-J STS40 F13 48K 3200tex		
	C3T1	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E HTS40 F13 12K 800tex		
	C4T1	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E HTS40 F13 24K 800tex		
3	C2T2	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E STS40 F13 48K 3200tex CP Tenax-E STS40 F13 48K 3200tex Tenax-J STS40 F13 48K 3200tex CP Tenax-J STS40 F13 48K 3200tex	Lefatex Chemie GmbH	Lefasol BT91001-1 oder Lefasol BT91001-2
	C3T2	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E HTS40 F13 12K 800tex		
	C4T2	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E HTS40 F13 24K 800tex		
	C2T3	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E STS40 F13 48K 3200tex CP Tenax-E STS40 F13 48K 3200tex Tenax-J STS40 F13 48K 3200tex CP Tenax-J STS40 F13 48K 3200tex	CHT Germany GmbH	CHT TECOSIT CC 1000
	C3T3	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E HTS40 F13 12K 800tex		
	C4T3	Teijin Carbon Europe GmbH	Tenax-E HTS40 F13 24K 800tex		

<sup>1)</sup> Ci bedeutet Roving i und Tj bedeutet Tränkung j

**CARBorefit®-Feinbeton**

Hersteller	Bezeichnung
PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co. KG	TF10 CARBorefit® Textilfeinbeton

CARBorefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Zugelassene Materialkombinationen

Anlage 7