

**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: 27.05.2021      Geschäftszeichen: I 43-1.31.10-16/21

**Nummer:  
Z-31.10-182**

**Geltungsdauer**  
vom: **1. Juni 2021**  
bis: **1. Juni 2026**

**Antragsteller:**  
**CARBOCON GMBH**  
**World Trade Center Dresden**  
Ammonstraße 72  
01067 Dresden

**Gegenstand dieses Bescheides:**  
**CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton**

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

Dieser Bescheid umfasst 14 Seiten und sechs Anlagen mit 45 Seiten.

Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/allgemeine Bauartgenehmigung ersetzt die allgemeine  
bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-31.10-182 vom 30. November 2016. Der Gegenstand ist erstmals  
am 6. Juni 2014 allgemein bauaufsichtlich zugelassen worden.

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 eingearbeitet und erneut eine Schicht Feinbeton im Handlaminier- oder Spritzverfahren aufgetragen. Diese erneut aufgetragene Feinbetonschicht kann als Abschlusschicht oder als weitere Trägerschicht einer Lage Carbongitterbewehrung dienen. Es dürfen auf diese Weise bis zu vier Lagen Carbongitterbewehrung verwendet werden.

Der Bausatz besteht aus folgenden Komponenten:

- getränkte Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX oder CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ nach Abschnitt 2.1.1,
- Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL nach Abschnitt 2.1.3.

#### 1.2 Anwendungsbereich

Nach diesem Bescheid sind Biegeverstärkungen an den für die Verstärkung vorbereiteten Oberflächen in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen bei vorwiegend ruhender Belastung möglich.

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

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  $1,0 \text{ N/mm}^2$  (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 dieser Zulassung dürfen bis zu vier Lagen Carbongitterbewehrung in einer Carbonbetonschicht verwendet werden. Den Carbonbetonschichten dürfen planmäßig nur Zugkräfte zugewiesen werden. Die Carbonbetonschichten dürfen auch in der Druckzone angeordnet sein, dürfen aber zur Aufnahme von Druckkräften nicht angerechnet werden. Biegezugverstärkungen nach dieser Zulassung 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 3.3.1 nachgewiesen haben.

## 2 Bestimmungen für die Bauprodukte

### 2.1 Eigenschaften und Zusammensetzung

#### 2.1.1 Typen der getränkten Carbongitterbewehrungen CARBOrefit-BZT1-TUDATEX und CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ

Die Carbongitterbewehrung muss aus Carbonfilamentgarnen mit 48K / 50K Carbonfilamentgarnen in der Kettrichtung (Haupttragrichtung) und 12K Carbonfilamentgarnen in der Schussrichtung (Nebentragrichtung) bestehen. Je nach Typ der Carbongitterbewehrung sind die folgenden Kett- und Schussfadenabstände einzuhalten:

Typ der Carbongitterbewehrung	Kettfadenabstand	Schussfadenabstand
CARBOrefit-BZT1-TUDATEX	12,7 mm	16 +0/ -2,0 mm
CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ	12,7 mm	16 +0/ -2,0 mm

Die Carbongitterbewehrung muss mit einer filmbildenden Dispersion (siehe 2.1.2) so imprägniert werden, dass sowohl die Garnzugfestigkeit, getränkt (Tabelle 1, Zeile 3) als auch die Zugfestigkeit im Dehnkörperversuch (Anlage 1, S.4) erreicht werden.

Die Breite der Carbongitterbewehrung darf maximal 2500 mm (Breite der Schussrichtung) betragen. In Abhängigkeit von der Anwendung sind davon auch Teilbreiten möglich. Beim Zuschnitt der Carbongitterbewehrung ist Abschnitt 3.3.6, 1. Absatz zu beachten.

Die maximale Länge der Carbongitterbewehrung in Kettrichtung ist durch die Aufnahmekapazität einer Rolle begrenzt. In Abhängigkeit von der Anwendung sind davon auch Teillängen möglich. Beim Zuschnitt der Carbongitterbewehrung auf die Abmessungen der Carbonbetonschicht ist Abschnitt 3.3.6, 1. Absatz zu beachten.

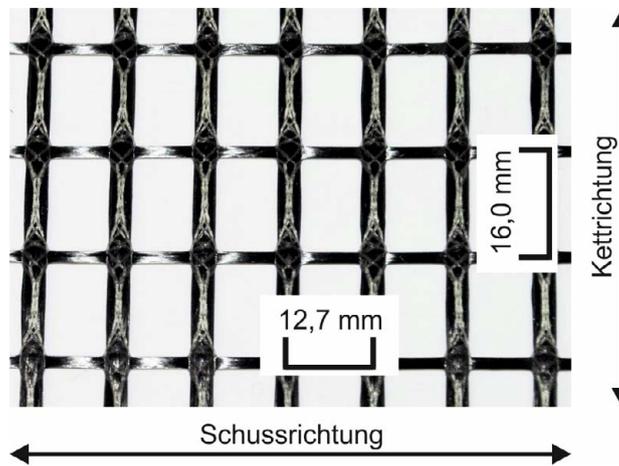


Bild 1: Getränkte Carbongitterbewehrung mit Carbonfasern CARBOrefit-BZT1-TUDATEX

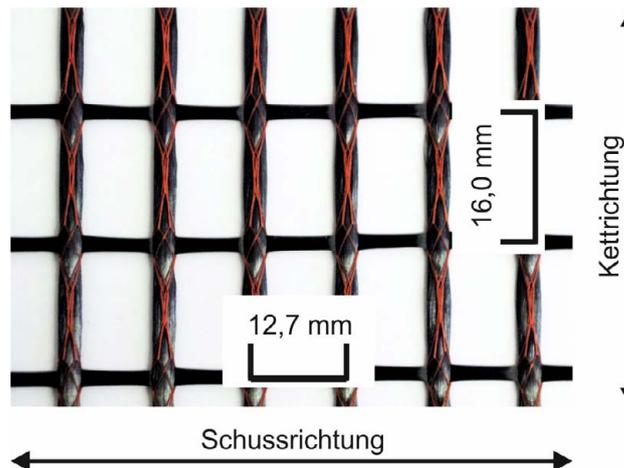


Bild 2: Getränkte Carbongitterbewehrung mit Carbonfasern CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ

Die Eigenschaften der Carbongitterbewehrung sind in Tabelle 1 angegeben. Zur Unterscheidung der Carbongitterbewehrungen der Hersteller wird ein Farbcode verwendet:

CARBOrefit-BZT1-TUDATEX  
 CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ

Wirkfaden ist weiß  
 Wirkfaden ist rot

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

**Tabelle 1:** Kenndaten der Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX und CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ für die werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung

	Kenndaten	Carbonfilamentgarne in Kettrichtung	Carbonfilamentgarne in Schussrichtung
1	Fasergehalt	48K / 50K Carbonfilamentgarne	12K Carbonfilamentgarne
2	Garnfeinheit (Mittelwert) [tex]	3200 / 3300 o. 3450	800
3	Garnzugfestigkeit getränkt* [N/mm <sup>2</sup> ] Mittelwert	1.700 <sup>1)</sup>	1700 <sup>2)</sup>
4	Elastizitätsmodul Garn getränkt* [N/mm <sup>2</sup> ] Mittelwert	170.000 <sup>1)</sup>	152.000 <sup>2)</sup>
* Die getränkten Carbonfilamentgarne sind der getränkten Carbongitterbewehrung zu entnehmen.			
1) Prüfung 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) Prüfung wie <sup>1)</sup> , jedoch bei 200 mm freier Einspannlänge der getränkten Schussfäden, Prüfgeschwindigkeit 80 mm/min, um analoge Prüfung ab einer Warenbreite von 1,20 m der Carbongitterbewehrung zu ermöglichen			

### 2.1.2 Tränkungsmittel Lefasol VLT-1

Das Tränkungsmittel ist eine filmbildende Dispersion. Mit dieser werden die Garne 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.

Zusammensetzung und Eigenschaften des Tränkungsmittels müssen den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben entsprechen.

### 2.1.3 Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL

Der Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL wird werkmäßig als Trockenmörtel hergestellt. Feinbetonproben müssen nach 28 d Erhärtung bei Prüfung nach DIN EN 196-1<sup>1</sup> die in Tabelle 2 aufgeführten Eigenschaften aufweisen.

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

**Tabelle 2: Kenndaten Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL**

Eigenschaften	Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL
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>

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

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

### 2.2.1 Herstellung

#### 2.2.1.1 Getränkte Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ

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

Die Carbongitterbewehrung ist so herzustellen, dass die Carbonfilamentgarne in Kettrichtung und Schussrichtung ohne Welligkeit ausgerichtet, mit dem Tränkungsmittel vollständig imprägniert, getrocknet und ausreichend vernetzt werden.

Die Carbongitterbewehrung muss in der Regel auf Rollen mit einem inneren Mindestrollendurchmesser von 30 cm aufgerollt werden.

Die Rollen der Carbongitterbewehrung sind unverwechselbar und dauerhaft mit der Bezeichnung des Typs der Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ sowie dem Herstellungsdatum zu kennzeichnen.

#### 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 Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL

Der Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL 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 Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ

Beim Transport und der Lagerung müssen die Rollen der Carbongitterbewehrung vor der Witterung und vor Verschmutzung durch die Verpackung geschützt 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.

#### 2.2.2.3 Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL

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 Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ

Die Verpackungen und die Pappkerne der Rollen der getränkten Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ sind unverwechselbar mit folgenden Angaben zu versehen:

<sup>2</sup> Die genaue Bezeichnung der Werke ist beim DIBt hinterlegt.

- Bezeichnung des Typs der Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ,
- Herstellungsdatum,
- Chargennummer,
- bauaufsichtliches Übereinstimmungszeichen unter Angabe der Zulassungsnummer.

#### 2.2.3.3 Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL

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-TF10-PAGEL",
- 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 Zulassungsnummer.

## 2.3 Übereinstimmungsbestätigung

### 2.3.1 Allgemeines

Die Bestätigung der Übereinstimmung der Bauprodukte nach den Abschnitten 2.1.1 (Getränkte Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ) und 2.1.3 (Feinbeton CARBOrefit-TF10-PAGEL) mit den Bestimmungen dieser 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 Übereinstimmungszertifikates 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 Übereinstimmungszertifikates und eine Kopie des Erstprüfberichts 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.

<sup>3</sup> DIN EN 10204:2005-01 Metallische Erzeugnisse; Arten von Prüfbescheinigungen

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle der getränkten Carbongitterbewehrung 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 Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ nach Abschnitt 2.1.1 und des Feinbetons CARBOrefit-TF10-PAGEL nach Abschnitt 2.1.3 sind aufzuzeichnen und auszuwerten. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials 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 mindestens fünf Jahre aufzubewahren und der für die Fremdüberwachung eingeschalteten Überwachungsstelle vorzulegen. Sie sind dem Deutschen Institut für Bautechnik und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

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 Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ nach Abschnitt 2.1.1 und des Feinbetons CARBOrefit-TF10-PAGEL nach Abschnitt 2.1.3 ist das Werk und die werkseigene Produktionskontrolle durch eine Fremdüberwachung regelmäßig zu überprüfen, mindestens jedoch zweimal jährlich.

Im Rahmen der Fremdüberwachung ist eine Erstprüfung der Bauprodukte durchzuführen und müssen auch Proben für Stichprobenprüfungen entnommen werden.

Für die Fremdüberwachung der Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX bzw. CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ sind die Prüfungen nach Anlage 1, Tabelle 2 durchzuführen.

Für die Fremdüberwachung des Feinbetons CARBOrefit-TF10-PAGEL sind die Prüfungen nach Anlage 2, Tabellen 1 und 2 durchzuführen.

Die Probenahme und Prüfung obliegen jeweils der anerkannten Überwachungsstelle.

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 und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

## 3 Bestimmungen für Planung, Bemessung und Ausführung

### 3.1 Planung

Zusätzlich zu den Angaben nach Abschnitt 1.2 sind folgende Randbedingungen zu erfüllen:

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

### 3.2 Bemessung

Für die Bemessung gilt Anlage 5.

Zur Bestimmung des Bemessungswertes der auf die Fläche der Carbongitterbewehrung bezogenen Zugfestigkeit nach Gleichung (abZ 3.1) von Anlage 5 und des Bemessungswertes der auf die Fläche der Carbongitterbewehrung bezogenen Spannung des Carbonbetons bei abgeschlossener Rissbildung im Feinbeton nach Gleichung (abZ 3.2) von Anlage 5 gelten für die in dieser Zulassung enthaltenen Carbongitterbewehrungen folgende Werte:

$$f_{tk, \text{tex}} = 1550 \text{ N/mm}^2, \alpha_{T,t} = 0,85, \alpha_{t \infty, t} = 0,70, \alpha_{D,t} = 1,0, \gamma_{\text{tex}, t} = 1,2, \varepsilon_{\text{und}, \text{tex}} = 0,3\%, \\ \varepsilon_{u, \text{tex}} = 0,75\%, \sigma_{\text{undk}, \text{tex}} = 620 \text{ N/mm}^2$$

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

Die für die Bemessung wichtigen geometrischen Eigenschaften der Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX und CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ in Kettrichtung sind:

$$\alpha_{K, \text{tex}} = 140 \text{ mm}^2 / \text{m}, A_{1\text{texK}} = 1,8 \text{ mm}^2 \text{ und } n_{\text{texK}} = 78 / \text{m}$$

Zur Bestimmung des Bemessungswertes der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung  $T_{bd, \text{tex}}$  nach Gleichung (abZ 8.19) von Anlage 5 gelten für die in dieser Zulassung enthaltenen Carbongitterbewehrungen folgende Werte:

$$T_{bk, \text{tex}} = 4,0 \text{ N/mm}, \alpha_{T,b} = 0,45, \alpha_{t \infty, b} = 0,47, \alpha_{D,b} = 1,0 \text{ und } \gamma_{\text{tex}, b} = 1,5$$

Die Formelzeichen werden in Abschnitt 1.6 von Anlage 5 erklärt.

Weitere geometrische Eigenschaften in Schussrichtung der Carbongitterbewehrung CARBOrefit-BZT1-TUDATEX und CARBOrefit-BZT2-W.KNEITZ sind:

$$\alpha_{S, \text{tex}} = 28 \text{ mm}^2 / \text{m}, A_{1\text{texS}} = 0,451 \text{ mm}^2, n_{\text{texS}} = 62,5 / \text{m}$$

Die Formelzeichen werden in Abschnitt 1.6 von Anlage 5 erklärt.

### 3.3 Ausführung

#### 3.3.1 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 "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 "Grundsätze für den Eignungsnachweis"<sup>4</sup> muss während der entscheidenden Phasen auf der Baustelle anwesend sein und die begleitenden Kontrollen nach Abschnitt 3.3.7 und 3.3.8 durch das Baustellenfachpersonal nach "Grundsätze für den Eignungsnachweis"<sup>4</sup> durchführen lassen und selbst stichprobenartig überprüfen.

Die Herstellung der Verstärkung darf nur von Baustellenfachpersonal nach "Grundsätze für den Eignungsnachweis"<sup>4</sup> ausgeführt werden.

<sup>4</sup> Deutsches Institut für Bautechnik:  
Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach allgemeiner Bauartgenehmigung (Fassung Februar 2021)

### 3.3.2 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.

### 3.3.3 Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil

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

Der Erwartungswert des Mittelwertes der Oberflächenzugfestigkeit der Betonoberfläche  $f_{ctm,surf}$  (untere Vertrauensgrenze mit 95 % Zuverlässigkeit (einseitig)) im Bereich der Verstärkungsflächen aus den Messungen nach Abschnitt 3.3.2 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.

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

### 3.3.4 Anforderungen an die Carbongitterbewehrung und den Feinbeton

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

### 3.3.5 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.

<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

Risse im Beton im Bereich der Verstärkung, die zur Korrosion der Bewehrung führen können oder Risse mit Flüssigkeitsdurchtritt sind gemäß DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen"<sup>8</sup> zu behandeln.

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 Stoffen 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. Der Erwartungswert des Mittelwerts der Oberflächenzugfestigkeit der Betonoberfläche oder der reprofilierten Betonoberfläche im Bereich der Verstärkungsflächen ist gemäß Anlage 6 auszuwerten. 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 DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen"<sup>8</sup>, Teil 2, Abschnitt 2.3.5 (2) 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.

8

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)

### 3.3.6 Spritz- und Laminierarbeiten

Die Bahnen der Carbongitterbewehrung 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 der Carbongitterbewehrungsbahnen nicht unterschritten werden darf, beträgt 30 mm.

Die Carbongitterbewehrungsbahnen 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 Carbongitterbewehrung bewehrt werden, muss nach der Einarbeitung einer Lage Carbongitterbewehrung zunächst immer eine Schicht Feinbeton auflaminiert bzw. aufgespritzt werden. Anschließend wird die frisch eingearbeitete Lage Carbongitterbewehrung erneut durch Spritzen oder Handlaminieren 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 Carbongitterbewehrung bis zur Erhärtung des Feinbetons keinen Erschütterungen und Bewegungen ausgesetzt sein.

Die Carbonbetonschichten müssen im ausgehärteten Zustand eben nach Abschnitt 3.3.7.4 sein.

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

Maximal dürfen 4 Lagen Carbongitterbewehrung ausgeführt werden.

Eine aufgespritzte oder handlamierte Carbonbetonschicht muss im Durchschnitt mindestens 6 mm betragen.

Vor der Belastung des Bauwerks müssen Abreißprüfungen nach DIN EN 1542<sup>6</sup> am Bauwerk sowie Verbundprüfungen an gesondert hergestelltem Carbonbetonprobekörpern nach Abschnitt 3.3.7.4 durchgeführt werden und die 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.

### 3.3.7 Prüfungen während der Ausführung

#### 3.3.7.1 Überprüfung der Voraussetzungen

Der Bauausführende hat sich davon zu überzeugen, dass

- a) die Carbongitterbewehrung und der Feinbeton das Übereinstimmungszeichen nach dieser Zulassung aufweisen,
- b) das Verbrauchsdatum noch nicht abgelaufen ist,
- c) die in den Abschnitten 3.3.1 bis 3.3.6 genannten Bedingungen eingehalten sind.

#### 3.3.7.2 Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit

Auf der gemäß Abschnitt 3.3.5 vorbehandelten Betonfläche wird an mindestens fünf Stellen die Oberflächenzugfestigkeit des Betons gemäß DIN EN 1542<sup>6</sup> mit Ringnut ermittelt.

#### 3.3.7.3 Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons

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

#### 3.3.7.4 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  $\Delta h = 1 \text{ mm}$  betragen.

Einsinnige Krümmungen, welche die gezogenen Carbonbetonschichten gegen den Altbeton drücken (konvexe Krümmungen), sind zulässig. Bei einsinniger Krümmungen, welche die gezogenen Carbonbetonschichten vom Altbeton wegziehen (konkave Krümmungen), ist ein statischer Nachweis entsprechend Anlage 5, Abschnitt abZ 6.2.5.1, Absatz (abZ 4) 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 immer Versagen im Altbeton auftreten (siehe Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 9). Ausnahmen sind zulässig, wenn die Haftzugfestigkeit im Mittel über  $3 \text{ N/mm}^2$  und der kleinste Wert über  $2 \text{ N/mm}^2$  beträgt.

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 Carbongitterbewehrung wie die Carbonbetonschicht herzustellen und unter den gleichen Bedingungen zu lagern, wie das verstärkte Bauteil selbst.

### 3.3.8 Überwachung der Ausführung

#### 3.3.8.1 Allgemeines

Für die Überwachung der Ausführung gilt die DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen"<sup>8</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 3.3.8.2 sowie die Vollständigkeit der Überwachung durch den Bauausführenden gemäß Anlage 3 sind durch die Überwachungsstelle zu kontrollieren.

#### 3.3.8.2 Voraussetzungen

Das ausführende Unternehmen muss seine Eignung zur bestimmungsgemäßen Herstellung von Verstärkungen von Betonbauteilen mit Carbonbeton durch eine geltende Bescheinigung gemäß "Grundsätze für den Eignungsnachweis"<sup>4</sup> gegenüber einer dafür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle nachweisen.

Das ausführende Unternehmen muss über eine qualifizierte Führungskraft und über Baustellenfachpersonal gemäß "Grundsätze für den Eignungsnachweis"<sup>4</sup> verfügen.

#### 3.3.8.3 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 und Abmessungen der Carbongitterbewehrung
4. Aufsteller und Prüfer der statischen Berechnung, Verstärkungsgrad
5. Zeitpunkt der Verstärkung
6. Eigenschaften von Beton und Betonstahl nach Abschnitt 3.3.2
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,
  - relative Luftfeuchten,
  - Oberflächenzugfestigkeit des Betons vor dem Verstärken,
  - Einstellung des Mantelluft-Drucks nach Anlage 4, Abschnitt 3
  - Abreißprüfung der Carbonbetonschicht nach Abschnitt 3.3.7.4 bzw. Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 9,
  - Ebenheit der Carbongitterlagen in der Feinbetonschicht und
  - Verbundtragfähigkeit der Carbongitterbewehrung im Feinbeton nach Abschnitt 3.3.7.4 bzw. Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 10.

Dr.-Ing. Wilhelm Hintzen  
Referatsleiter

Beglaubigt  
Alex

Tabelle 1: Prüfungen am Tränkungsmitel für das Abnahmeprüfzeugnis "3.1" nach DIN EN 10204

	Prüfung	Anforderung	Häufigkeit
1	Thermogravimetrische Analyse am Tränkungsmitelfilm 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 Tränkungsmitelfilm 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 2: Werkseigene Produktionskontrolle für die Carbongitterbewehrungen

	Komponente/Produktionsschritt	Prüfung	Anforderung	Häufigkeit
1	Carbonfilamentgarne	Wareneingangskontrolle über Abnahmeprüfzeugnis "3.1" nach DIN EN 10204:2005-01	Übereinstimmung mit den beim DIBt hinterlegten Daten	jede Rohmaterial-Charge
2	Komponenten des Tränkungsmitels			jede Rohmaterial-Charge
3	Herstellung des Carbongitters	Sichtkontrolle auf Fehlstellen und deren Markierung am Warenrand		Laufend
4	Tränken, Trocknen und Vernetzen der Tränkung auf dem Carbongitter	Flächengewicht Textilbewehrung ohne Tränkung [g/m <sup>2</sup> ] nach DIN EN 12127, Tränkungsmitelanteil im Textil	siehe "Besondere Bestimmungen" Tabelle 1, Zeilen 9 und 11	zu Beginn jeder Produktionscharge, danach 2 mal pro 1000 laufende Meter (nur Tränkungsmitelanteil)
5	Getränktes Carbongitter	Qualität der Imprägnierung der Garne mit dem Tränkungsmitel	Sichtkontrolle	wie 4
6	Getränktes Carbongitter	Festigkeit getränkter Carbonfilamentgarne (aus dem Carbongitter entnommen)	siehe "Besondere Bestimmungen" Tabelle 1, Zeile 6	zu Beginn jeder Produktionscharge und nach jedem Spulenwechsel der Kettgarne, mindestens jedoch 1mal pro 2000 laufende Meter
7		Zugfestigkeit Carbonbeton nach Abschnitt 3 von Anlage 1	siehe Abschnitt 3.3 von Anlage 1	<b>Erstprüfung:</b> 10 Proben aus den ersten 100 m <sup>2</sup> oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche <b>Laufende Produktion:</b> 5 Proben je laufende 400 m <sup>2</sup> oder 5 Proben je Produktionswoche
8		Verbundfestigkeit Carbonbeton nach Abschnitt 4 von Anlage 1	siehe Abschnitt 4.3 von Anlage 1	wie 7

**Fremdüberwachung für die Carbongitter**

Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle und alle Prüfungen stichprobenartig

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmitel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 1 von 7

## Prüfung des Carbongitters in Verbindung mit dem Feinbeton

### 1 Probenherstellung

Die verwendeten Probekörper werden, wie in Bild 1 gezeigt, unter Verwendung der in Bild 1 oder 2 der "Besonderen Bestimmungen" gezeigten Carbongitterbewehrung im Handlaminierverfahren zunächst als großformatige Carbonbetonplatten auf glatten nicht saugenden Stahlschalungen hergestellt. Der Einbau der erforderlichen Anzahl an Carbongitter- und Feinbetonlagen erfolgt abwechselnd, beginnend und abschließend mit einer Feinbetonschicht. Die Bewehrungslagen sind symmetrisch zur Probendicke, eben und parallel zur Plattenoberfläche angeordnet. Die Kettfäden verlaufen in Längsrichtung. Nach dem Aufbringen der oberen Betondeckschicht wird diese glatt abgezogen.



Bild 1: Herstellung der Carbonbetonplatte im Handlaminierverfahren

### 2 Zuschnitt, Lagerung und Nachbehandlung

Die Lagerung der Proben erfolgt in Anlehnung an DIN 18555-3, Tabelle 1. Im Anschluss an die Herstellung bleiben die Carbonbetonplatten für drei Tage bei einer Temperatur von ca. 20 °C, gegen Austrocknen geschützt, in der Schalung. Nach dem Ausschalen folgt eine Aufbewahrung bis zum 7. Tag in Wasser (20 °C). Anschließend werden die Proben bis zum Prüftermin in der Klimakammer bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte gelagert. Der Zuschnitt der Einzelproben aus den Carbonbetonplatten (siehe Abschnitte 3 und 4) erfolgt nach ca. 21 Tagen mit einer wassergekühlten, diamantbesetzten Säge. Es ist in Prüfrichtung auf eine symmetrische Garnanordnung zu achten. Ein Ansägen einzelner in Prüfrichtung verlaufender Garne ist zu vermeiden. Der Prüfung erfolgt bei einem Probenalter von 28 Tagen.

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
Tränkungsmittel und Carbongitter

Anlage 1  
Seite 2 von 7

### 3 Zugfestigkeit des Carbonbetons

#### 3.1 Probekörper und Versuchsaufbau

Die Überprüfung der einaxialen Zugfestigkeit der Carbongitterbewehrung im Carbonbeton erfolgt anhand von zweilagig carbongitterbewehrten Probekörpern mit Abmessungen von 1200 mm x 60 mm x 9/15 mm (Bild 2), welche aus großformatigen Carbonbetonplatten so zugeschnitten werden, dass die Kettfäden in Längsrichtung verlaufen, siehe Abschnitt 1.

Für die Sicherstellung eines Zugbruchversagens und zur Vermeidung eines vorzeitigen Auszuges der Garne aus dem Lasteinleitungsbereich werden bei der Probekörperherstellung Bewehrungszulagen in den beidseitigen Endverankerungsbereichen angeordnet. Außerdem werden die Carbongitterbewehrungen einschließlich der Zulagen in den Endverankerungsbereichen mit einer zusätzlichen verbundverbessernden Beschichtung mit Epoxidharz und Sand versehen. Dies führt außerhalb des mittleren Untersuchungsbereiches zu einer Erhöhung der Probekörperdicke von 9 auf 15 mm siehe Bild 2.

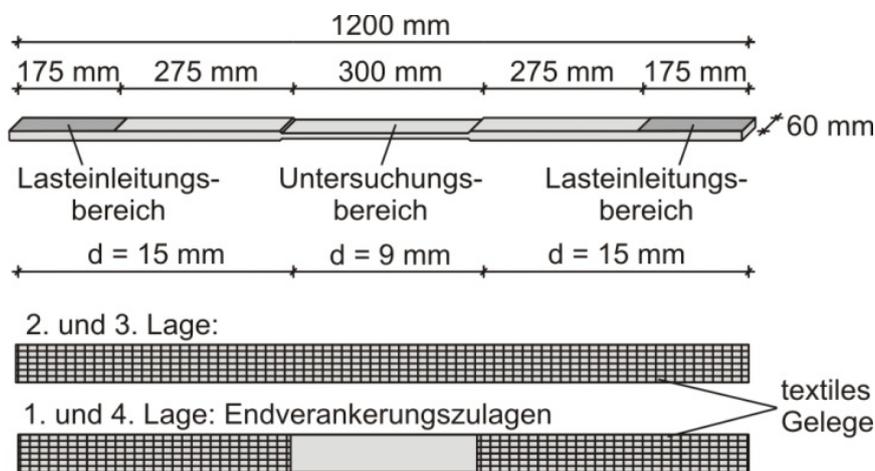


Bild 2: Probekörperaufbau für den Zugversuch

Für den einaxialen Zugversuch werden die Proben im oberen und unteren Lasteinleitungsbereich zwischen Stahlplatten auf einer Länge von jeweils 175 mm gleichmäßig geklemmt (Bild 3). Zwischen den stählernen Klemmbacken und der Probenoberfläche erfolgt die Anordnung einer Ausgleichsschicht aus 0,5 mm dickem Schleifgewebe. Der Anpressdruck wird so festgelegt, dass sowohl ein Rutschen der Probe in der Lasteinleitung als auch ein Überschreiten der Druckfestigkeit der Probe zwischen den Lasteinleitungsplatten vermieden wird.

Um eine Spaltrissbildung im Bereich des Höhengsprunges zu vermeiden, ist hier eine zusätzliche kleinteilige Klemmung, bestehend aus beidseitigen Stahlblechen mit den Abmessungen 100 mm x 30 mm x 5 mm und beidseitiger Verschraubung, anzubringen.

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 1 Seite 3 von 7
Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung Tränkungsmitel und Carbongitter	

### 3.2 Versuchsdurchführung und Messgrößen

Nach dem Anbau der oberen und unteren Lasteinleitungsstruktur erfolgt der Einbau der Proben in eine servohydraulische Prüfmaschine der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN 12390-4 mit einem Messbereich bis mindestens 60 kN. Die Lasteinleitungsstruktur ist dabei jeweils über eine Gelenkstruktur mit der Prüfmaschine verbunden, sodass die Lasteinleitung querkraft- und momentenfrei erfolgt. Zur Ausrichtung der Probe wird eine Vorlast von 0,20 kN aufgebracht. Die weitere Belastung wird verformungsgesteuert mit einer Belastungsgeschwindigkeit von ca. 1 mm/min durchgeführt. Während des Zugversuches werden die Maschinenkraft  $F$ , der Maschinenweg  $s$  sowie die Längenänderung  $\Delta l$  im Untersuchungsbereich auf der Vorder- und Rückseite der Probe durch beidseitig angebrachte Extensometer mit einer Messlänge  $l = 200$  mm bestimmt. Die Aufzeichnung erfolgt mit einer Messrate von 5 Hz. Die Anzahl der zu prüfenden Probekörper ergibt sich bei der werkseigenen Produktionskontrolle des Carbonegitters nach Anlage 1, Tabelle 2, Zeile 7.

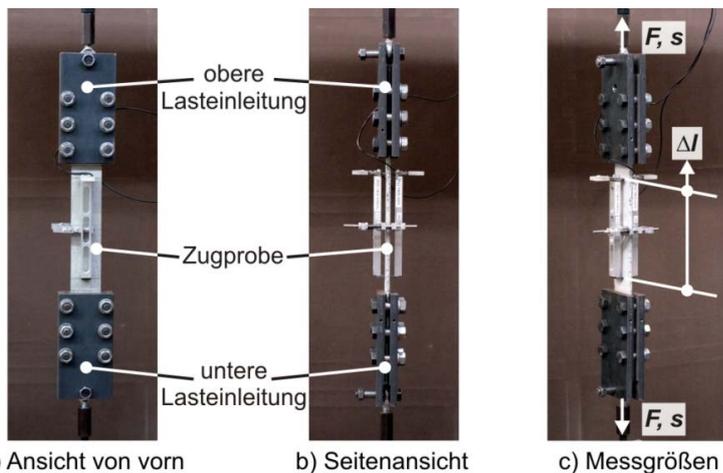


Bild 3: prinzipieller Versuchsaufbau des Zugversuchs

### 3.3 Dokumentation und Versuchsauswertung

Als Ergebnis des Dehnkörperversuches sind die Bruchkraft  $F_u$  sowie die zugehörige Längenänderung  $\Delta l_u$  im Bereich der beidseitig angeklebten Extensometer zu bestimmen. Unter Beachtung der Anzahl der im Querschnitt vorhandenen Garne  $n$ , der Querschnittsfläche eines Kettfadens  $A_{1\text{texK}}$  sowie der Messlänge  $l$  wird die Bruchspannung bezogen auf den Faserstrangquerschnitt  $f_{y,\text{tex}}$  sowie die zugehörige Bruchdehnung  $\epsilon_{\text{tex},u}$  nach Gl. (3.1) und Gl. (3.2) bestimmt.

$$f_{y,\text{tex}} = F_u / (n \cdot A_{1\text{texK}}) \quad (3.1)$$

$$\epsilon_{\text{tex},u} = \Delta l_u / l \quad (3.2)$$

Die nachgewiesenen Bruchspannungen dürfen folgende Werte nicht unterschreiten:

Einzelwerte  $f_{y,\text{tex},i} \geq 1800 \text{ N/mm}^2$

Mittelwert aus den letzten 10 Proben  $f_{y,\text{tex},m} \geq 1950 \text{ N/mm}^2$

Hierbei muss das Verhältnis von Bruchspannung zu Bruchdehnung  $f_{y,\text{tex}}/\epsilon_{\text{tex},u}$  innerhalb des nachfolgend dargestellten Wertebereiches liegen.

Einzelwerte  $160.000 \text{ N/mm}^2 \leq f_{y,\text{tex},i}/\epsilon_{\text{tex},u,i} \leq 300.000 \text{ N/mm}^2$

Mittelwert aus den letzten 10 Proben  $170.000 \text{ N/mm}^2 \leq f_{y,\text{tex},m}/\epsilon_{\text{tex},u,m} \leq 240.000 \text{ N/mm}^2$

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung  
 Tränkungsmitel und Carbonegitter

Anlage 1  
 Seite 4 von 7

#### 4 Verbundfestigkeit des Carbongitters zum Feinbeton

##### 4.1 Probekörper und Versuchsaufbau

Die einlagig carbongitterbewehrten Probekörper besitzen Abmessungen von ca. 275 mm × 60 mm × 9 mm (Bild 4). Die Kettfäden verlaufen dabei in Längsrichtung. Die Krafteinleitung in die Probe erfolgt an der Ober- und an der Unterseite der Probe außerhalb der Auszugsbereiche über eine Klemmvorrichtung. Der obere, kurze Verankerungsbereich  $l_E$  wird nach unten hin durch die Anordnung einer Sollrissstelle mittels beidseitiger Sägeschnitte begrenzt. Über die Anordnung eines Sägeschnittes unterhalb der Klemmeinspannung mit einer Durchtrennung des zu prüfenden Kettfadens wird die obere Auszugslänge  $l_E$  für die untersuchte Carbongitterkonfiguration mit dem jeweiligen einfachen Schussfadenabstand festgelegt. Der Schussfaden befindet sich dabei in der Mitte des oberen Verankerungsbereichs. Es wird jeweils nur ein Garn geprüft. Dieses ist im unteren, langen Probenteil auf einer durch einen Sägeschnitt begrenzten Länge von 180 mm verankert.

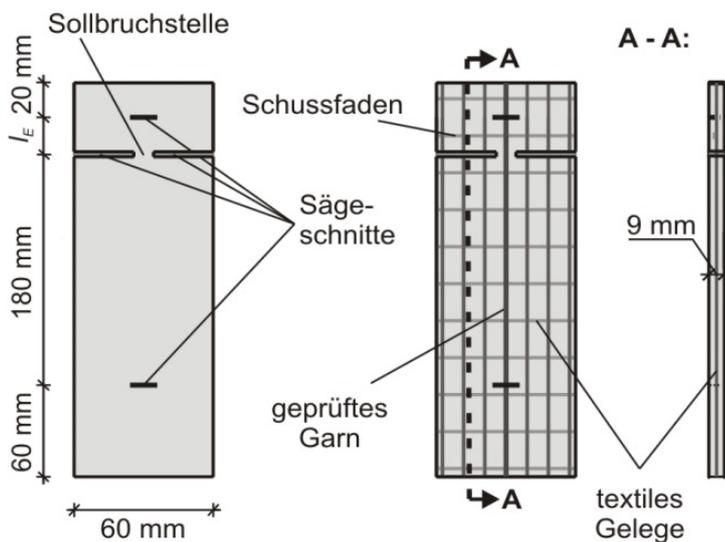


Bild 4: Probekörperaufbau für den Faserstrangauszugversuch

#### 4.2 Versuchsdurchführung und Messgrößen

Nach dem Anbau der oberen Lasteinleitungsstruktur werden die Proben in eine servohydraulische Zugprüfmaschine der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN 12390-4 mit einem geeigneten (kleinen) Messbereich eingespannt, siehe Bild 5. Der Kraftaufnehmer befindet sich an der Oberseite der Prüfmaschine.

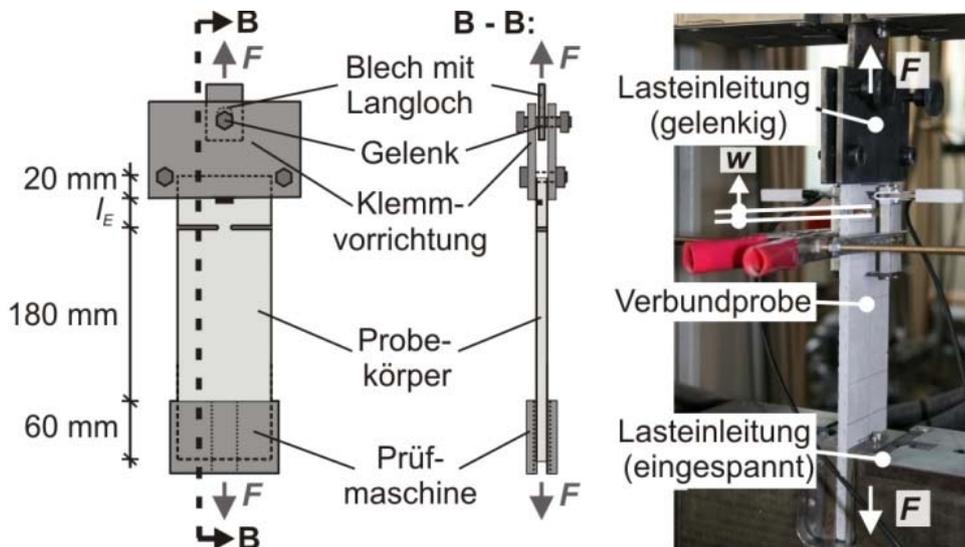


Bild 5: Versuchsaufbau des Faserstrangauszugversuchs

Die Auszugversuche erfolgen weggesteuert mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min. Als Messgrößen werden neben der Maschinenkraft  $F$  und dem Maschinenweg  $s$  die Rissöffnung  $w$  im Bereich der Sollbruchstelle mittels beidseitig angeklebter Extensometer aufgenommen. Die Messrate beträgt 5 Hz.

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. (4.1) berücksichtigt werden.

$$F_G(w) = F(w) - F_{\text{kor}} \quad (4.1)$$

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.

Die Anzahl der zu prüfenden Auszugskörper ergibt sich bei der werkseigenen Produktionskontrolle des Carbongitters nach Anlage 1, Tabelle 2, Zeile 8 und bei der Überwachung auf der Baustelle nach Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 10.

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-31.10-182

### 4.3 Dokumentation und Versuchsauswertung

Aus den aufgezeichneten Daten werden Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen abgeleitet. Diese werden 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 6.

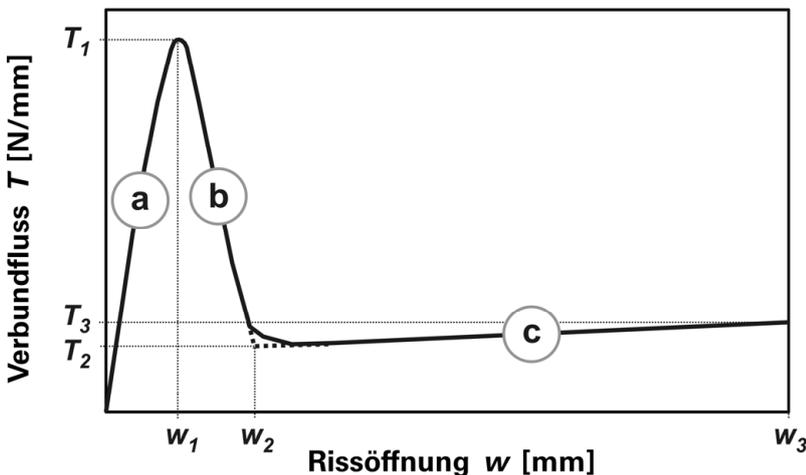


Bild 6: Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungskurve

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. (4.2).

$$T(w) = F_G(w) / l_E \tag{4.2}$$

Die charakteristischen Punkte  $T_2$  und  $T_3$  der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehungen (siehe Bild 6) dürfen folgende Werte nicht unterschreiten:

Einzelwerte	$T_{2,i}; T_{3,i} \geq 3,96 \text{ N/mm}^2$
Mittelwert aus den letzten 10 Proben	$T_{2,m}; T_{3,m} \geq 4,72 \text{ N/mm}^2$

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

Einzelwerte	$T_{1,i} \leq 33,7 \text{ N/mm}^2$
Mittelwert aus den letzten 10 Proben	$T_{1,m} \leq 30,2 \text{ N/mm}^2$

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

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  
Werkseigene 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.-%																						
5	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>≥ 5,5 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	≥ 5,5 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	≥ 5,5 N/mm <sup>2</sup>																									
6	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>																									
7	Rohdichte	DIN EN 1015-6	1,95 kg/dm <sup>3</sup> bis 2,15 kg/dm <sup>3</sup>																							
8		Gehalt an Zusatzstoffen	Aufzeichnen der zugegebenen Menge	Überprüfen des Gehaltes in Übereinstimmung mit den beim DIBt hinterlegten Angaben	Jede Charge																					
9		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> ) Berlin: Beuth, 2014 (Vertriebs-Nr. 65030)
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		Frischbetonkonsistenz 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 196-1	1,95 kg/dm <sup>3</sup> bis 2,15 kg/dm <sup>3</sup>	Bei Prüfung der Druckfestigkeit
9		Haftfestigkeit am Bauwerk gemäß DIN EN 1542, entsprechend "Besondere Bestimmungen", Abschnitt 3.3.7.4	Versagen in der Altbetonschicht	Eine Prüfung je angefangene 250 m <sup>2</sup> oder mindestens 3 Prüfungen je Projekt, Mindestens drei Proben je Prüfung

<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 4.1	Verbundprüfung entsprechend Anlage 1, Abschnitt 4	Anforderungen gemäß Anlage 1, Abschnitt 4.2	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 Trockenrohichte 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) )  
Berlin: Beuth, 2014 (Vertriebs-Nr. 65030)

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle

Anlage 3  
Seite 3 von 3

## 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 Mantelluftstromdüse

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

(abZ 1) Das Präfix abZ kennzeichnet in dieser Anlage der von dem Bescheid erfassten 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.

(abZ 2) Diese Anlage der von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung regelt die Bemessung der Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton.

(abZ 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>.

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-31.10-182

1	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
2	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

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
 Seite 1 von 28

Inhaltsverzeichnis		Seite
<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES</b> .....	<b>8</b>
1.1	Anwendungsbereich .....	8
1.1.1	Anwendungsbereich des Eurocode 2 .....	8
1.1.2	Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1 .....	8
abZ 1.1.3	Anwendungsbereich der allgemeinen Bauartgenehmigung .....	8
1.2	Normative Verweisungen .....	8
1.2.1	Allgemeine normative Verweisungen .....	8
1.2.2	Weitere normative Verweisungen .....	8
1.3	Annahmen .....	8
1.4	Unterscheidungen zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln .....	8
1.5	Begriffe .....	9
1.5.1	Allgemeines .....	9
1.5.2	Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm .....	9
1.6	Formelzeichen .....	9
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN DER TRAGWERKSPLANUNG</b> .....	<b>10</b>
2.1	Anforderungen .....	10
2.1.1	Grundlegende Anforderungen .....	10
2.1.2	Behandlung der Zuverlässigkeit .....	10
2.1.3	Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Qualitätssicherung .....	10
2.2	Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen .....	10
2.3	Basisvariablen .....	10
2.3.1	Einwirkungen und Umgebungseinflüsse .....	10
2.3.2	Eigenschaften von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen .....	11
2.3.3	Verformungseigenschaften des Betons .....	11
2.3.4	Geometrische Angaben .....	11
2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten .....	11
2.4.1	Allgemeines .....	11
2.4.2	Bemessungswerte .....	11
2.4.3	Kombinationsregeln für Einwirkungen .....	11
2.4.4	Nachweis der Lagesicherheit .....	11
2.5	Versuchsgestützte Bemessung .....	11
2.6	Zusätzliche Anforderungen an Gründungen .....	11
2.7	Anforderungen an Befestigungsmittel .....	11
NA.2.8	Bautechnische Unterlagen .....	11
NA.2.8.1	Umfang der bautechnischen Unterlagen .....	11
NA.2.8.2	Zeichnungen .....	11
NA.2.8.3	Statische Berechnungen .....	12
NA.2.8.4	Baubeschreibung .....	12
<b>3</b>		
CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton		
Grundlagen der Bemessung		Anlage 5 Seite 2 von 28

	<b>BAUSTOFFE .....</b>	<b>12</b>
3.1	Beton .....	12
3.1.1	Allgemeines .....	12
3.1.2	Festigkeiten .....	12
3.1.3	Elastische Verformungseigenschaften .....	12
3.1.4	Kriechen und Schwinden .....	12
3.1.5	Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen. ....	12
3.1.6	Bemessungswert der Betondruck- und Betonzugfestigkeit .....	12
3.1.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung .....	12
3.1.8	Biegezugfestigkeit .....	12
3.1.9	Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung .....	12
3.2	Betonstahl .....	13
3.2.1	Allgemeines .....	13
3.2.2	Eigenschaften .....	13
3.2.3	Festigkeiten .....	13
3.2.4	Duktilitätsmerkmale .....	13
3.2.5	Schweißen .....	13
3.2.6	Ermüdung .....	13
3.2.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung .....	13
3.3	Spannstahl .....	13
3.3.1	Allgemeines .....	13
3.3.2	Eigenschaften .....	13
3.3.3	Festigkeiten .....	13
3.3.4	Duktilitätseigenschaften .....	13
3.3.5	Ermüdung .....	13
3.3.6	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung .....	13
3.3.7	Spannstähle in Hüllrohren .....	13
3.4	Komponenten von Spannsystemen .....	13
3.4.1	Verankerungen und Spanngliedkopplungen .....	13
3.4.2	Externe Spannglieder ohne Verbund .....	14
abZ 3.5	Baustoffe für eine Verstärkung mit Carbonbeton	14
abZ 3.6	Zu verstärkendes Bauteil	15
<b>4</b>	<b>DAUERHAFTIGKEIT UND BETONDECKUNG .....</b>	<b>15</b>
4.1	Allgemeines .....	15
4.2	Umgebungsbedingungen .....	15
4.3	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit .....	15
4.4	Nachweisverfahren .....	15
4.4.1	Betondeckung .....	15
CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton		
Grundlagen der Bemessung		Anlage 5 Seite 3 von 28

<b>5</b>	<b>ERMITTLUNG DER SCHNITTGRÖßEN .....</b>	<b>16</b>
5.1	Allgemeines .....	16
5.1.1	Grundlagen .....	16
5.1.2	Besondere Anforderungen an Gründungen .....	16
5.1.3	Lastfälle und Einwirkungskombinationen .....	16
5.1.4	Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung) .....	16
5.2	Imperfektionen .....	16
5.3	Idealisierungen und Vereinfachungen .....	16
5.3.1	Tragwerksmodelle für statische Berechnungen .....	16
5.3.2	Geometrische Angaben .....	16
5.4	Linear-elastische Berechnung .....	16
5.5	Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung .....	16
5.6	Verfahren nach der Plastizitätstheorie .....	16
5.6.1	Allgemeines .....	16
5.6.2	Balken, Rahmen und Platten .....	16
5.6.3	Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation .....	16
5.6.4	Stabwerkmodelle .....	16
5.7	Nichtlineare Verfahren .....	17
5.8	Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung .....	17
5.8.1	Begriffe .....	17
5.8.2	Allgemeines .....	17
5.8.3	Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung .....	17
5.8.4	Kriechen .....	17
5.8.5	Berechnungsverfahren .....	17
5.8.6	Allgemeines Verfahren .....	17
5.8.7	Verfahren mit Nennsteifigkeiten .....	17
5.8.8	Verfahren mit Nennkrümmung .....	17
5.8.9	Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte .....	17
5.9	Seitliches Ausweichen schlanker Träger .....	17
5.10	Spannbetontragwerke .....	17
5.10.1	Allgemeines .....	17
5.10.2	Vorspannkraft während des Spannvorgangs .....	17
5.10.3	Vorspannkraft nach dem Spannvorgang .....	17
5.10.4	Sofortige Spannkraftverluste bei sofortigem Verbund .....	17
5.10.5	Sofortige Spannkraftverluste bei nachträglichem Verbund .....	17
5.10.6	Zeitabhängige Spannkraftverluste bei sofortigem und nachträglichem Verbund .....	17
5.10.7	Berücksichtigung der Vorspannung in der Berechnung .....	17
5.10.8	Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	17
5.10.9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung .....	17
5.11	Berechnung für ausgewählte Tragwerke .....	18
abZ 5.12	Querzugnachweis am Ende der Carbonbetonschicht	18

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 4 von 28

<b>6</b>	<b>NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT (GZT)</b>	<b>18</b>
6.1	Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein	18
6.2	Querkraft	18
6.2.1	Nachweisverfahren	18
6.2.2	Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung	18
6.2.3	Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung	18
6.2.4	Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten	18
6.2.5	Schubkraftübertragung in Fugen	18
abZ 6.2.6	Nachweis gegen Versatzbruch	19
6.3	Torsion	19
6.3.1	Allgemeines	19
6.3.2	Nachweisverfahren	19
6.3.3	Wölbkrafttorsion	19
6.4	Durchstanzen	19
6.4.1	Allgemeines	19
6.4.2	Lasteinleitung und Nachweisschnitte	19
6.4.3	Nachweisverfahren	19
6.4.4	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung	20
6.4.5	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung	20
6.5	Stabwerkmodelle	20
6.5.1	Allgemeines	20
6.5.2	Bemessung der Druckstreben	20
6.5.3	Bemessung der Zugstreben	20
6.5.4	Bemessung der Knoten	20
6.6	Verankerung der Längsbewehrung und Stöße	20
6.7	Teilflächenbelastung	20
6.8	Nachweis gegen Ermüdung	20
6.8.1	Allgemeines	20
6.8.2	Innere Kräfte und Spannungen beim Nachweis gegen Ermüdung	20
6.8.3	Einwirkungskombinationen	20
6.8.4	Nachweisverfahren für Betonstahl und Spannstahl	20
6.8.5	Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Schwingbreiten	20
6.8.6	Vereinfachte Nachweise	20
6.8.7	Nachweis gegen Ermüdung des Betons unter Druck oder Querkraftbeanspruchung	20
<b>7</b>	<b>NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (GZG)</b>	<b>21</b>
7.1	Allgemeines	21
7.2	Begrenzung der Spannungen	21
7.3	Begrenzung der Rissbreiten	21
7.3.1	Allgemeines	21
7.3.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite	21
7.3.3	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung	21
7.3.4	Berechnung der Rissbreite	21
7.4	Begrenzung der Verformungen	21
CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton		
Grundlagen der Bemessung		Anlage 5 Seite 5 von 28

7.4.1	Allgemeines .....	21
7.4.2	Nachweis der Begrenzung der Verformungen ohne direkte Berechnung .....	21
7.4.3	Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung .....	21
<b>8</b>	<b>ALLGEMEINE BEWEHRUNGSREGELN .....</b>	<b>22</b>
8.1	Allgemeines .....	22
8.2	Stababstände von Betonstäben .....	22
8.3	Biegen von Betonstäben .....	22
8.4	Verankerung der Längsbewehrung .....	22
8.4.1	Allgemeines .....	22
8.4.2	Bemessungswert der Verbundfestigkeit .....	22
8.4.3	Grundwert der Verankerungslänge .....	22
8.4.4	Bemessungswert der Verankerungslänge .....	22
8.5	Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung .....	23
8.6	Verankerung mittels angeschweißter Stäbe .....	23
8.7	Stöße und mechanische Verbindungen .....	23
8.7.1	Allgemeines .....	23
8.7.2	Stöße .....	23
8.7.3	Übergreifungslänge .....	23
8.7.4	Querbewehrung im Bereich der Übergreifungsstöße .....	23
8.7.5	Stöße von Betonstahlmatten aus Rippenstahl .....	23
abZ 8.7.6	Übergreifungsstöße der Carbongitterbewehrung .....	23
8.8	Zusätzliche Regeln bei großen Stabdurchmessern .....	23
8.9	Stabbündel .....	23
8.9.1	Allgemeines .....	23
8.9.2	Verankerung von Stabbündeln .....	23
8.9.3	Gestoßene Stabbündel .....	23
8.10	Spannglieder .....	23
8.10.1	Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren .....	23
8.10.2	Verankerung von Spanngliedern im sofortigen Verbund .....	23
8.10.3	Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund .....	24
8.10.4	Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder .....	24
8.10.5	Umlenkstellen .....	24
<b>9</b>	<b>KONSTRUKTIONSREGELN .....</b>	<b>24</b>
9.1	Allgemeines .....	24
9.2	Balken .....	24
9.2.1	Längsbewehrung .....	24
9.2.2	Querkraftbewehrung .....	24
9.2.3	Torsionsbewehrung .....	24
9.2.4	Oberflächenbewehrung .....	24
9.2.5	Indirekte Auflager .....	24

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 6 von 28

9.3	Vollplatten	24
9.3.1	Biegebewehrung	24
9.3.2	Querkraftbewehrung	25
9.4	Flachdecken	25
9.4.1	Flachdecken im Bereich von Innenstützen	25
9.4.2	Flachdecken im Bereich von Randstützen	25
9.4.3	Durchstanzbewehrung	25
9.5	Stützen	25
9.5.1	Allgemeines	25
9.5.2	Längsbewehrung	25
9.5.3	Querbewehrung	25
9.6	Wände	25
9.6.1	Allgemeines	25
9.6.2	Vertikale Bewehrung	25
9.6.3	Horizontale Bewehrung	25
9.6.4	Querbewehrung	25
9.7	Wandartige Träger	26
9.8	Gründungen	26
9.8.1	Pfahlkopfplatten	26
9.8.2	Einzel- und Streifenfundamente	26
9.8.3	Zerrbalken	26
9.8.4	Einzelfundament auf Fels	26
9.8.5	Bohrpfähle	26
9.9	Bereiche mit geometrischen Diskontinuitäten oder konzentrierten Einwirkungen (D-Bereiche)	26
9.10	Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen	26
9.10.1	Allgemeines	26
9.10.2	Ausbildung von Zugankern	26
9.10.3	Durchlaufwirkung und Verankerung von Zugankern	26
<b>10</b>	<b>ZUSÄTZLICHE REGELN FÜR BAUTEILE UND TRAGWERKE AUS FERTIGTEILEN</b>	<b>26</b>
<b>11</b>	<b>ZUSÄTZLICHE REGELN FÜR BAUTEILE UND TRAGWERKE AUS LEICHTBETON</b>	<b>26</b>
<b>12</b>	<b>TRAGWERKE AUS UNBEWEHRTEM ODER GERING BEWEHRTEM BETON</b>	<b>26</b>

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 7 von 28

<b>ANHANG A – MODIFIKATION VON TEILSICHERHEITSBEIWERTEN FÜR BAUSTOFFE</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG B – KRIECHEN UND SCHWINDEN</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG C – EIGENSCHAFTEN DES BETONSTAHL</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG D – GENAUERE METHODE ZUR BERECHNUNG VON SPANNKRAFTVERLUSTEN AUS RELAXATION</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG E – INDIKATIVE MINDESTFESTIGKEITSKLASSEN ZUR SICHERSTELLUNG DER DAUERHAFTIGKEIT</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG F – GLEICHUNGEN FÜR ZUGBEWEHRUNG FÜR DEN EBENEN SPANNUNGSZUSTAND</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG G – BODEN-BAUWERK-INTERAKTION</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG H – NACHWEISE AM GESAMTTTRAGWERK NACH THEORIE II. ORDNUNG</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG I – ERMITTLUNG DER SCHNITTGRÖßEN BEI FLACHDECKEN UND WANDSCHEIBEN</b>	<b>27</b>
<b>ANHANG J – KONSTRUKTIONSREGELN FÜR AUSGEWÄHLTE BEISPIELE</b>	<b>27</b>

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-31.10-182

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 8 von 28
Grundlagen der Bemessung	

## 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*

#### abZ 1.1.3 Anwendungsbereich der allgemeinen Bauartgenehmigung

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

(abZ 2) Diese Anlage der von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung gilt nicht für:

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

(abZ 3) Die Anforderungen an Produkte und Systeme für das Verstärken von Betonbauteilen gemäß der vom Bescheid erfassten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind zu beachten.

(abZ 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.

(abZ 5) Für die Anwendung dieser Anlage der von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung muss die Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$  nach Anlage 6 und nach DIN EN 1542<sup>9</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 von dem Bescheid erfassten 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>5</sup>, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton

DIN EN 1542<sup>9</sup>, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch

DIN V 18026<sup>6</sup>, Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2<sup>5</sup>

DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Ausgabe 2001

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

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 DIN EN 1990/NA/A1:2012-08	Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Änderung A1
5	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
6	DIN V 18026:2005-01	Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2:2005-01

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 9 von 28

### 1.3 Annahmen

(abZ 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 von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung vorausgesetzt. In dieser Anlage der von dem Bescheid erfassten 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

##### abZ 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 Carbongitterbewehrung eingearbeitet wird.

##### abZ 1.5.2.28 Getränkte Carbongitterbewehrung

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

$A_{1\text{texK}}$	Carbonfaserquerschnittsfläche eines Garns in Kettrichtung
$A_{1\text{texS}}$	Carbonfaserquerschnittsfläche eines Garns in Schussrichtung
$T_{\text{bk,texK}}$	charakteristischer Wert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung [N/mm]
$T_{\text{bd,texK}}$	Bemessungswert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung [N/mm]

#### Kleine lateinische Buchstaben

$a_{\text{texK}}$	Flächen der Carbongitterbewehrung in Kettrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Kettrichtung [mm <sup>2</sup> /m]
$a_{\text{texS}}$	Flächen der Carbongitterbewehrung in Schussrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Schussrichtung [mm <sup>2</sup> /m]
$f_{\text{ctm,surf}}$	Erwartungswert der Oberflächenzugfestigkeit des zu verstärkenden Betonbauteils (untere Vertrauensgrenze mit 95 % Zuverlässigkeit(einseitig))
$f_{\text{tk,texK}}$	charakteristische Zugfestigkeit des Carbonbetons bezogen auf den Carbonfaserquerschnitt in Kettrichtung
$f_{\text{td,texK}}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit des Carbonbetons bezogen auf den Carbonfaserquerschnitt in Kettrichtung
$s_{\text{r,texK}}$	Schlupf der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung in Kettrichtung

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 10 von 28

### Kleine griechische Buchstaben

$\alpha_{T,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für Temperatureinwirkung
$\alpha_{T,b}$	Abminderungsfaktor für den Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton bei Temperatureinwirkung
$\alpha_{t\infty,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit bei Dauerlast
$\alpha_{t\infty,b}$	Abminderungsfaktor für den Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton bei Dauerlast
$\alpha_{D,t}$	Abminderungsfaktor für die dauerhafte Zugfestigkeit
$\alpha_{D,b}$	Abminderungsfaktor für den dauerhaften Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton
$\gamma_{t, \text{tex}}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Zugfestigkeit des Carbonbetons
$\gamma_{b, \text{tex}}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton
$\varepsilon_{\text{und, tex}}$	Dehnungswert zur Beschreibung der idealisierten bilinearen Materialkennlinie von Carbonbeton
$\varepsilon_{u, \text{tex}}$	Bruchdehnung des Carbonbetons
$\sigma_{\text{undk, tex}}$	charakteristischer Wert der Spannung zur Beschreibung der idealisierten bilinearen Materialkennlinie von Carbonbeton
$n_{\text{texK}}$	Anzahl der Garne in Kettrichtung, je m Breite senkrecht zur Kettrichtung
$n_{\text{texS}}$	Anzahl der Garne in Schussrichtung, je m Breite senkrecht zur Schussrichtung

## 2 Grundlagen der Tragwerksplanung

### 2.1 Anforderungen

#### 2.1.1 Grundlegende Anforderungen

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

(abZ 5) Der Nachweis der am Ort der Verwendung geforderten Feuerwiderstandsfähigkeit eines nach der von diesem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung verstärkten Bauteils ist nach DIN EN 1992-1-2<sup>7</sup> in Verbindung mit DIN EN 1992-1-2/NA<sup>8</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 dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung 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*

7	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
8	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; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004 + AC:2008

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 11 von 28

## 2.3 Basisvariablen

### 2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

#### 2.3.1.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

#### 2.3.1.2 Temperatúrauswirkungen

(abZ 4) Der Carbonbetonschicht dürfen oberhalb der Temperatur  $T_f$  nach den „Besonderen Bestimmungen“ diese Bescheids, 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

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

(abZ 4) Die Anforderungen an die Produkte sowie die Systeme für die Verstärkung sind in den "Besonderen Bestimmungen" der von dem Bescheid erfassten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung enthalten.

#### 2.3.2.2 Kriechen und Schwinden

(abZ 4) Um übermäßiges Kriechen zu verhindern, werden die Dauerverbundfestigkeit und die maximale Anwendungstemperatur in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung 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

(abZ 4) Für Verstärkungen aus Carbonbeton werden in Ergänzung zu DIN EN 1992-1-1 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*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 12 von 28

#### 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*

#### NA.2.8.2 Zeichnungen

(abZ 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.

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

- der erforderliche Erwartungswert 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

(abZ 3)P Diese Anlage der von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung darf nur für Bauteile aus Normalbeton angewendet werden (siehe auch abZ 3.6).

##### 3.1.2 Festigkeiten

(abZ 10)P Die Oberflächenzugfestigkeit  $f_{ctm,surf}$  ist gemäß Anlage 6 dieses Bescheids zu bestimmen.

(abZ 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*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 13 von 28

**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*

**3.1.9 Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**3.2 Betonstahl**

**3.2.1 Allgemeines**

(abZ 6) Diese Anlage der von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung darf auch bei Bauteilen mit Betonstäben und Bewehrungselementen, die nicht den Anforderungen der DIN EN 10080 bzw. DIN 488 entsprechen, angewendet werden.

**3.2.2 Eigenschaften**

(abZ 7) Bei der Verstärkung von Bestandsbauteilen nach der von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung müssen die vorhandenen Betonstäbe nicht DIN EN 1992-1-1, Abschnitte 3.2.2 (2), (3), (4), (5) und (6) erfüllen.

(abZ 8) Die Eigenschaften der vorhandenen Betonstäbe nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.2.2 (1), sollten bekannt sein.

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

(abZ 10) Falls nicht gerippte Betonstäbe 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

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 14 von 28

### 3.3.4 Duktilitätseigenschaften

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 3.3.5 Ermüdung

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

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

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 3.3.7 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*

## abZ 3.5 Baustoffe für eine Verstärkung mit Carbonbeton

(abZ 1) Es gelten die "Besonderen Bestimmungen" der von dem Bescheid erfassten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

(abZ 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 abZ 3.6 angegebenen Bereich.

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

(abZ 4) Die Spannungs-Dehnungslinie bezogen auf den Carbonfaserquerschnitt ist in Bild abZ 5.1 angegeben. Die Bemessungswerte der Festigkeiten  $f_{td,tex}$  und  $\sigma_{undd,tex}$  sind wie folgt zu ermitteln:

$$f_{td,tex} = \alpha_{T,t} \cdot \alpha_{t\infty,t} \cdot \alpha_{D,t} \cdot f_{tk,tex} / \gamma_{tex,t} \quad (\text{abZ 3.1})$$

und

$$\sigma_{undd,tex} = \alpha_{T,t} \cdot \alpha_{t\infty,t} \cdot \alpha_{D,t} \cdot \sigma_{undk,tex} / \gamma_{tex,t} \quad (\text{abZ 3.2})$$

Dabei sind:

$f_{tk,tex}$	charakteristische Zugfestigkeit des Carbonbetons bezogen auf den Carbonfaserquerschnitt in Kettrichtung
$\alpha_{T,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für Temperatureinwirkung
$\alpha_{t\infty,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für das Dauerstandsverhalten
$\alpha_{D,t}$	Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit für die Dauerhaftigkeit
$\gamma_{tex,t}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Zugfestigkeit des Carbonbetons
$\varepsilon_{und,tex}$	Dehnung des Carbonbetons in Kettrichtung, bei abgeschlossener Rissbildung im Feinbeton
$\varepsilon_{u,tex}$	Bruchdehnung des Carbonbetons in Kettrichtung
$\sigma_{undk,tex}$	charakteristischer Wert der Spannung des Carbonbetons in Kettrichtung bei abgeschlossener Rissbildung im Feinbeton

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

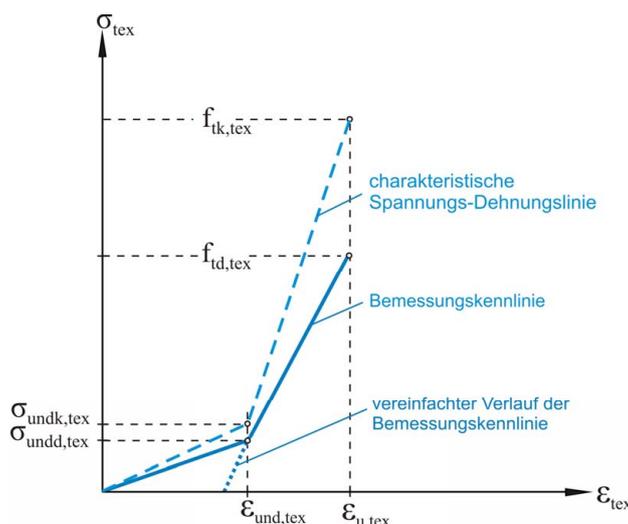
Anlage 5  
Seite 15 von 28

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

$a_{K,tex}$  Flächen der Carbongitterbewehrung in Kettrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Kettrichtung [mm<sup>2</sup>/m]

$a_{S,tex}$  Flächen der Carbongitterbewehrung in Schussrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Schussrichtung [mm<sup>2</sup>/m]

Die Werte für  $f_{tk,tex}$ ,  $\alpha_{T,t}$ ,  $\alpha_{t\infty,t}$ ,  $\alpha_{D,t}$ ,  $\gamma_{tex,t}$ ,  $\varepsilon_{und,tex}$ ,  $\varepsilon_{u,tex}$ ,  $\sigma_{undk,tex}$ ,  $\sigma_{undd,tex}$ ,  $a_{K,tex}$  und  $a_{S,tex}$  sind im Abschnitt 3.1 der „Besonderen Bestimmungen“ angegeben.



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

#### abZ 3.6 Zu verstärkendes Bauteil

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

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

(abZ 3) Die Bemessungsgleichungen gelten für planmäßig gerade bzw. ebene Bauteile. Bei konvex gekrümmten Bauteiloberflächen dürfen die Bemessungsgleichungen jedoch sinngemäß angewendet werden. Die zu verstärkenden Bauteiloberflächen dürfen keine konkave Krümmung aufweisen.

### 4. Dauerhaftigkeit und Betondeckung

#### 4.1 Allgemeines

(abZ 7) Die zulässigen Umgebungsbedingungen, wie Expositionsklassen und weitere Umwelteinflüsse (z. B. Temperatur) sowie die sich daraus ergebenden Maßnahmen werden in der von dem Bescheid erfassten allgemeinen Bauartgenehmigung des Verstärkungsbausatzes, Abschnitt 1.2 geregelt.

#### 4.2 Umgebungsbedingungen

(abZ 4) Es gelten die Angaben nach Abschnitt 1.2 der „Besonderen Bestimmungen“ dieses Bescheids.

#### 4.3 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 16 von 28

**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**

(abZ 15) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, 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.

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

(abZ 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*

**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**

(abZ 7) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, 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.

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
 Seite 17 von 28

## 5.6 Verfahren nach der Plastizitätstheorie

### 5.6.1 Allgemeines

(abZ 6) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, 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

(abZ 16) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, 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*

### 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*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 18 von 28

**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*

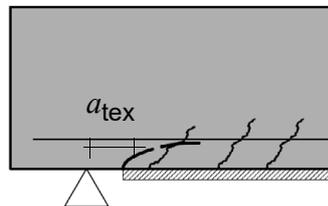
**5.11 Berechnung für ausgewählte Tragwerke**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**abZ 5.12 Querzugnachweis am Ende der Carbonbetonschicht**

(abZ 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 abZ 5.2 schematisch dargestellt.

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



**Bild abZ 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**

(abZ 12) Prinzipiell muss die Querkrafttragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2, eingehalten sein.

**6.2.2 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung**

(abZ 8) Bei der Ermittlung des Bemessungswertes für den Querkraftwiderstand  $V_{Rd,c}$  nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.2, darf die im Feinbeton eingebettete Carbongitterbewehrung nicht bei der Fläche der Zugbewehrung  $A_{sl}$  angerechnet werden.

**6.2.3 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung**

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
 Seite 19 von 28

## 6.2.4 Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

## 6.2.5 Schubkraftübertragung in Fugen

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

(abZ 1) 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.

(abZ 2) Für den Nachweis der Schubkraftübertragung in der Fuge zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht gelten die Regeln nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.5.

(abZ 3) Für den Verbund der Carbonbetonschicht ist die Oberflächenzugfestigkeit im Altbeton bzw. Haftzugfestigkeit zwischen Altbeton und Carbonbetonschicht von Bedeutung. Welche davon maßgebend ist hängt vom Ergebnis der Abreiversuche entsprechend DIN EN 1542<sup>9</sup> nach dem Verstärken ab (bei Bruch im Altbeton ist es die Oberflächenzugfestigkeit im Altbeton, bei Bruch in der Verbundfuge zwischen Altbeton und Carbonbetonschicht ist die Haftzugfestigkeit zwischen Altbeton und Carbonbetonschicht maßgebend). Die Abreißprüfungen sind entsprechend DIN EN 1542<sup>9</sup> durchzuführen. Aus den Messwerten ist der charakteristische Wert der Oberflächenzug- bzw. Haftzugfestigkeit 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  $f_{ctd,0,05}$  nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA verwendet werden.  $f_{ctd,0,05}$  dient dann zur Bestimmung der Schubtragfähigkeit zwischen Altbeton und Carbonbetonschicht nach Gleichung (6.25).

### abZ 6.2.6 Schubkraftübertragung in Fugen

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

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

Dabei ist:

$V_{Rd,ct}$  der Bemessungswert des Querkraftwiderstandes nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, 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 Carbongitterbewehrung (nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, Abschnitt 6.2.2)

$a_{tex}$  der Abstand des Endes der Carbongitterbewehrung von der Mitte des Endauflagers bzw. des Trägerendes (siehe Bild abZ 5.2)

## 6.3 Torsion

### 6.3.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 6.3.2 Nachweisverfahren

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 6.3.3 Wölbkrafttorsion

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

<sup>9</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

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 20 von 28

<b>6.4</b>	<b>Durchstanzen</b>
<b>6.4.1</b>	<b>Allgemeines</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.4.2</b>	<b>Lasteinleitung und Nachweisschnitte</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.4.3</b>	<b>Nachweisverfahren</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.4.4</b>	<b>Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung</b> (abZ 3) Bei der Ermittlung des Bemessungswertes für den Durchstanzwiderstand $v_{Rd,c}$ nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.4.4, darf die im Feinbeton eingebundene Carbongitterbewehrung nicht bei der Fläche der Zugbewehrung $A_{sl}$ angerechnet werden.
<b>6.4.5</b>	<b>Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.5</b>	<b>Stabwerkmodelle</b>
<b>6.5.1</b>	<b>Allgemeines</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.5.2</b>	<b>Bemessung der Druckstreben</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.5.3</b>	<b>Bemessung der Zugstreben</b> (abZ 4) Für die im Feinbeton eingebundene Bewehrung darf als Zugstrebenkraft nur die verankerbare Kraft angesetzt werden.
<b>6.5.4</b>	<b>Bemessung der Knoten</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.6</b>	<b>Verankerung der Längsbewehrung und Stöße</b> (abZ 5) Die Stöße der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung sind gemäß abZ 8.7.6 zu behandeln.
<b>6.7</b>	<b>Teilflächenbelastung</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.8</b>	<b>Nachweis gegen Ermüdung</b>
<b>6.8.1</b>	<b>Allgemeines</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.8.2</b>	<b>Innere Kräfte und Spannungen beim Nachweis gegen Ermüdung</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.8.3</b>	<b>Einwirkungskombinationen</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.8.4</b>	<b>Nachweisverfahren für Betonstahl und Spannstahl</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.8.5</b>	<b>Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Schwingbreiten</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.8.6</b>	<b>Vereinfachte Nachweise</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>
<b>6.8.7</b>	<b>Nachweis gegen Ermüdung des Betons unter Druck oder Querkraftbeanspruchung</b> <i>Keine Ergänzungen oder Änderungen</i>

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton	Anlage 5 Seite 21 von 28
Grundlagen der Bemessung	

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

### 7.1 Allgemeines

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 7.2 Begrenzung der Spannungen

#### Beton, Betonstahl und Spannstahl

(abZ 8) Es gelten die Spannungsbegrenzungen nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA.

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

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

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*

### 7.4 Begrenzung der Verformungen

#### 7.4.1 Allgemeines

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

(abZ 8) Eine Berechnung der Verformungen kann nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.4.3, erfolgen.

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

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

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

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

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

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 22 von 28

## 8 Allgemeine Bewehrungsregeln

### 8.1 Allgemeines

(abZ 5) Es gelten die allgemeinen Bewehrungsregeln gemäß DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, 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

(abZ 3) Der Bemessungswert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung  $T_{bd, \text{tex}}$  darf wie folgt ermittelt werden.

$$T_{bd, \text{tex}} = \alpha_{T, b} \cdot \alpha_{t\infty, b} \cdot \alpha_{D, b} \cdot T_{bk, \text{tex}} / \gamma_{\text{tex}, b} \quad (\text{abZ 8.19})$$

Dabei sind

$T_{bk, \text{tex}}$  charakteristischer Wert der auf die Garnlängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Garns in Kettrichtung der im Feinbeton eingebundenen Carbongitterbewehrung [N/mm]

$\alpha_{T, b}$  Abminderungsfaktor für den Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton bei Temperatureinwirkung

$\alpha_{t\infty, b}$  Abminderungsfaktor für den Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton bei Dauerlast

$\alpha_{D, b}$  Abminderungsfaktor für den dauerhaften Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton

$\gamma_{\text{tex}, b}$  Teilsicherheitsbeiwert für den Verbund der Carbongitterbewehrung im Feinbeton

(abZ 4) Die Werte für die Größen  $T_{bk, \text{tex}}$ ,  $\alpha_{T, b}$ ,  $\alpha_{t\infty, b}$ ,  $\alpha_{D, b}$  und  $\gamma_{\text{tex}, b}$  sind im Abschnitt 3.1 der „Besonderen Bestimmungen“ angegeben.

#### 8.4.3 Grundwert der Verankerungslänge

(abZ 5) Der erforderliche Grundwert der Verankerungslänge  $l_{b, \text{rqd}}$  zur Verankerung der Kraft eines Garns unter Annahme einer konstanten Verbundspannung  $T_{bd, \text{tex}}$  folgt aus der Gleichung:

$$l_{b, \text{rqd}} = \sigma_{\text{tex}} A_{I \text{ texK}} / T_{bd, \text{tex}} \quad (\text{abZ 8.20})$$

Dabei ist  $\sigma_{\text{tex}}$  die vorhandene Spannung im GZT in einem Carbongarn am Beginn der Verankerungslänge.

Werte für  $T_{bd, \text{tex}}$  und  $A_{I \text{ texK}}$  sind in den "Besonderen Bestimmungen", Abschnitt 3.1 angegeben.

#### 8.4.4 Bemessungswert der Verankerungslänge

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

$$l_{bd} = l_{b, \text{rqd}} \geq l_{b, \text{min}} \quad (\text{abZ 8.21})$$

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 23 von 28

dabei ist

$l_{b,min}$  Mindestverankerungslänge. Wenn keine andere Begrenzung gilt:

$$l_{b,min} \geq \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 100 \text{ mm}) \quad (\text{abZ 8.22})$$

### 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*

#### abZ 8.7.6 Übergreifungsstöße der Carbongitterbewehrung

(abZ 1) Die Carbongitterbewehrung darf durch Übergreifung gestoßen werden.

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

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

### 8.8 Zusätzliche Regeln bei großen Stabdurchmessern

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

### 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*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 24 von 28

**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

(abZ 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*

9.2.1.5 Verankerung der unteren Bewehrung an Zwischenauflagern

*Keine Ergänzungen oder Änderungen*

**9.2.2 Querkraftbewehrung**

(abZ 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

(abZ 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.

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

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
 Seite 25 von 28

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

(abZ 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, Abschnitt 8.4.4, zu verankern. Dabei ist das Versatzmaß  $a_1$  der Platten ohne Querkraftbewehrung mit  $1,0d$  anzusetzen. Wird bei verstärkten Platten weniger als 50 % der erforderlichen Feldbewehrung im Auflager verankert, ist das Versatzmaß mit dem Faktor  $0,5 \cdot (\text{erf } A_{s,\text{Feld}} / \text{vorh } A_{s,\text{Auflager}}) \geq 1,0$  zu vergrößern. Unabhängig davon sind bei verstärkten Bauteilen stets mindestens 25 % von  $A_{s,\text{Feld}}$  über das Auflager zu führen.

(abZ 10) Bei dem Nachweis der Endverankerung der Carbonbetonschicht darf das Versatzmaß bei Platten in Änderung zu DIN EN 1992-1-1, 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, 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*

**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*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 26 von 28

- 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*
- 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 von dem Bescheid erfassten 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*

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 27 von 28

**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*

**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

Grundlagen der Bemessung

Anlage 5  
Seite 28 von 28

### Ermittlung der unteren Vertrauensgrenze des Erwartungswerts der Oberflächenzugfestigkeit

(1) Der Erwartungswert der Oberflächenzugfestigkeit ist als untere Vertrauensgrenze mit 95 % Zuverlässigkeit (einseitig) 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)	

CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Erwartungswert der Oberflächenzugfestigkeit

Anlage 6