CARBOrefit®

PLANUNGSMAPPE

VERSTÄRKEN &
INSTANDSETZEN
MIT CARBONBETON

Herausgeber:
CARBOCON GMBH
Mohorner Str. 13
01159 Dresden
Deutschland

Stand: Mai 2024

Kontakt:
Telefon: (+49 351) 48205 500
Telefax: (+49 351) 48205 501
E-Mail: info@carborefit.de
Internet: www.carborefit.de
www.carbocon.de

Bildrecht Deckblatt:
Hyparschale Magdeburg
© Marcus Bredt

Vorwort

In einer Welt, in der Nachhaltigkeit und Effizienz zunehmend an Bedeutung gewinnen, stellt Carbonbeton eine revolutionäre Entwicklung dar. Seine herausragenden Eigenschaften – darunter eine hohe Festigkeit und Dauerhaftigkeit bei gleichzeitigem geringen Gewicht – eröffnen neue Dimensionen für eine Branche, die vor ihrer größten Herausforderung steht. Verbrauchte Ressourcen und ausgestoßene Emissionen haben Größenordnungen erreicht, die nicht mehr im Einklang mit der Umwelt und den für die Branche gesetzten Klimazielen stehen. Der etablierte Umgang mit unseren Bestandsbauten befördert diesen Trend, denn anstelle des Erhalts von Baukonstruktionen wird der Abriss und Ersatzneubau bevorzugt. Um den umwelt- und baugeschichtlichen Aspekten Rechnung zu tragen, empfiehlt es sich die bestehende Bausubstanz zu bewahren. Trotz der Dringlichkeit und Wichtigkeit des Bestandserhalts sind zahlreiche Stahlbetonbauwerke – sowohl im Hoch- als auch im Infrastrukturbereich – vom Abriss bedroht. Alterungserscheinungen und Schäden stellen, ebenso wie zunehmende Belastungen, z. B. aufgrund von Umnutzung oder Verkehrslasterhöhung, statische Herausforderungen dar. Oftmals fehlen geeignete Sanierungs- und Verstärkungsverfahren, die eine ingenieurstechnische Planung und effiziente Umsetzung ermöglichen. Neuartige und innovative Baustoffe – wie beispielsweise der Carbonbeton – können eine Schlüsselrolle einnehmen und konkrete Lösungen für die Herausforderungen der Branche bieten.

Das CARBOrefit®-Verfahren greift die Potentiale des Carbonbetons auf und bietet eine innovative Sanierungs- und Verstärkungslösung für den Bauwerkserhalt. Durch das Verfahren werden nicht nur die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Bauwerken signifikant erhöht, sondern auch Ressourceneffizienz und CO_2-Reduktion erreicht. Wir freuen uns, dass Sie das Verfahren und dessen Vorteile in die Anwendung bringen möchten. Mit der CARBOrefit®-Planungsmappe unterstützen wir Sie auf diesem Weg und stellen zahlreiche erklärende und weiterführende Informationen begleitend zur bauaufsichtlichen Zulassung zur Verfügung.

Die Planungsmappe

Die CARBOrefit®-Planungsmappe ist das Ergebnis intensiver Forschung, praktischer Anwendung und dem Bestreben, Ingenieur:innen, Planer:innen und ausführenden Unternehmen eine zuverlässige und praktikable Ressource für die Planung und Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens an die Hand zu geben. Die Planungsmappe dient als eine Arbeitshilfe, welche umfangreiche Unterstützung und eine Zusammenfassung zahlreicher Hilfestellungen beinhalten. Während die nachfolgenden Kapitel grundlegende Informationen zum CARBOrefit®-Verfahren, dem Werkstoff Carbonbeton sowie zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung (abZ/aBG) Z-31.10-182 enthalten, geben im Anschluss zahlreiche Merkblätter tiefergehende Einblicke in die Bemessung sowie Anwendung des Verfahrens.

Die Planungsmappe dient als ergänzende Arbeitshilfe zur abZ/aBG und stellt kein bauaufsichtliches anerkanntes Regelwerk da. Die Nutzung gilt nur in Zusammenhang mit der abZ/aBG.

Die Merkblätter der Planungsmappe

Die in der CARBOrefit®-Planungsmappe enthaltenen Merkblätter greifen jeweils ein Themengebiet auf, stellen hierzu die wichtigsten Inhalte der Zulassung dar und geben darüber hinaus weitergehende Informationen und Hilfestellungen. Die Planungsmappe wird stetig aktualisiert und fortlaufend durch relevante Merkblätter erweitert.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Die in der Planungsmappe enthaltenen Merkblätter ermöglichen einen tiefergehenden Zugang zu den vier Themenfeldern *CARBOrefit®-Verfahren, abZ/aBG*, *Planung und Bemessung* sowie *Ausführung*. Die Merkblätter sind farblich den Themengebieten zugeordnet; so steht blau für die allgemeine Erläuterung des *CARBOrefit®-Verfahrens*, gelb für den Bereich der *abZ/aBG*, grün für den Bereich der *Planung und Bemessung* und lila für den Bereich der *Ausführung*.

Der nachfolgenden Tabelle können Sie die vorgesehenen Merkblätter entnehmen:

Tabelle 1: Gliederung der Planungsmappe und Auflistung der kapitelzugehörigen Merkblätter

Kapitel	**Merkblätter**	
	Nr.	**Bezeichnung**
1. CARBOrefit® -Verfahren	1.01	Technische Anwendungsmöglichkeiten des CARBOrefit®-Verfahrens
	1.02	Referenzprojekte für die Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens
	1.03	Verfahrensvergleich zwischen einer Carbonbeton- und einer konventionellen Spritzbetonverstärkung
2. abZ/aBG	2.01	Eigenschaften der Gitter und Typen
	2.02	Eigenschaften des Feinbetons
	2.03	Beschreibung der Versuche im Rahmen der WPK
	2.04	Kontaktdaten der Hersteller
3. Planung und Bemessung	3.01	Bemessung und Konstruktion (Nachweisführung)
	3.01-1	Bemessungsbeispiel Typ 1
	3.01-2	Bemessungsbeispiel Typ 3
	3.03	Mustertexte für die Ausschreibung des CARBOrefit®-Verfahren
4. Ausführung	4.01	Prinzip des Verstärkens mit dem CARBOrefit®-Verfahren
	4.01-1	Checkliste Baustelleneinrichtung
	4.02	Dokumentation der Ausführungsarbeiten im Rahmen des Verstärkens mit Carbonbeton
	4.03	In-House-Schulung für ausführenden Unternehmen
	4.03-1	Ablauf der CARBOrefit® In-House-Schulung für den Eignungsnachweis
	4.03-2	Merkliste für die ausführende Firmen in Vorbereitung auf die In-House-Schulung im Rahmen der Zertifizierung für den Eignungsnachweis
	4.04	Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten
	4.04-1	Begleitblatt der Prüfplatten für die Ermittlung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Eigenüberwachung der Verstärkungsarbeiten mit CARBOrefit®
	4.04-1	Mindestmaße für die Herstellung von Prüfplatten für die Durchführung von Übergreifungsversuchen
	4.05	Zertifizierte Firmen mit Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton
	4.06	Liste der geeigneten Prüfstellen/ Institute für die Ermittlung der Verbundeigenschaften auf der Baustelle

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

5. Weiter-führende Informationen		Zusammenstellung von Unterlagen und Veröffentlichungen, die ergänzende Informationen für die Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens beinhalten

Um Sie stets auf dem neuesten Stand zu halten, aktualisieren wir die Inhalte der Planungsmappe regelmäßig, hierfür ist auf jedem Merkblatt der jeweilige Veröffentlichungs- bzw. Aktualisierungszeitpunkt angegeben. Des Weiteren ergänzen wir die Planungsmappe kontinuierlich um zusätzliche Merkblätter, um Ihnen weitere Planungshilfen bereitzustellen und die Weiterentwicklungen zu berücksichtigen.

Auf unserer Website www.carborefit.de sowie auf der CARBOrefit®-LinkedIn-Seite finden Sie die jeweiligen Ergänzungen. Wir empfehlen zudem eine Anmeldung für den CARBOrefit®-Newsletter, sofern Sie über Neuigkeiten aus der Planungsmappe per E-Mail informiert werden wollen. Darüber hinaus steht Ihnen das CARBOrefit®-Konsortium bei Rück- und Anfragen jederzeit zur Verfügung. Wir unterstützen Sie gerne mit unserer Fachexpertise und Erfahrung!

Kontakt:

Frau Miriam Melzer

+49 351 48205 521

info@carborefit.de

Wir laden Sie herzlich dazu ein, die vielfältigen Möglichkeiten des CARBOrefit®-Verfahrens zum Verstärken mit Carbonbeton zu entdecken und in Ihren Projekten anzuwenden. Lassen Sie uns gemeinsam die Grenzen des Machbaren neu definieren und den Erhalt von Bauwerken zum Leitbild für eine nachhaltigere Baubranche fixieren.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Inhaltsverzeichnis

1 CARBOREFIT® – DAS VERFAHREN ZUM VERSTÄRKEN MIT CARBONBETON 9
1.1 Allgemeines 9
1.2 Was ist Carbonbeton? 9
1.3 Verstärken mit Carbonbeton 10
1.4 Die erste Zulassung zum Verstärken mit Carbonbeton 11
1.5 Die neue CARBOrefit®-Zulassung und deren Regelungsgegenstand 11
1.6 Das Konsortium 12
1.7 Vorteile des CARBOrefit®-Verfahrens 14
1.8 Merkblätter 17
Merkblatt-1.01 Referenzprojekte für die Bauwerkserhaltung mit Carbonbeton 17
Merkblatt-1.02 Technische Möglichkeiten zur Anwendung über den Regelungsgegenstand der CARBOrefit®-Zulassung hinaus 25
Merkblatt-1.03 Verfahrensvergleich zwischen einer Carbonbeton- und einer konventionellen Spritzbetonverstärkung 27

2 ALLGEMEINE BAUAUFSICHTLICHE ZULASSUNG / ALLGEMEINE BAUARTGENEHMIGUNG ZUM VERSTÄRKEN MIT CARBONBETON 33
2.1 Das Deutsche Institut für Bautechnik – die oberste Baubehörde in Deutschland 33
2.2 Was sind abZ und aBG und wie unterscheiden sich diese? 33
2.3 Der geprüfte Weg zur Zulassung – ein Anwendungsnachweis für das Verstärken mit Carbonbeton 33
2.4 Die neue CARBOrefit®-Zulassung – neue Möglichkeiten und mehr Flexibilität 34
2.5 Gegenstand und Aufbau der CARBOrefit®-Zulassung 34
2.6 Überwacht und zertifiziert – die unabhängigen Prüfstellen für das CARBOrefit®-Verfahren 36
2.7 Merkblätter 39
Merkblatt-2.01 Eigenschaften der CARBOrefit®-Typ 1 und -Typ 3 Carbongitter in Regel- und Sonderausführung 39
Merkblatt-2.02 Eigenschaften des CARBOrefit®-Feinbetons 47
Merkblatt-2.03 Beschreibung der Versuche im Rahmen der Fremdüberwachung und werkseigenen Produktionskontrolle von CARBOrefit®-Gitter 51
Merkblatt-2.04 Kontaktdaten der Hersteller der CARBOrefit®-Materialien 69

3 PLANUNG UND BEMESSUNG VON CARBOREFIT®-CARBONBETONVERSTÄRKUNGEN 73
3.1 Allgemeines 73
3.2 Planung 73
3.3 Bemessung 74
3.3.1 Grundlagen der Berechnung 74
3.3.2 Softwaregestützte Bemessung mit FRILO 75
3.4 Ausschreibung 77

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3.5 Merkblätter 79
Merkblatt-3.01 Bemessung und Konstruktion von mit Carbonbeton verstärkten Bauteilen 79
Anhang-3.01-1 Beispiel 1 Bemessung einer Carbonbetonverstärkung unter Anwendung eines CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitters 95
Anhang-3.01-2 Beispiel 3 Bemessung einer Carbonbetonverstärkung unter Anwendung eines CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitters 113
Merkblatt-3.03 Mustertexte für die Ausschreibung des CARBOrefit®-Verfahren 131
4 AUSFÜHRUNG VON CARBOREFIT®-CARBONBETONVERSTÄRKUNGEN 153
4.1 Allgemeines 153
4.2 Anforderungen an das Bauwerk und die Verstärkungsschicht 153
4.3 Anforderungen an die ausführende Firma und deren Personal 154
4.4 Schulung und Zertifizierung 155
4.5 Merkblätter 157
Merkblatt-4.01 Handlungsempfehlung für die Ausführung des CARBOrefit®-Verfahren 157
Anhang-4.01-1 Checkliste Baustelleneinrichtung für das CARBOrefit®- Verfahren 163
Merkblatt-4.02 Dokumentation der Ausführungsarbeiten im Rahmen der Verstärkung mit Carbonbeton 165
Merkblatt-4.03 Umfang der In-House-Schulung für den CARBOrefit®-Eignungsnachweis 169
Anhang-4.03-1 Ablauf der CARBOrefit® In-House Schulung für den Eignungsnachweis 171
Anhang-4.03-2 Merkliste für die ausführenden Firmen in Vorbereitung auf die In-House-Schulung 173
Merkblatt-4.04 Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten 175
Anhang-4.04-1 Mindestmaße für die Herstellung von Prüfplatte für die Durchführung von Übergreifungsversuchen: 179
Anhang-4.04-2 Begleitblatt der Prüfplatten für die Ermittlung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Eigenüberwachung der Verstärkungsarbeiten mit CARBOrefit® 181
Merkblatt-4.05 Zertifizierte Firmen zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton 183
Merkblatt-4.06 Liste der geeigneten Prüfstellen/ Institute für die Ermittlung der Verbundeigenschaften auf der Baustelle 185
5 WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN 187

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

1 CARBOrefit® - Verfahren zum Verstärken mit Carbonbeton

© CARBOCON GMBH

1 CARBOrefit® – Das Verfahren zum Verstärken mit Carbonbeton

1.1 Allgemeines

Ingenieur:innen, Planer:innen und ausführende Bauunternehmen tragen im Arbeitsalltag in vielerlei Hinsicht große Verantwortung – sowohl für die Sicherheit und Qualität der umzusetzenden Bauprojekte als auch für die Klimaschutzherausforderungen unserer Zeit. Die Anwendung von CARBOrefit® geht im Einklang mit dieser Verantwortung einher. Zum einen kann das Verfahren Vorteile in den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie & Soziales – erzielen und somit einen Beitrag zur nachhaltigen Transformation des Bauwesens leisten; zum anderen begünstigt die Schaffung einer baurechtlichen Grundlage in Form der abZ/aBG sowie die Sammlung zahlreicher Erfahrungswerte eine sichere und verantwortungsvolle Nutzung. Erfahren Sie in den folgenden Kapiteln der Planungsmappe mehr über die Hintergründe und Vorteile des CARBOrefit®-Verfahrens.

1.2 Was ist Carbonbeton?

Carbonbeton ist ein Verbundwerkstoff, der aus einer nicht-metallischen Bewehrung und dem mineralischen Baustoff Beton besteht. Die Herstellung der Bewehrung, auch Gitter genannt, erfolgt ausgehend von Carbonfilamentgarnen (zu Bündeln zusammengefasste Einzelfilamente). Im Zuge eines textilen Flächenbildungsprozesses werden die Filamente zu 2-dimensionalen Gitterstrukturen verarbeitet. Durch eine aufgebrachte Tränkung (polymere Beschichtung) wird die Formstabilität der Gitter sowie ein verbesserter Verbund, sowohl zwischen den einzelnen Fasern innerhalb des Garns als auch zum Beton, gewährleistet [1]. In Kombination mit einem Beton entsteht ein effizienter Verbundwerkstoff, welcher den Hochleistungsanforderungen für Bauanwendungen in Sachen Festigkeit und Dauerhaftigkeit gerecht wird.

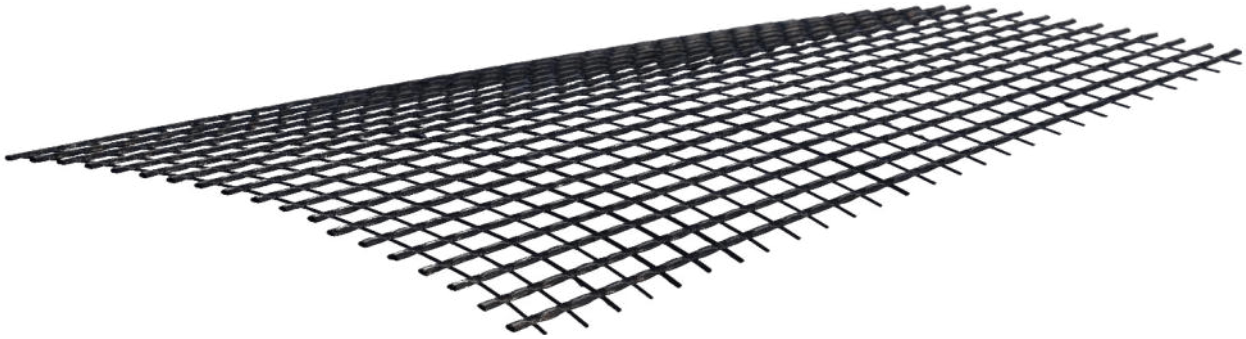


Abbildung 1: Ein Carbongitter, dass als Bewehrung zum Einsatz kommen kann (Quelle: CARBOCON GMBH)

Die Carbonbewehrung zeichnet sich elementar durch eine Korrosionsbeständigkeit und somit durch eine hohe Langlebigkeit aus. Zudem ergeben sich aus den Materialspezifika zahlreiche weitere Vorteile, welche den Carbonbeton positiv von anderen gängigen Baustoffen abhebt. Die positiven Materialeigenschaften des Carbonbetons haben eine enorme Leistungsfähigkeit (hohe Zugfestigkeit bei geringer Dichte) zur Folge. So können – sowohl im Neubau als auch im Bereich der Sanierung und Verstärkung mit Carbonbeton – erstaunlich dünne Ausführungen gewährleistet werden, denn eine hohe Betondeckung aus Gründen der Dauerhaftigkeit ist bei der nicht-metallischen Bewehrung nicht erforderlich. Durch die Reduzierung der Betondeckung lassen sich große Mengen an Ressourcen wie z. B. Zement und Sand einsparen, sodass der Carbonbeton eine nachhaltige Alternative zum Stahlbeton bietet. [2]

Nach jahrzehntelanger Forschung- und Weiterentwicklung des Verbundwerkstoffs Carbonbeton konnten umfangreiche Erkenntnisse aus der Wissenschaft in die Praxis überführt werden. Neben Anwendungen im Neubaubereich, zeigte sich dabei ein enormes Potential des Baustoffs für den Sanierungs- und Verstärkungsbereich.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

1.3 Verstärken mit Carbonbeton

Das CARBOrefit®-Verfahren greift die materialspezifischen Vorteile des Carbonbetons auf, um bestehende Stahlbetonbauwerke zu sanieren und zu verstärken. Ziel ist es, Bestandsbauwerke – sowohl aus dem Hoch- als auch dem Infrastruktur- und Ingenieurbau – zu erhalten und vor dem Abriss zu bewahren.

CARBOrefit® ist ein durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) bauaufsichtlich zugelassenes Verfahren zur Biegeverstärkung von Stahlbetonbauten [3], welches sich sowohl für den Hoch- als auch den Infrastruktur- und Ingenieurbau eignet. Zum Einsatz kommt der innovative Baustoff Carbonbeton, welcher eine Carbonbewehrung mit einem sogenannten Feinbeton zu einem hochleistungsfähigen Verbundwerkstoff kombiniert.

Mit einer CARBOrefit®-Verstärkungsschicht können statische Defizite behoben werden, die z. B. durch Alterungserscheinungen, Schäden oder Umnutzung auftreten können. Somit kann die ursprüngliche Tragfähigkeit wiederhergestellt oder erhöht werden. Einwirkende Zugkräfte werden dabei von der Carbonbewehrung aufgenommen, während der Beton den Verbund zum Bestandsbauwerk sicherstellt und eine Kraftübertragung gewährleistet. Als Beton kommt dabei ein mörtelähnlicher Feinbeton mit geringem Größtkorn aber hoher Festigkeit zum Einsatz.

Das Verstärken mit dem CARBOrefit®-Verfahren ähnelt in seinen Grundzügen dem des herkömmlichen Verstärkens mit Spritzbeton. Bevor mit den eigentlichen Verstärkungsmaßnahmen begonnen werden kann, muss die Altbetonoberfläche – z. B. mittels Sandstrahlen oder Hochdruckwasserstrahlen – aufgeraut und vorbehandelt werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die statischen und konstruktiven Aspekte der Verstärkungsschicht. Die Abbildung 2 zeigt den grundlegenden Aufbau der Verstärkung eines Stahlbetonbauteils entsprechend des CARBOrefit®-Verfahrens. Zunächst wird eine erste Feinbetonschicht, dann ein Carbongitter und anschließend eine weitere Schicht Feinbeton aufgetragen. Dabei kann entweder das Nassspritz- oder das Handlaminierverfahren genutzt werden. Dieses Vorgehen wird wiederholt, bis die zuvor berechnete, statisch erforderliche Lagenanzahl erreicht ist. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass bei dem Aufbringen der Verstärkungsschicht frisch in frisch gearbeitet oder eine Arbeitsfuge mittels Besenstrich ausgebildet werden muss. Abschließend erfolgt eine auf den Anwendungsfall abgestimmte Nachbehandlung der Verstärkungsschicht und eine Gestaltung der Oberfläche.

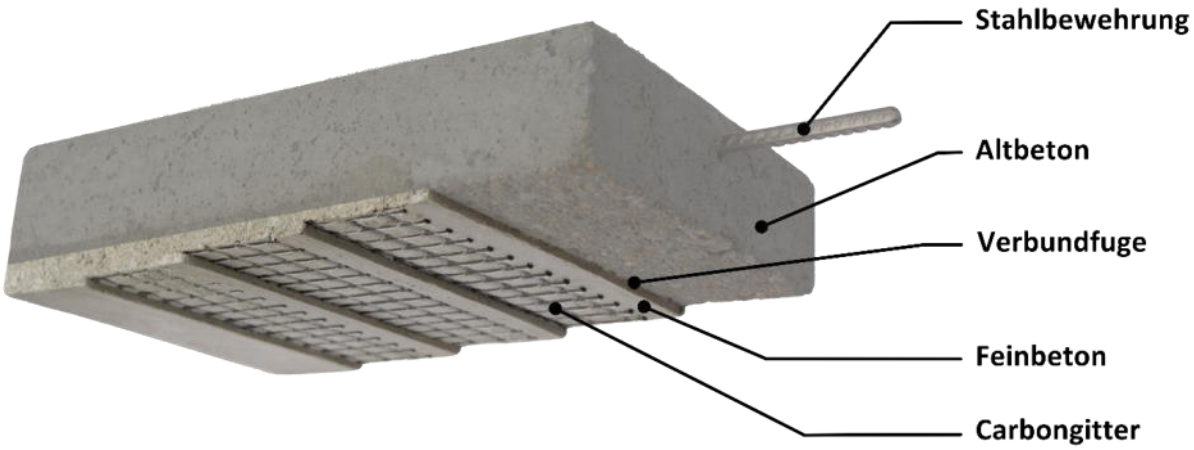


Abbildung 2: Aufbau einer CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkung (Quelle: TU Dresden)

Die Ausführung des CARBOrefit®-Verfahrens wird durch geschulte und zertifizierte Unternehmen vorgenommen, welche den CARBOrefit®-Eignungsnachweis besitzen. Nähere Informationen zur Ausführung finden Sie in Kapitel 4 und den dazugehörigen Merkblättern.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

1.4 Die erste Zulassung zum Verstärken mit Carbonbeton

Die CARBOrefit®-Zulassung basiert auf der Vorgängerzulassung der TU Dresden AG (TUDAG), welche 2014 erstmalig durch das DIBt mit der Nr. Z-31.10-182 und der Bezeichnung „Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT® (Textilbewehrter Beton)“ erteilt wurde. Mit dieser Zulassung konnte erstmalig in der Praxis die Biegeverstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Textilbeton reguliert angewendet werden. Die Erteilung der ersten Zulassung für die Verstärkung von Bauteilen mit Textilbeton im Jahr 2014 war für den Carbonbeton ein wesentlicher Meilenstein, da der Zulassung jahrelange Grundlagenforschung vorangegangen war.

1.5 Die neue CARBOrefit®-Zulassung und deren Regelungsgegenstand

Mit Ende der Geltungsdauer der TUDALIT®-Zulassung im Juni 2021 hat die CARBOCON GMBH die Zulassung übernommen und in CARBOrefit® umbenannt. Im ersten Schritt wurden die Zulassung und deren Inhalte um die Geltungsdauer bis Juni 2026 verlängert. Der neue Kombibescheid aus allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) und allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG), fortgeführt unter der gleichen Nr. Z-31.10-182, beschreibt nun das CARBOrefit®-Verfahren zur Biegeverstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Als Regelungsgegenstand wurde durch das DIBt ein Bausatz bestehend aus den Komponenten der getränkten Carbongittern sowie eines Feinbetons für die Anwendung freigegeben.

Der Verwendungsbereich der abZ/aBG deckt die Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens für Verstärkungsmaßnahmen im Innenbereich bis 40 °C und 65 % Luftfeuchte ab. Des Weiteren darf die Verstärkungsschicht lediglich bei Stahlbetonbauteilen, welche rechnerisch keine Querkraftbewehrung benötigen, angebracht werden. Die charakteristische Haftzugfestigkeit des Altbetons muss mindestens 1,0 N/mm² betragen. Der Altbeton muss ein Normalbeton mit einer Festigkeitsklasse kleiner C50/60 sein. Der Durchmesser bzw. der Vergleichsdurchmesser der Betonstahlbewehrung ist auf 20 mm begrenzt und die maximale Verstärkungskraft ist auf 430 kN/m limitiert.

Nach anfänglicher Verlängerung und zwischenzeitlichen Neuerteilungen infolge kontinuierlicher Weiterentwicklungen ist die Geltungsdauer bis Ende August 2028 verlängert worden. Im Vergleich zur Übernahme und Namensänderung der alten Zulassung erfolgte bei diesen Schritten die inhaltliche Anpassung und die Erweiterung der Zulassung hinsichtlich neuer und leistungsfähigerer Materialkombinationen. Im Konkreten bedeutet dies, dass zu den bereits in der Zulassung geregelten Materialkombinationen – bestehend aus Tränkung und Faser – neue Varianten hinzugekommen sind und somit der Anwendungsbereich wesentlich vergrößert wurde. Neben der Erweiterung der Zulassung auf zusätzliche Materialkombinationen besteht eine der grundlegenden Änderungen der neuen Zulassung darin, dass die Planenden analog zum Betonstahl nach fest vorgegebenen Eigenschaften planen und bemessen können und dabei das für das jeweilige Bauprojekt geeignetste Carbongitter auswählen. So gibt es eine Klassifizierung der in der Zulassung gelisteten Carbongitter in vorgegebene Typen, die wiederum mit festen Eigenschaften hinterlegt sind, so dass die Planenden mit den vorgegebenen Kennwerten der Carbongitter-Typen die erforderlichen Nachweise führen können. Infolgedessen kann je nach Anwendungsfall, ob z. B. ein weiches oder ein steiferes Carbongitter benötigt wird, individuell entschieden und die wirtschaftlichste Lösung gefunden werden.

Gittertypen: Die CARBOrefit®-Gitter vom Typ 1 und Typ 3 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer mechanischen und physikalischen Eigenschaften sowie den damit einhergehenden Anwendungsfeldern. Der Typ 1 zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus und eignet sich besonders für stark gekrümmte Bauteilstrukturen. Der Typ 3 hingegen beinhaltet steifere Carbongitter, welche sich aufgrund ihrer ausgesprochen hohen Zug- und Verbundfestigkeiten für die Verstärkung von Bauteilen mit erheblichen Defiziten eignen. Der Typ 2 dient zum jetzigen Zeitpunkt als Platzhalter für zukünftige Bewehrungen, deren Eigenschaften sich zwischen dem Typ 1 und dem Typ 3 einordnen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Des Weiteren wurde in der neuen Zulassung die vorgeschriebene Gittergeometrie aufgelockert und es wurden weitere Varianten definiert. Dadurch können für die jeweiligen Bauvorhaben noch effizientere Lösungen, z. B. durch die Wahl eines Carbongitters mit geringerer Querschnittsfläche bei einer geringeren Auslastung, erarbeitet werden.

Gittergeometrien: Die Regel- und Sonderausführungen beziehen sich auf die möglichen Geometrien der Gitter und den damit einhergehende Bewehrungsgrad. Die Regelausführung definiert die etablierte Geometrie mit einer Haupttragrichtung sowie festgelegten Maschenöffnungen, die Sonderausführungen ermöglichen Abweichungen von dieser Basisgeometrie. Wie auch bei der Regelausführung vorgeschrieben, muss die Nebentragrichtung des Gitters mindestens 20 % der Querschnittsfläche der Haupttragrichtung aufweisen. Je nach Defizit und gefordertem Verstärkungsgrad können somit verschiedene Ausführungen der Gitter hergestellt und wirtschaftlich verwendet werden. Es können zum einen Carbongitter zur Anwendung kommen, die nur ein Viertel der Bewehrungsfläche der Regelausführung aufweisen, aber auch biaxiale Gitter, die in beide Achsrichtungen gleich viel Bewehrungsfläche aufweisen.

Die Möglichkeit der Wahl zwischen Regel- oder Sonderausführung gilt für alle Typen. Entsprechend der abZ/aBG dürfen den Carbongittern nur Zugkräfte in der Verstärkungsschicht zugewiesen werden. Eine Anordnung in der Druckzone ist ebenfalls möglich, hierbei dürfen die Druckkräfte nur dem Feinbeton zugeteilt werden. Nach aktuellem Stand der Zulassung dürfen die Carbongitter nur für eine einaxiale Verstärkung bemessen werden. Zweiaxiale Beanspruchungen, wie diese z. B. bei Schalentragwerken vorliegen, sind zurzeit noch nicht Gegenstand der Zulassung. Das soll sich aber in Zukunft ändern und mit in die Zulassung aufgenommen werden.

Weiterführende Informationen zu den Gittertypen und den Eigenschaften der Carbonbewehrungen sowie dem Feinbeton erhalten Sie im Kapitel 2 und den dazugehörigen Merkblättern.

1.6 Das Konsortium

Für eine gezielte Weiterentwicklung der Zulassung und eine feste Etablierung des Verfahrens am Markt gründete sich zudem das CARBOrefit®-Konsortium als Interessensgemeinschaft. Die inhaltliche Neustrukturierung durch das CARBOrefit®-Konsortium sowie Erweiterungen der Zulassung, z. B. hinsichtlich neuer Materialkombinationen, haben das Ziel, das CARBOrefit®-Verfahren aus der Forschung in die Praxis zu überführen und für die Praxis stetig weiterzuentwickeln, um die Vielfalt der möglichen Anwendungsgebiete zu erhöhen und die baurechtlichen Grundlagen zu festigen. Im Konsortium bündelt sich Expertise aus verschiedenen Bereichen der Materialbereitstellung sowie Projektumsetzung, die Partner und deren unternehmensspezifische Tätigkeit werden folgend dargestellt:

- **Antragsteller:**

  CARBOCON GMBH
  (Zulassungsinhaber)

  CARBOrefit®-Kontakt:

  Tel.: +49 351 48205 521
  Mail: info@carborefit.de

- **Fachplaner:**

  CARBOCON

  CARBOCON GMBH

  Tel.: +49 351 48205 500
  Mail: info@carbocon-gmbh.de

  cbing

  Curbach Bösche Ingenieurpartner
  Beratende Ingenieure PartG mbB (cbing)

  Tel.: +49 351 850 712 0
  Mail: mailbox@cbing.de

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- **Betonhersteller:**

PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co. KG

Tel.: +49 201 685 04-0
Mail: info@pagel.com

Faserhersteller:

Teijin Carbon Europe GmbH

Tel.: +49 0202 32 2334
Mail: industry@teijincarbon.com

- **Tränkungshersteller:**

CHT Germany GmbH

Tel.: +49 7071 154 0
Mail: info@cht.com

Lefatex-Chemie GmbH

Tel.: +49 2157 87 890
Mail: info.zsdl@zschimmer-schwarz.com

- **Carbongitterhersteller:**

Hitexbau GmbH

Tel.: +49 821 70017 20
Mail: info@hitexbau.com

Wilhelm Kneitz Solutions in Textile GmbH

Tel.: +49 9281 59166 00
Mail: mail@kneitz-sit.de

solidian GmbH

Tel.: +49 7431 103 135
Mail: info@solidian.com

TUDATEX GmbH

Tel.: +49 351 404 703 00
Mail: info@tudatex.de

- **Bewehrungsfertiger:**
(inkl. Bewehrungsumformung)

Johne & Groß GmbH

Tel.: +49 35797 709 50
Mail: info@johne-gross-gmbh.de

Die Zusammenarbeit im Konsortium ist geprägt von einem engen Erfahrungsaustausch, um das Sanieren und Verstärken mit Carbonbeton in die Anwendung zu bringen und als Standardverfahren zu etablieren. Weitere Informationen und die Kontaktdaten zu den Ansprechpersonen der Konsortialpartner finden Sie auf der CARBOrefit®-Homepage (www.carborefit.de).

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

1.7 Vorteile des CARBOrefit®-Verfahrens

Mit der Nutzung der nicht-metallischen Bewehrung aus Carbon geht der Vorteil der Korrosionsbeständigkeit einher, aus dieser Eigenschaft lassen sich zahlreiche weitere Potentiale für den Sanierungs- und Verstärkungsbereich ableiten. So ist beispielsweise keine dicke Betonüberdeckung von drei Zentimetern oder mehr Stärke für den Korrosionsschutz bzw. die Dauerhaftigkeit der Bewehrung erforderlich, wie es bei metallischen Bewehrungen der Fall ist. Dies ermöglicht einen millimeterdünnen Schichtaufbau und gewährleistet die Eigenlasterhöhung des zu verstärkenden Bauteils auf ein Minimum zu reduzieren. Aus dem geringen Eigengewicht folgt der Vorteil, dass der Adhäsionsverbund einer rauen Fuge zwischen dem Altbeton und der Verstärkungsschicht ausreicht und keine zusätzliche Verdübelung zum Bestand hergestellt werden muss. Somit nimmt der Verstärkungsprozess weniger Zeit in Anspruch und ist gleichzeitig bestandsschonender. Zudem bewahrt die dünne Verstärkungsschicht das äußere Erscheinungsbild des Bauteils. Daher ist das CARBOrefit®-Verfahren auch für denkmalgeschützte Bauwerke prädestiniert. Durch den dünnen Schichtaufbau können im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren bis zu 85 % Ressourcen und bis zu 50 % an CO_2-Emissionen eingespart werden [4]. Gleichzeitig führt das geringe Materialgewicht der Carbonbewehrung zu einer Reduzierung der körperlichen Belastung des Baustellenpersonals – insbesondere bei Arbeiten, welche über Kopf ausgeführt werden.
Im Folgenden stellen wir Ihnen die wichtigsten Vorteile des Verfahrens überblicksartig vor:

Hohe Festigkeit: Carbonbeton zeichnet sich durch eine bis zu sechsfach höhere Zugfestigkeit im Vergleich zu herkömmlichem Betonstahl aus. Dies führt zu einer deutlich verbesserten Tragfähigkeit der verstärkten Bauteile.

Dauerhaftigkeit: Carbonbeton ist korrosionsbeständig und zeichnet sich durch eine hohe Wiederstandfähigkeit gegen äußere Einflüsse aus, was zu einer erhöhten Langlebigkeit und Dauerhaftigkeit des verstärkten Bauwerks führt.

Geringere Bauwerksbelastung: Aufgrund des dünnen Schichtaufbaus von nur 10 – 15 Millimetern wird weniger zusätzliches Gewicht in die bestehende Konstruktion eingebracht. Dies ist besonders vorteilhaft bei der Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden oder Bauwerken, bei denen zusätzliches Gewicht problematisch wäre. Zudem erfolgt ein bestandsschonender Verbund zwischen Bestandsbauwerk und Verstärkungsschicht, der völlig ohne Verdübelung auskommt.

Flexibilität: Die flexiblen Carbongitter ermöglichen eine unkomplizierte Verstärkung auch von stark gekrümmten Bauteilen, der Aufwand bei konventionellen Verfahren ist deutlich höher und die Anwendung schwieriger.

Leichte Anwendung: Aufgrund von Flexibilität und Gewicht der eingesetzten Materialen ist die Ausführung auf der Baustelle – insbesondere bei Arbeiten über Kopf – leicht umsetzbar. Dies schont die Arbeitskräfte, ermöglicht kleinere Kolonnengrößen und ein sauberes Arbeiten vor Ort auf der Baustelle.

Zeit- und Kosteneffizienz: Gegenüber konventionellem Spritzbeton ist der Arbeitsaufwand für das CARBOrefit®-Verfahren geringer, was einen schnelleren Bauablauf ermöglicht. Dies führt zu einer effizienten Nutzung von Ressourcen und kann Kosten sparen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Materialeinsparung: Bei der Verwendung von Carbonbeton kann eine erhebliche Menge an Material eingespart werden. Im Vergleich zu Spritzbeton reduziert sich der Materialbedarf um bis zu 85 %. Dies resultiert hauptsächlich aus dem reduzierten Einsatz an Beton.

Nachhaltigkeit: Durch die ressourceneffiziente Methode des CARBOrefit®-Verfahrens können bestehende Bauwerke erhalten und vor dem Abriss bewahrt werden, was zur Schonung von Ressourcen und Reduzierung von Umweltbelastungen beiträgt.

CO_2-Reduktion: Es wird eine signifikante Reduktion der CO_2-Emissionen erreicht. Im Vergleich zu herkömmlichen Methoden wie Spritzbeton kann eine Reduktion von bis zu 50 % der CO_2-Emissionen erzielt werden.

Diese Vorteile machen das CARBOrefit®-Verfahren zu einer überzeugenden Lösung für die Sanierung und Verstärkung von Bauwerken, insbesondere in Bereichen, in denen konventionelle Methoden an ihre Grenzen stoßen oder nicht umweltfreundlich bzw. ressourceneffizient sind.

Aufgrund der starken Potentiale im Bereich Nachhaltigkeit wurde das CARBOrefit®-Verfahren mit dem Deutschen Rohstoffeffizienz-Preis 2022, dem Publikumspreis bei der Sustainability Challenge 2023 der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) sowie dem 2. Platz beim Innovation Construction Award ausgezeichnet. Zudem gewann die CARBOCON GMBH mit CARBOrefit® den Startup Booster beim JEC Forum DACH.

Abbildung 3: Nachhaltigkeitsauszeichnungen des **CARBOrefit®**-Verfahrens (Quelle: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen; Deutsche Rohstoffagentur; Akademisches Baunetzwerk e.V.; JEC Group)

Quellen:

[1] Innovative textile Bewehrungen für hochbelastbare Betonbauteile, BETON- UND STAHLBETONBAU Fachaufsatz/Bericht, Younes, A. et al., Januar 2015

[2] Fact Sheet Carbonbeton, C³ Verband, Dresden, Mai 2023

[3] DIBt, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182 „CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2023

[4] Schumann, A. et al. Ressourceneinsparung mit Carbonbeton. Am Beispiel der Verstärkung der Hyparschale in Magdeburg in: *Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen. Aktueller Stand der Technik*. Hrsg.: Hauke, B., Institut Bauen und Umwelt e.V., DGNB e.V., Eds., Ernst & Sohn, 2021.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 1.01	Referenzprojekte für die Bauwerkserhaltung mit Carbonbeton

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 06.01.2025

In diesem Merkblatt werden Referenzprojekte vorgestellt, bei denen unter Anwendung des innovativen Verbundwerkstoffs Carbonbeton Bauwerke saniert und verstärkt wurden. Bei den meisten Projekten konnte die Bauwerkserhaltung unter Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens oder in Anlehnung an die abZ/aBG [1] durch Verwendung der zugelassenen CARBOrefit®-Materialien bzw. der regelungstechnisch nachgewiesenen Bauartgenehmigung zum Verstärken mit Carbonbeton umgesetzt werden.

Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin; August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

Verstärkung von historischen Bauwerken

Amtsschlachthof Dresden

Baujahr: 1901

Ausführung: Frühjahr 2023

Materialeinsatz:
Carbonbetonverstärkung der Decken mit bis zu 2 Bewehrungslagen

Kurzbeschreibung:
Verstärkung identifizierter Tragwerksdefizite mit Carbonbeton infolge von Bewehrungskorrosion

Spezielle Anforderungen:
wirtschaftlicher Vorteil zu konventionellen Maßnahmen dank Zulassungsanwendung, Denkmalschutz

Beyer-Bau Dresden

Baujahr: 1913

Ausführung: 2021 - 2022

Materialeinsatz:
10 bis 15 mm dünne Carbonbetonschicht mit 1 bis 2 Bewehrungslagen

Kurzbeschreibung:
Tragfähigkeitserhöhung infolge erhöhter Nutzlasten, Biegezugverstärkung der Deckenfelder und Unterzüge

Spezielle Anforderungen:
Denkmalschutz, geringe Betongüte (C8/10 - C20/25)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Hyparschale Magdeburg

Baujahr: 1969

Ausführung: 2020 - 2021

Materialeinsatz:
ca. 4.000 m² Verstärkungsfläche auf Ober- und Unterseite, je 10 mm Carbonbetonschicht mit einer Bewehrungslage

Kurzbeschreibung:
statisches Defizit von 50 % infolge Bewehrungskorrosion, biaxiale Verstärkung auf Unter- und Oberseite

Spezielle Anforderungen:
Denkmalschutz, Schlankheit, begrenztes zusätzliches Eigengewicht

Tonnengewölbe Zwickau

Baujahr: 1902/1903

Ausführung: Oktober - November 2008

Materialeinsatz:
Carbonbetonschicht an Innen- und Außenseite mit 3 bis 7 Bewehrungslagen

Kurzbeschreibung:
Statische Verstärkung der Tonnendachkonstruktion für die Gewährleistung des Standsicherheitsstandards

Spezielle Anforderungen:
Denkmalschutz, schlanke Dachkonstruktion mit stark gekrümmten Flächen sowie Unterzüge

Verstärkung und Sanierung von Hochbauwerken

Schneefernerhaus Zugspitze

Baujahr: 1930er Jahre

Ausführung: August 2022 - September 2023

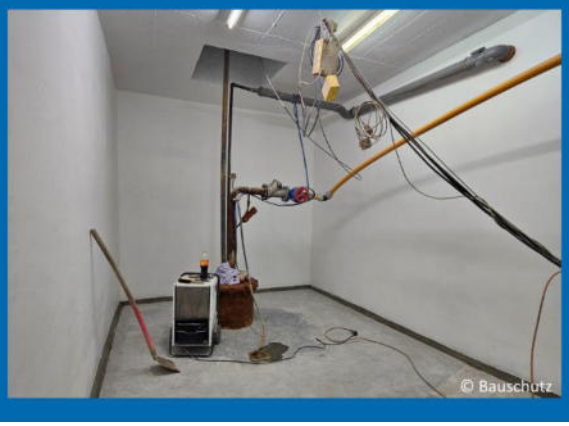
Materialeinsatz: Abdichtung mit Carbonbeton aus 200 m² Carbongelege und ca. 5t Feinbeton (2 Bewehrungslagen)

Kurzbeschreibung: Abdichtung sowie konstruktive Verstärkung einer Spritzbeton- Felssicherung

Spezielle Anforderungen: Baustelle in 2656 m ü. NHN, extreme Witterungsbedingungen & exponierte Lage. geringerer Materialbedarf durch den Einsatz von Carbonbeton führte zu verkürztem Transportaufwand

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Brunnenstube Ludwigsburg



Baujahr: 1965

Ausführung: 2023

Materialeinsatz:
ca. 10 mm dünne Verstärkungsschicht mit 1 Lage Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung:
Instandsetzung von chloridgeschädigten Betonbauteilen, oberflächennahe Rissüberbrückung von Trennrissen, Wiederherstellung der Dauerhaftigkeit

Spezielle Anforderungen:
beengte Platzverhältnisse und eingeschränkte Zuwegung zum Einbauort, minimale Reduzierung der Nutzfläche der Brunnenstube

Sheddachhalle, München

Baujahr: 1950er Jahre

Ausführung: Herbst 2021

Materialeinsatz: 1- lagige Carbonbetonschicht auf Ober- und Unterseite mit jeweils ca. 10 mm

Kurzbeschreibung: Instandsetzung der Schadstellen im Altbeton durch konstruktive Anwendung von Carbonbeton auf Innen- und Außenseite der Dachschale

Spezielle Anforderungen: Denkmalschutz, schlanke Dachschale

Arabella Hochhaus München

Baujahr: 70er Jahre

Ausführung: 2014

Materialeinsatz:
6 mm dünne Verstärkungsschicht mit 1 Lage Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung:
An den Schadstellen wurden die Brüstungsplatten mit einer 6 mm dünnen Carbonbetonschicht ummantelt

Spezielle Anforderungen:
Schäden an Brüstungsplatten

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

CANYON-Produktionshalle Koblenz

Baujahr: 2008

Ausführung: Oktober 2010

Materialeinsatz:
16 mm Verstärkungsschicht mit 3-Lagen Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung:
Verstärkung einer Geschossdecke auf der Unterseite mit einer 16 mm starken Carbonbetonschicht, um die Biegetragfähigkeit zu erhöhen

Spezielle Anforderungen:
Erhöhung Biegetragfähigkeit einer Geschossdecke unter Einhaltung geringster Zusatzgewichte

Wohn- und Geschäftshaus Prag

Baujahr: unbekannt

Ausführung: Februar 2010

Materialeinsatz:
20 mm Verstärkungsschicht mit 4-Lage Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung:
Umfangreiche Deckenverstärkungen mit einer 20 mm dünnen Carbonbetonschicht, Erhöhung der Biegetragfähigkeit auf der zugbeanspruchten Unterseite

Spezielle Anforderungen: Unterdimensionierung der Tragbewehrung der Geschossdecken, Anwendung im Ausland, geringes Zusatzgewicht

Stützenverstärkung Stresemannquartier Berlin

Baujahr: 20014-2016

Ausführung: August 2006

Materialeinsatz:
25 mm Verstärkungsschicht mit 2-Lagen Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung: Umschnürung von Stahlbetonstützen mit einer 25 mm starken Carbonbetonschicht, Erhöhung der Normalkrafttragfähigkeit der Stützen infolge eines neuen Nutzungskonzeptes

Spezielle Anforderungen:
Traglastverstärkung von eckigen Stützen mit flexibler Bewehrung, Einhaltung Brandschutzanforderungen (R 90)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Technische Hochschule Schweinfurt

Baujahr: 60er Jahre

Ausführung: Herbst 2006

Materialeinsatz:
15 mm dünne Verstärkungsschicht mit 3 Lagen Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung:
Verstärkung der oberen Zugbewehrung, um Spannungsüberschreitungen der Bestandskonstruktion zu beheben

Spezielle Anforderungen:
beheben einer Spannungsüberschreitung des 8 cm starken Schalentragwerks

Verstärkung historischer Bogenbrücken

Fußgängerbrücke zur Thainburg, Naumburg (Saale)

Baujahr: 1893

Ausführung: August 2021

Materialeinsatz:
6 bis 10 mm dünne Carbonbetonschicht mit bis zu 2 Bewehrungslagen

Kurzbeschreibung:
Statisches Defizit infolge Bewehrungskorrosion, beidseitige Verstärkung und Abdichtung des Brückenbogens mit lediglich 6 - 10 mm

Spezielle Anforderungen:
Denkmalschutz, schlanke Konstruktion, Außenbereich

Brücke Naila

Baujahr: 1910

Ausführung: 2016

Materialeinsatz:
ca. 10 mm dünne Carbonbetonschicht

Kurzbeschreibung:
Betoninstandsetzung der Gewölbebögen, Erhöhung der Dauerhaftigkeit

Spezielle Anforderungen:
Denkmalschutz, Außenbereich, gekrümmte Flächen, Verstärkung als wirtschaftlichste Lösung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Verstärkung und Sanierung von Ingenieurbauwerken

Verrohrung Rottbach

Baujahr:
1938 und 1962 (Mauerwerksbogen),
1974 (Stahlbetonbogen)

Ausführung: in Ausschreibung, geplant 2025

Materialeinsatz:
Herstellung einer 15 cm dicken Carbonbetonschale mit 4 Lagen Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung:
Einbau einer selbst tragenden Carbonbetonschale in eine bestehende Autobahnunterführung, Sicherstellung der Tragfähigkeit der Verrohrung

Spezielle Anforderungen:
3-teiliges Bestandsbauwerk mit unterschiedlichen Konstruktionen, Anwendung im Außenbereich, Einhaltung der wasserschutzrechtlichen Anforderungen

Nördlicher Hauptsammler Leipzig

Baujahr: 1907

Ausführung: 2024

Materialeinsatz: solidian GRID Q43-CCE-38 Bewehrung, ca. 175 Laufmeter in Rollen mit einer Breite von 2,3 m

Kurzbeschreibung: Sanierung des Kanals durch Einsatz von 400 m² solidian GRID Q43-CCE-38 Bewehrung, um ca. 80 m Kanallänge zu sanieren, weitere Bauabschnitte mit 800 m² und 160 m Kanallänge folgen

Spezielle Anforderungen: Anwendung in beengtem Raum, Einhaltung der gewässerschutzrechtlichen Anforderungen

Fußgängerbrücke Aschaffenburg

Baujahr: 1970

Ausführung: Sommer 2023

Materialeinsatz:
ca. 15 mm dünne Carbonbetonschicht mit 2 Bewehrungslagen

Kurzbeschreibung:
Statisches Defizit infolge höherer Lasten, Verstärkung der Querbiegetragfähigkeit der Brücke

Spezielle Anforderungen:
Einsatz im Außenbereich, Einsatz von Formbewehrung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Autobahnbrücke A648 über die Nidda, Frankfurt/Main

Baujahr: 1971

Ausführung: 2020 - 2021

Materialeinsatz:
Verstärkungsschicht aus Carbonbeton, auf der Oberseite 6-lagig und auf der Unterseite 5-lagig ausgeführt

Kurzbeschreibung:
Verstärkung von 3 Teilbauwerken infolge der Gefahr von Spannungsrisskorrosion, Absicherung der Tragfähigkeit bzw. eines ausreichenden Ankündigungsverhaltens

Spezielle Anforderungen:
dynamische Beanspruchung im Außenbereich unter Exposition, konventionelle Maßnahmen nicht möglich (Brückengradiente, Lichtraumprofil)

S 109-Brücke in Kleinsaubernitz

Baujahr: 1951

Ausführung: 2020

Materialeinsatz:
Carbonbetonschicht mit 4 Bewehrungslagen

Kurzbeschreibung:
statisches Defizit einer Straßenbrücke infolge höherer Nutzlasten, Erhöhung der Brückenklasse auf BK 60/30

Spezielle Anforderungen:
Minimalster Einfluss auf brückenunterseitigem Lichtraumprofil, Anwendung im Außenbereich, zyklische Beanspruchung

Kanalsanierung Feldafing

Baujahr: 1954

Ausführung: 2018

Materialeinsatz:
ca. 20 mm dünne Verstärkungsschicht mit 2 Lagen Carbonbewehrung

Kurzbeschreibung:
Statisches Defizit durch Nutzlasterhöhung, Wiederherstellung der Dauerhaftigkeit und Erhöhung der Tragfähigkeit durch die Instandsetzung mit Carbonbeton

Spezielle Anforderungen:
stark gekrümmte Flächen, beengter Zugang, Anwendung im Wasserbau, minimaler Einfluss auf den Öffnungsquerschnitt des Kanals

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Zuckersilo 9 (Zuckerfabrik Uelzen)

Baujahr: 2013

Ausführung: 2015

Materialeinsatz:
Verarbeitung von ca. 14.000 m² Carbonbewehrung und 340 t Feinbeton

Kurzbeschreibung:
Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit der Silo-Innenschale infolge brandbedingte Betonschädigung

Spezielle Anforderungen:
geringer Schichtaufbau für Gewährleistung der Lagerkapazität, Silohöhe 75 m, Durchmesser ca. 45 m

Zuckersilo 2 (Zuckerfabrik Uelzen)

Baujahr: 1962

Ausführung: August 2012 - September 2012

Materialeinsatz:
ca. 20 mm dünne Carbonbetonschicht mit bis zu 4 Bewehrungslagen

Kurzbeschreibung:
Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit der Silo-Innenschale und Erhöhung der Biegesteifigkeit der Außenschale

Spezielle Anforderungen:
geringer Schichtaufbau für Gewährleistung der Lagerkapazität, Ausführung in lediglich 6 Wochen

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 1.02	Technische Möglichkeiten zur Anwendung über den Regelungsgegenstand der CARBOrefit®-Zulassung hinaus

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521 Stand: 06.01.2025

In diesem Merkblatt werden Anwendungsmöglichkeiten des CARBOrefit®-Verfahrens dargestellt, welche vom Regelungsgegenstand der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) / allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) Z-31.10-182 [1] abweichen. Ergänzend zu den jeweiligen Anwendungsmöglichkeiten sind Praxisprojekte aufgelistet, bei denen das CARBOrefit®-Verfahren unter der jeweiligen Abweichung zum Einsatz kam und wie die projektbezogene Nachweisführung bzw. welcher Verwendbarkeitsnachweis im Rahmen der Zustimmung im Einzelfall (ZiE) / vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) erfüllt wurde. Das Merkblatt soll verdeutlichen, das die technischen Anwendungsmöglichkeiten über den in der CARBOrefit®-Zulassung geregelten Anwendungsbereich hinaus gehen und die Potentiale bei diversen unterschiedlichen Projekten nachgewiesen werden konnten. Der durch das DIBt geregelte Anwendungsbereich des CARBOrefit®-Verfahrens wird im Abschnitt 1.2 der abZ/aBG beschrieben.

In der folgenden Tabelle sind die Abweichungen in der Anwendung bezüglich der CARBOrefit®-Zulassung aufgeführt und dazugehörige Projektbeispiele sowie ergänzende Information der Nachweisführung aufgelistet. Die entsprechenden Nachweise und Hintergrunddokumente können, nach Rücksprache mit der CARBOCON GMBH, im Rahmen einer ZiE/vBG herangezogen werden. Weitere Informationen und Möglichkeiten der Wiederverwendung können Sie unter den Kontaktdaten anfragen.

Tabelle 1: Abweichungen zum Anwendungsbereich der abZ/aBG [1]

Art der Abweichung	**Projekte** (mind. 1 Abweichung wurde im Projekt umgesetzt)
Abweichung konstruktive Bedingungen: • Betongüte geringer als C12/15 • Oberflächenzugfestigkeit < 1,0 N/mm² • Bewehrung größer 20 mm • Betonzusammensetzung	Beyer-Bau Dresden [2], Hyparschale Magdeburg [3], Arabellahochhaus München [4], Autobahnbrücke NRW[1]
Statische Voraussetzungen: • Querkraft-/Biegeverstärkung • Abweichung max. Verstärkungsgrad	Beyer-Bau Dresden [2], Autobahnbrücke Nidda [5], Straßenbrücke Österreich[1], Straßenbrücke Kleinsaubernitz [6], Autobahnbrücke NRW[1]
Art der Beanspruchung: • Biaxiale Beanspruchung • Ermüdungsbeanspruchung	Hyparschale Magdeburg [3], Autobahnbrücke Nidda [5], Straßenbrücke Bayern[1], Straßenbrücke Kleinsaubernitz [6], Straßenbrücke Österreich[1]

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Anwendung im Außenbereich: • Temperaturbereich 40 °C - 80 °C • Hohe Dauerhaftigkeit der Bewehrung im Beton, geprüft im Dauerstand bei Wasserlagerung unter Temperatureinwirkung und Zugbeanspruchung • Frost-Tau-Wechsel XF4 • Chlorid- und Meersalzbeständigkeit XD3/XS3 • Säurebeständigkeit XA3 • Beständigkeit gegen Karbonatisierung XC4	Autobahnbrücke Nidda [5], Fußgängerbrücke Thainburg [7], Fußgängerbrücke Aschaffenburg, Gebäude Bremen[1], Straßenbrücke Bayern[1], Straßenbrücke Österreich[1], Autobahnbrücke NRW[1], Straßenbrücke Kleinsaubernitz [6], Parkhaus[1]
Weiterführende konstruktive Anwendungsmöglichkeiten: • Formbewehrung • Stützensanierung • Verrohrung	Projekt[1] Chemnitz, Projekt[1] Berlin, Felderfingen [8]

[1] = anonymisierter Projektname, weiterführende Informationen auf Anfrage möglich.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin; August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

[2] Curbach, M.; May, S.; Müller, E.; Schumann, A.; Schütze, E.; Wagner, J; Verstärken mit Carbonbeton. In: Beton-Kalender 2022, K., Fingerloos, F., Wörner, J.-D., Eds.; Ernst und Sohn: Berlin, Germany, 2021, pp. 789–791.

[3] Schumann, A.; Schöffel, J.; May S.; Schladitz, F.; Curbach M. Ressourceneinsparung mit Carbonbeton am Beispiel der Verstärkung der Hyparschale in Magdeburg. In: Hauke, B. (Hrsg.) Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Institut Bauen und Umwelt e. V., DGNB e. V., 2021, S. 282-286.

[4] Barhum, R.; Büllesbach, J.; Müller, A.; Textilbeton zur Instandsetzung von Balkonbrüstungsplatten aus Stahlbeton; Bauingenieur, Band 90, 2015, pp. 241-247.

[5] Steinbock, O.; Bösche, T.; Schumann, A.: Carbonbeton - Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken; Teil 2: Carbonbeton im Brückenbau und Informationen zur Zustimmung im Einzelfall für das Pilotprojekt - Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648. Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021) 2, S. 109-117.

[6] Steinbock, O.; Giese, N. J.; Curbach, M.; Probelastung einer mit Carbonbeton verstärkten Plattenbrücke; 11. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen; pp. 118-129.

[7] Schumann, A.; May, S.; Bochmann, J.; Zu neuer Leistungsfähigkeit; B + B Bauen im Bestand; Januar 2021, S 20-25.

[8] AL-Jamous, A.; Werner, M.; Kaiser, M.; Thyroff, R.; Gehrke, B.; Instandsetzung der Verrohrung des Starzenbachs in Feldafing mit Carbonbeton; Bautechnik; 97. Jahrgang, April 2020, pp. 279–285.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 1.03	Verfahrensvergleich zwischen einer Carbonbeton- und einer konventionellen Spritzbetonverstärkung

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521
Stand: 06.01.2025

In diesem Merkblatt wird das Verstärken mit Carbonbeton mit einer konventionellen Spritzbetonverstärkung verglichen und die Potentiale des CARBOrefit®-Verfahrens verdeutlicht. Der Vergleich erfolgt unter den Aspekten der technischen Merkmale für die Bemessung, der Ausführung sowie der Umweltauswirkungen.

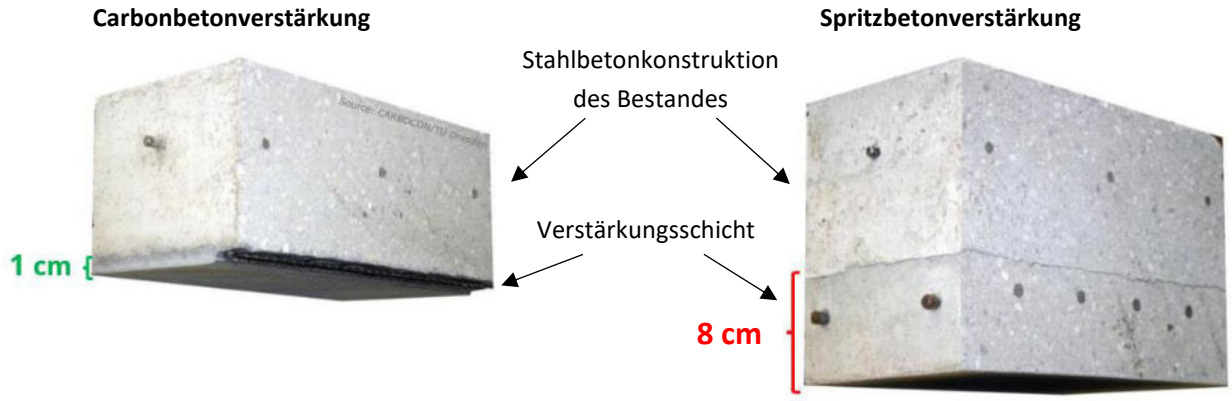


Abbildung 1: Vergleich der Schichtstärken einer Verstärkung mit Carbonbeton und Spritzbeton (© CARBOCON GMBH/TU Dresden)

Tabelle 1: Vergleich zwischen einer 1-lagig und 1 m² großen bewehrten Verstärkung mit Carbonbeton bzw. Spritzbeton [1][2][3]

Verstärkungsverfahren	Carbonbeton	Spritzbeton
Auswahl der Bewehrung	CARBOrefit®-Gitter (Typ 3 – Regelausführung)	Stahlmatte R424 (mit B500)
Technisches Merkmal	**Verstärkungskraft**	
Bemessungswert der Zugfestigkeit / Streckgrenze [N/mm²]	1.300	435
Bewehrungsquerschnittsfläche je Bewehrungslage [mm²/m]	140	424
Verstärkungskraft je Lage [kN/m]	182	184
Technisches Merkmal	**Ausführung**	
Dicke für eine 1-lagig bewehrte Verstärkungsschicht [cm]	1	8 *1
Eigengewicht der zusätzlichen Verstärkungsschicht [kg/m²]	≈ 26	≈ 210 *1
zeitlicher Aufwand für die Applikation der Verstärkungsschicht [min] [2]	ca. 5	ca. 25 *1 (zzgl. Arbeitsunterbrechung)
Arbeitsunterbrechung zwischen den Schichten [min] [2]	0	150
Gesamtdauer der Applikation [min]	ca. 5	ca. 175

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Rückverankerung	keine, nicht notwendig	5 Einschlagdübel, 5 Bewehrungsanker
Technisches Merkmal	**Umweltauswirkungen *²**	
Treibhausgasemissionen [kgCO_2][3]	≈ 22	≈ 75
Betoneinsparung *³ [3]	bis zu 92 % *³	0
CO_2-Emissioneinsparung *² [3]	bis zu 71 %	0

*¹ In Abhängigkeit an die Expositionsanforderung, skaliert auf 8 cm Schichtdicke

*² Eine Umweltbetrachtung erfolgt immer projektspezifisch und ist stark von den Randbedingungen abhängig. Die dargestellten Werte sind projektbezogen und beinhalten die Lebenszyklusphasen A1-A5 [3].

*³ In die Betrachtung wurde der Rückprall mit einbezogen.

Hinweis: Die dargestellten Zahlen beziehen sich ausschließlich auf einen Vergleich für die Bauwerkserhaltung zwischen der Anwendung von Carbon- und Spritzbeton. Im Falle eines Abrisses und damit einhergehende Ersatzneubau werden die Vorteile und die Nachhaltigkeit des Carbonbeton noch deutlicher.

Literatur- und Quellenverzeichnis

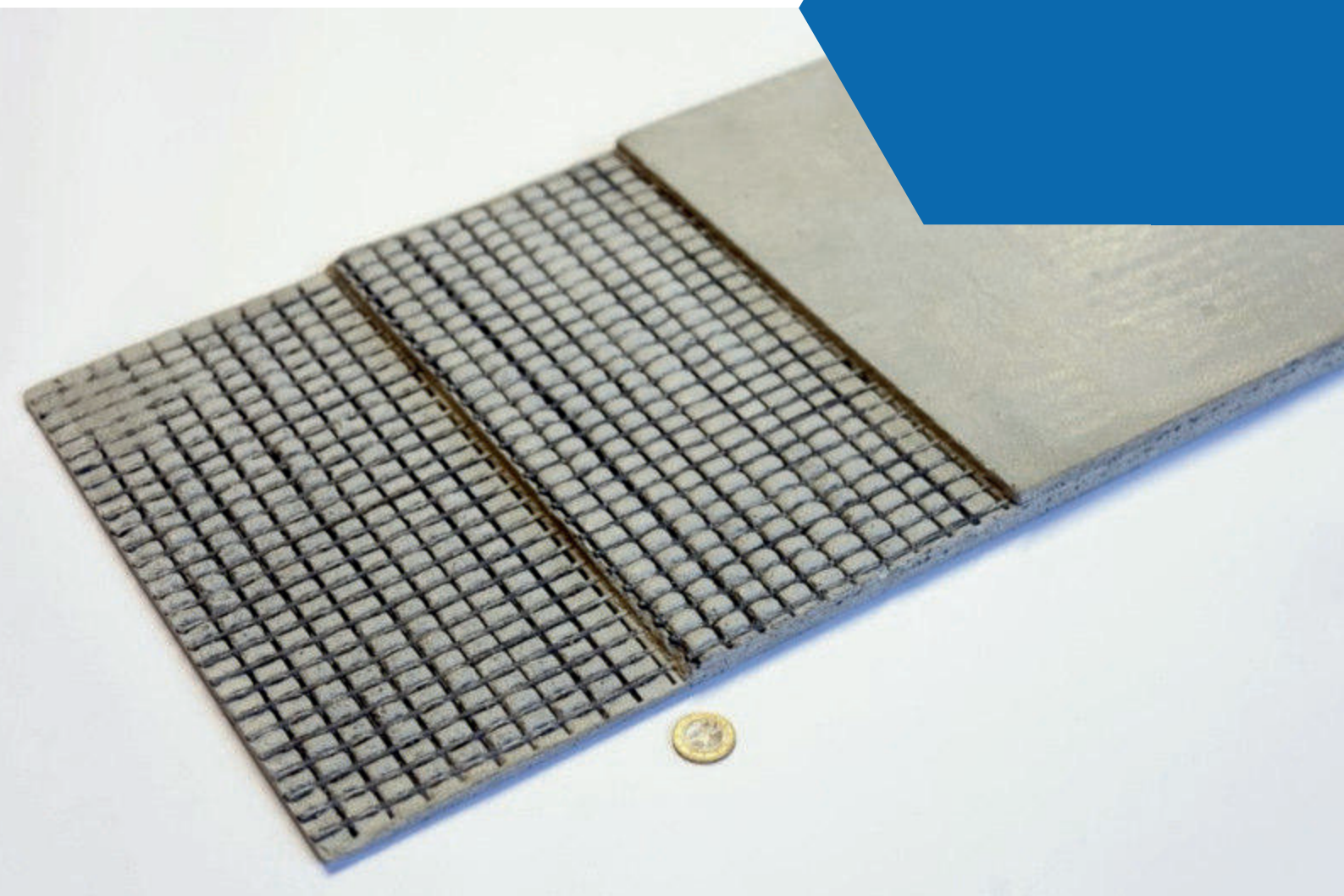
[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin; August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

[2] C³-Verband: Fact Sheet, Carbonbeton-Verfahren zur Verstärkung und Instandsetzung; April 2023

[3] P. Schmidt: Comparative Life Cycle Assessment of Retrofitting Solutions using Carbon Reinforced Concrete; April 2024

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung CARBOrefit®



© TU Dresden

2 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung zum Verstärken mit Carbonbeton

2.1 Das Deutsche Institut für Bautechnik – die oberste Baubehörde in Deutschland

Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) fungiert als Dachorganisation an oberster Stelle der Bautechnikbehörden mit Geltungsbereich auf Bundesebene. Im Auftrag der Bundesländer und des Bundes agiert das DIBt auf nationaler Ebene als Zulassungs-, Genehmigungs- und Bewertungsstelle, wenn es um Qualität und Sicherheit von Bauwerken geht. Als zentrales Institut unterstützt es die Entwicklung von sicherheitsrelevanten Innovationen im Bauwesen und erteilt allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen / allgemeine Bauartgenehmigungen für neuartige und nichtgeregelte Bauprodukte und Bauarten. Des Weiteren arbeitet das DIBt mit weiteren bautechnischen Organisationen zusammen und engagiert bei sich der Norm- und Regelwerkerstellung auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene. Für die Erstellung von technischen Nachweisen und Gutachten für den europäischen Raum ist das DIBt ebenfalls Ansprechpartner und veröffentlicht im Auftrag der Länder die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVVTB). Neben der Erteilung von abZ und aBG ist das DIBt für die Anerkennung und Notifizierung von unabhängigen Prüflaboren, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen (kurz PÜZ-Stellen) für Bauprodukte und Bauarten zuständig. Im Abschnitt 2.6 werden das PÜZ-Systems sowie die für das CARBOrefit®-Verfahren anerkannten Prüfstellen näher beschrieben.

2.2 Was sind abZ und aBG und wie unterscheiden sich diese?

Das CARBOrefit®-Verfahren hat durch das DIBt einen Kombibescheid aus allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (kurz abZ) sowie allgemeiner Bauartgenehmigung (kurz aBG) erhalten. Dabei regelt die abZ die Eigenschaften der Bauprodukte, deren Verwendungsbereiche sowie Verarbeitung, Transport und Lagerung. Zusätzlich zu den in der abZ geregelten Produkteigenschaften wird im Rahmen einer aBG auch die Kombination der einzelnen Bestandteile zu baulichen Anlagen definiert. Im Zuge dessen werden Aspekte der Planung, Bemessung und Ausführung sowie Betrieb und Wartung geregelt.

Im Falle von CARBOrefit® regelt der Kombibescheid aus abZ und aBG die Eigenschaften der einzelnen Carbongitter und des Feinbetons, die Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Bestandteile untereinander – also welche Faser und Tränkung mit welchem Gitter und dem Beton verwendet werden darf – sowie die Rahmenbedingungen zur Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens zum Verstärken mit Carbonbeton. Eine allgemeingültige Norm bzw. Richtlinie zum Einsatz von Carbonbeton im Bereich der Bauwerkserhaltung existiert zum jetzigen Stand noch nicht.

Eine Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens ist auch über die Zulassung hinaus möglich. Hierfür wird eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) bzw. vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) benötigt, welche in Anlehnung an die Zulassung meist zeiteffizient und wirtschaftlich umsetzbar ist. In Merkblatt 3.02 „Technische Möglichkeiten zur Anwendung über den Regelungsgegenstand der CARBOrefit®-Zulassung hinaus“ zeigen wir Ihnen, wie Projekte mit Abweichungen vom Regelungsgegenstand der Zulassung praktisch umsetzbar sind.

2.3 Der geprüfte Weg zur Zulassung – ein Anwendungsnachweis für das Verstärken mit Carbonbeton

Die ersten Pionierarbeiten für die Anwendung nichtmetallischer Bewehrungen im Bauwesen wurden in Deutschland an den Hochschulen in Aachen und Dresden zum Jahrtausendwechsel geleistet. An der TU Dresden wurde mit dem Sonderforschungsbereich SFB 532 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ die Grundlagen für den Einsatz im Bereich der Bauwerkserhaltung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

erforscht. Aufbauend auf den Erkenntnissen wurden erste Praxisprojekte realisiert und die Anwendung des Verstärkens mit Textilbeton unter Feldbedingungen erprobt und analysiert. Neben der akademischen Forschung wurde durch Praxispartner die Industrieentwicklung vorangetrieben und der Tudalit e.V. als Interessensvereinigung beider Bereiche gegründet. Ziel des Vereins war die gemeinsame Entwicklung eines zugelassenen Verfahrens zum Verstärken mit Textilbeton mit den dazugehörigen Bausatzkomponenten. Unter Einbindung des DIBt wurde ein Prüfprogramm aufgestellt und durch die TU Dresden Aktiengesellschaft (TUDAG) der Antrag auf eine abZ gestellt. Nach mehreren Jahren der umfangreichen experimentellen Versuche in Prüflaboren und der wissenschaftlichen Ableitung von Ingenieurmodellen wurde am 06. Juni 2014 die erste Zulassung durch das DIBt erteilt. Unter der Bescheidnummer Z-31.10-182 wurde die bauaufsichtliche Zulassung für das Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT® erstmalig erteilt. Mit diesem Meilenstein war es nun möglich Bauteile aus Stahlbeton im Innenbereich unter gewissen Voraussetzungen zu verstärken. Durch diese Zulassung durfte Carbonbeton, zwar in begrenztem Maße, aber baurechtlich und standardisiert in der Praxis angewendet werden. Somit konnten in der Praxis wertvolle Erfahrungen im Umgang mit Carbonbeton gewonnen und bestehende Bauwerke verstärkt werden.

2.4 Die neue CARBOrefit®-Zulassung – neue Möglichkeiten und mehr Flexibilität

Seit dem ersten Zulassungsbescheid hat sich der Carbonbeton und insbesondere die Eigenschaften der Materialien kontinuierlich weiterentwickelt. Optimierte Herstellungsprozesse und neue Tränkungen ermöglichen nun, die Leistungsfähigkeit der Carbonfasern auszureizen, denn Carbongitter aktueller Generation weisen eine fast doppelte Zugfestigkeit (im Mittel ~ 3.500 N/mm²) als ältere Gittergenerationen auf. Der Stillstand der TUDALIT®-Zulassung hat dazu geführt, dass sich ein neues Konsortium gegründet hat, um diese aktuellen Entwicklungen in die Zulassung zu implementieren. Stellvertretend für das Konsortium agiert die CARBOCON GMBH als neuer Antragsteller und nach Übernahme der Zulassung im Sommer 2021 konnte eine neue und erweitere Zulassung erwirkt werden. Die Gitter der neuen Generation sind seitdem ein fester Bestandteil der neuen und inhaltlich überarbeiteten CARBOrefit®-Zulassung. Das bauaufsichtlich zugelassene CARBOrefit®-Verfahren zum Verstärken von Stahlbeton mit Carbonbeton ermöglicht es nun, leistungsfähigere und effizientere Verstärkungslösungen umzusetzen. Mit dem Kombibescheid aus abZ und aBG ist es nun möglich, unterschiedliche Materialkombinationen, bestehend aus verschiedenen Gittern mit unterschiedlichen Eigenschaften und einem Feinbeton, zu einem Bausatz für die Verstärkung zu kombinieren. Die jeweiligen Typen sind sowohl in der standardisierten Regelausführung als auch in konfigurierbaren Sonderausführungen erhältlich. Weitere Informationen zu Komponenten des Bausatzes finden Sie in den Merkblättern 2.01 (CARBOrefit®-Gitter) und 2.02 (CARBOrefit®-Feinbeton).

Das CARBOrefit®-Verstärkungssystem setzt sich aus einem Feinbeton und diversen Carbongittern zu einem Bausatz zusammen. Der CARBOrefit®-Typ 1 zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus und ist für stark gekrümmte Bauwerke geeignet. Der CARBOrefit®-Typ 3 weist höhere mechanische Eigenschaften auf und ermöglicht eine maximale Synergie aus Leistungsfähig und Effektivität. Weitere Typen können zukünftig aufgenommen werden.

2.5 Gegenstand und Aufbau der CARBOrefit®-Zulassung

Das CARBOrefit®-Verfahren zum Verstärken von Stahlbeton mit Carbonbeton ist mit dem Kombibescheid Z-31.10-182 aus abZ und aBG beim DIBt zugelassen. **Die Gültigkeit des aktuellen Bescheides endet am 31. August 2028**. Das Zulassungsdokument umfasst im Wesentlichen drei Bereiche, die im Folgenden dargestellt werden:

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

I. Allgemeine Bestimmungen:

Der erste Teil des Kombibescheids enthält allgemeine und rechtliche Informationen zur vorliegenden Zulassung, dieser Abschnitt ist als Vorwort durch das DIBt zu verstehen.

II. Besondere Bestimmungen:

Der zweite Teil mit den besonderen Bestimmungen definiert sowohl den Regelungs- sowie den Verwendungs- bzw. Anwendungsgegenstand als auch die Bauprodukte, die Planung und Bemessung sowie die Ausführung. Folgende Gegenstände der Zulassung sind definiert:

- **Regelungsgegenstand**: Benannt wird ein Bausatz zur Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton. Die Bausatzkomponente CARBOrefit®-Feinbeton ist schichtweise im Handlaminier- oder Spritzverfahren auf die Oberfläche des Betonbauteils aufzutragen. In diese wird die zweite Bausatzkomponente – die CARBOrefit®-Carbongitter – als Bewehrungslage eingearbeitet und eine nächste Schicht Feinbeton aufgebracht, welche als Deck- oder erneute Trägerschicht für eine weitere Bewehrungslage fungiert. Die max. Anzahl an Carbongitterlagen ist auf 4 begrenzt.
- **Verwendungs- bzw. Anwendungsgegenstand**: Das CARBOrefit®-Verfahren kann für die statische Ertüchtigung von vorwiegend ruhend, biegebeanspruchten Stahlbetonbauteilen im Innenbereich angewendet werden. Die max. Nutzungstemperatur ist auf 40 °C und 65 % relative Luftfeuchtigkeit begrenzt. Eine direkte oder wechselnde Durchfeuchtung sowie Frost-Tau-Wechsel der Carbonbetonschicht ist nicht zulässig. Nach dem Bescheid ist eine einachsige Biegeverstärkung der Zugzone des Betonbauteils durch statisches Ansetzen der CARBOrefit®-Gitter mit einer max. Verstärkungskraft von 430 kN/m möglich. Eine Anordnung In der Druckzone ist unter Begrenzung der Carbonbetonschicht auf den Bemessungswert der Druckkraft ebenfalls zugelassen. Seitens der Stahlbetonkonstruktion erfolgt eine Eingrenzung hinsichtlich der Betongüte auf einen Normalbeton mit char. Oberflächenzugfestigkeit von 1,0 N/mm² (Erwartungswert des Mittelwerts) und einer max. Festigkeitsklasse von C50/60. Des Weiteren ist der Vergleichsdurchmesser der Betonstahlbewehrung auf 20 mm begrenzt.
- **Bestimmungen für die Bauprodukte:** In diesem Abschnitt werden die Eigenschaften und Anforderungen der zugelassenen Bausatzkomponenten beschrieben. So werden z. B. die geometrischen Eigenschaften der CARBOrefit®-Carbongitter mit den Varianten der Regel- und Sonderausführung festgelegt, als auch die mechanischen Eigenschaften der CARBOrefit®-Typen und die Abminderungsbeiwerte der Zulassungsprüfung dargestellt. Die relevanten mechanischen Anforderungen an den CARBOrefit®-Feinbeton sind ebenfalls definiert. Des Weiteren werden die Bestimmungen für Herstellung, Verpackung und Kennzeichnung sowie Transport und Lagerung festgelegt. Die Übereinstimmungsbestätigung der Bauprodukte erfolgt durch die Übereinstimmungserklärung durch die Hersteller auf Grundlage einer werkseigenen Produktionskontrolle (wPK) und eines Übereinstimmungszertifikates einer anerkannten Zertifizierungsstelle. Die Bauprodukte sind mit einem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) unter Hinweis der Zulassungsnummer zu kennzeichnen. Eine herstellungsbegleitende wPK sowie eine regelmäßige Fremdüberwachung durch eine anerkannte Prüfstelle wird durch das DIBt festgelegt.
- **Bestimmungen für Planung, Bemessung und Ausführung:** Die planungsrelevanten Bemessungskennwerte für die Zug- und Verbundfestigkeiten der CARBOrefit®-Typen sind in diesem Abschnitt definiert. Außerdem sind Rechenwerte für die Betoneigenschaften der Carbonbetonschicht dargestellt und es werden die geometrischen Eigenschaften für die Ermittlung der Querschnittsfläche der Bewehrung erläutert. Für den Bereich der Ausführung sind die Anforderungen an das zu verstärkende Betonbauteil und die anwendungsrelevanten Schritte sowie ergänzenden Richtlinien der Bauwerkserhaltung beschrieben. Neben der Betongüte wird eine

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

mittlere Rautiefe von mind. 1 mm und eine Ebenheit von Δh = 1 mm auf einer Prüfstrecke von 30 cm der zu verstärkenden Oberfläche gefordert. Eine Mindestbetondeckung von 3 mm für den Typ 1 sowie von 5 mm für den Typ 3 ist ebenfalls festgelegt. Verstärkungsarbeiten sind durch zertifizierte Unternehmen mit anerkanntem Eignungsnachweis durchzuführen. Ausführungsbegleitend hat eine Eigen- sowie Fremdüberwachung durch eine anerkannte Überwachungsstelle zu erfolgen.

III. Anlagen:

Der dritte Teil der Zulassung enthält sieben Anlagen mit weiterführenden Informationen zu den Bauprodukten und deren Prüfanforderungen, zur Ausführung und der Eigenschaftskontrolle auf der Baustelle, Regeln und Hinweise für die Bemessung und Konstruktion sowie die Auflistung der zugelassenen Materialkombinationen und deren Produktbezeichnungen. Folgende Anlagen sind Bestandteil der Zulassung:

- **Anlage 1:** Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung der Carbongitter,
- **Anlage 2:** Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung des Feinbetons,
- **Anlage 3**: Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle,
- **Anlage 4:** MAWO Mantelstromdüse,
- **Anlage 5:** Bemessung und Konstruktion,
- **Anlage 6:** Untere Konfidenzschranke des Erwartungswerts der Oberflächenzugfestigkeit,
- **Anlage 7:** Zugelassene Materialkombinationen.

Nähere Erläuterungen und Anwendungshilfen zur abZ/aBG werden in den jeweiligen Kapiteln und Merkblättern der CARBOrefit®-Planungsmappe gegeben. Die bauaufsichtliche Grundlage für die Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens bilden die Angaben und Regelungsgegenstände in der abZ/aBG [1].

2.6 Überwacht und zertifiziert – die unabhängigen Prüfstellen für das CARBOrefit®-Verfahren

Das DIBt hat für die erteilten Zulassungen (abZ) und Bauartgenehmigungen (aBG) ein Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungssystem (PÜZ-System) installiert, welches die Qualität und Übereinstimmung der Bauprodukte sowie der Ausführung von geregelten Bauarten sicherstellt. Durch das PÜZ-Verzeichnis, welches ebenfalls durch das DIBt veröffentlicht wird, werden im Teil 1 die Überwachungs- und Zertifizierungsstellen für die CARBOrefit®-Zulassung benannt. Für die CARBOrefit®-Bausatzkomponenten ist eine Übereinstimmungserklärung der Hersteller nach Zertifizierung durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle vorgegeben. Die Übereinstimmungsbestätigung erfolgt herstellerseitig durch eine Übereinstimmungserklärung, welche mit den Beipackzetteln für die CARBOrefit®-Gitter und durch eine Beschriftung auf der Sackware des CARBOrefit®-Feinbetons ausgesprochen wird. Zusätzlich werden die Produkte mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) einer anerkannten Prüfstelle gekennzeichnet. Somit wird garantiert, dass die Bauprodukte durch eine unabhängige und anerkannte Prüfstelle gemäß den bauaufsichtlichen Vorgaben der abZ/aBG fremdüberwacht werden und die Bauprodukte die geforderten Anforderungen der abZ/aBG erfüllen.

Zum aktuellen Zeitpunkt sind entsprechend dem PÜZ-Verzeichnis [2] folgende Prüfstellen für die Fremdüberwachung sowie die Ausstellung der Übereinstimmungszertifikates für die CARBOrefit®-Bauprodukte anerkannt:

- Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH – MFPA Leipzig GmbH (Gitter und Feinbeton),

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH (Gitter).

Die Versuche, welche im Rahmen der Fremdüberwachung sowie der werkseigenen Produktionskontrolle der Gitterhersteller durchgeführt werden, sind im Merkblatt 2.03 „*Beschreibung der Versuche im Rahmen der Fremdüberwachung und werkseigenen Produktionskontrolle von* CARBOrefit®*-Gittern*“ ausführlich beschrieben. In Abbildung 4 ist das PÜZ-System in Bezug auf das CARBOrefit®-Verfahren grafisch dargestellt.

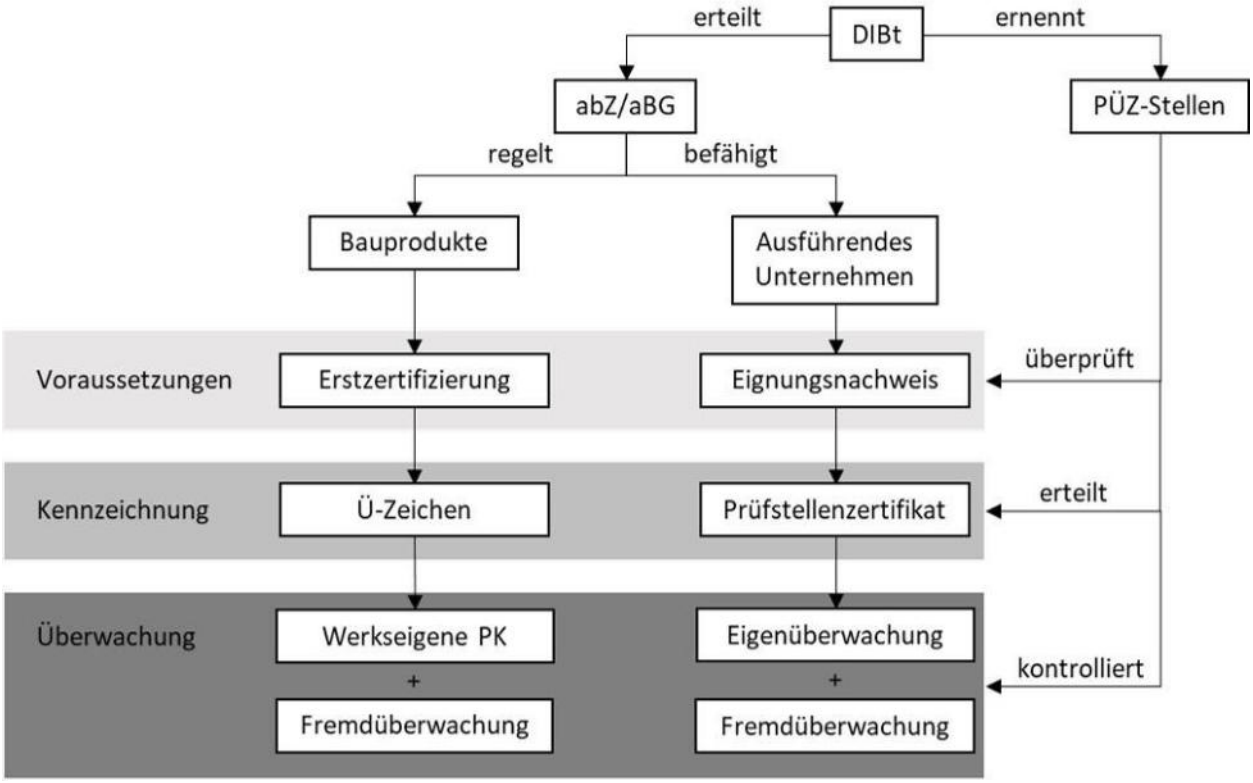


Abbildung 4: Überblick über das Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungssystem des CARBOrefit®-Verfahrens (Quelle: CARBOCON GMBH)

Neben der Überwachung der Bauprodukte wird durch das DIBt eine Zertifizierung und Fremdüberwachung der ausführenden Unternehmen vorgegeben. Aufgrund der statischen Relevanz des CARBOrefit®-Verfahrens ist es zwingend notwendig, dass die Verstärkungsarbeiten korrekt ausgeführt werden und die Carbonbetonverstärkungen die in der abZ/aBG geregelten Eigenschaften aufweisen. Aus diesem Grund müssen Unternehmen, die Verstärkungsarbeiten mit CARBOrefit® nach der abZ/aBG ausführen, einen Eignungsnachweis erbringen. Das DIBt regelt die Voraussetzungen für ausführende Unternehmen durch die „Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung mit Carbonbeton mit Bausätzen nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen“ [3]. Anhand dieser Regelung ist der Nachweis der Eignung zu erbringen. Die unternehmensgebundene Bescheinigung der Eignung wird durch die für die abZ/aBG anerkannte PÜZ-Stelle [2] erteilt und führt die zertifizierten Mitarbeiter auf. Als zuständige Stelle ist die Gemeinschaft für Überwachung im Bauwesen e.V. (GÜB) durch das DIBt anerkannt. Voraussetzung für die Erlangung der Eignungsbescheinigung ist, dass das Baustellenpersonal gemäß der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“, Teil 3 [4] über spezielle Kenntnisse im Bereich der Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbetonbauteilen und einen SIVV-Schein (Schützen, Instandsetzen, Verbinden und Verstärken im Betonbau) verfügt.

Weitere Informationen zur Anwendungsschulung für das CARBOrefit®-Verfahren sind im Kapitel 4 dargestellt. Einen umfangreichen Überblick über das Überwachungs- und Zertifizierungssystem für das

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

CARBOrefit®-Verfahren finden Sie im Tagungsbeitrag der Carbon- und Textilbetontage [5], welcher ebenfalls mit den Grundsätzen zum Eignungsnachweis [3] dem Kapitel 5 angehängt ist.

Quellen:

[1] DIBt, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182 „CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Deutsches Institut für Bautechnik. Berlin. 2023

[2] Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen (PÜZ-Verzeichnis), Ausgabe 2023 (Stand 1. Januar 2023). Deutsches Institut für Bautechnik

[3] Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton mit Bausätzen nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen. Deutsches Institut für Bautechnik. Mai 2022

[4] DAfStb-Richtlinie - Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. 2001

[5] Überwachung und Zertifizierung von CARBOrefit® – die bauaufsichtliche Regelung für Hersteller und ausführende Firmen, Tagungsbeitrag, Carbon- und Textilbetontage. Dresden. 2022

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 2.01	Eigenschaften der CARBOrefit®-Gittervarianten in Regel- und Sonderausführung

Bei Fragen/ Anmerkungen zu kontaktieren:
E-Mail: info@carborefit.de
Telefon: +49351 48205 521
Stand: 07.01.2025

1 Allgemeines

In diesem Merkblatt werden die geometrischen sowie die für die Bemessung relevanten Eigenschaften der in der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung (abZ)/allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) [1] geregelten CARBOrefit®-Typ 1 und -Typ 3 Carbongitter in Regel- und Sonderausführung vorgestellt. Grundlage bilden die in der abZ/aBG [1] festgelegten Angaben.

Die Materialkombination der beiden CARBOrefit®-Gittertypen, bestehend aus Carbonfasern und Tränkung, muss einer der nach Anlage 7 der abZ/aBG [1] zulässigen Kombinationen entsprechen. Die geregelten Gittertypen unterscheiden sich in ihren Eigenschaften hinsichtlich Festigkeit, Verbundverhalten, Steifigkeit sowie der verwendeten Materialien.

Die CARBOrefit®-Gittertypen sind jeweils in einer Regelausführung und Sonderausführung erhältlich. Bei der Regelausführung sind die Faserstrangabstände standardisiert. Die Faserstränge des Carbongitter werden in zwei Richtungen unterteilt, die Kettrichtung mit einer Filamentanzahl von 48 k / 50 k und die Schussrichtung mit einer Filamentanzahl von 24 k. Die Bezeichnung als Kett- und Schussrichtung folgt aus dem Herstellungsprozess des Carbongitters. Bei der Sonderausführung können die Faserstrangabstände in Abstimmung mit dem Gitterhersteller verändert werden und die Filamentanzahl in Schussrichtung bis auf 50 k erhöht werden.

Hinweis: 1 k entspricht der Anzahl von 1.000 Filamenten

Die Kettrichtung ist die Haupttragrichtung und ist entsprechend der abz/aBG für die statische Bemessung anzusetzten.

Die Schussrichtung ist entsprechen der abz/aBG als Nebentragrichtung definiert und weist einen konstruktiven Mindestquerschnitt von 20 % der Kettrichtung auf, wodurch kein statischer Nachweis erforderlich ist. Eine biaxiale Beanspruchung des Carbongitters oder statische Bemessung der Schussrichtung ist nur im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE)/vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) zulässig.

2 Geometrische Eigenschaften der CARBOrefit®-Carbongitter

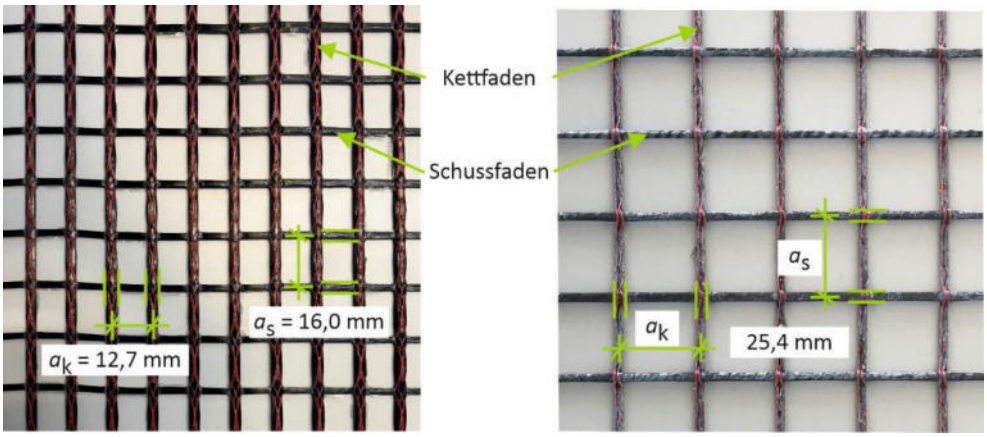


Abbildung 1: Carbongitter entsprechend Regel- (links) und einer möglichen Sonderausführung (rechts) (©CARBOCON GMBH)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2.1 Vorstellung CARBOrefit®-Carbongittertypen

Die beiden Gittertypen bieten Aufgrund ihrer Eigenschaften verschiedene Vorteile bezüglich der Anwendung. Die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter besitzen durch eine weichere Tränkung eine erhöhte Flexibilität, weshalb sie sich für die Verstärkung von gekrümmten Flächen eignen.

Die CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter sind stärker als die Gitter des Typ 1 und weisen höhere Bemessungswerte auf. So kann eine Verstärkungsschicht des Typ 3 so viele Kräfte aufnehmen wie zwei Verstärkungsschichten des Typ 1. Bei hohen Statischen Defiziten im Bestand weist der Typ 3 den Vorteil der Materialeinsparung auf und ist folglich die wirtschaftlichere Lösung. Zu beachten ist, dass der Typ 3 Aufgrund seiner stärkeren Eigenschaften nicht so gut für stark gekrümmte Bauteile geeignet ist wie der Typ 1.

Die Carbongitter können sowohl in Matten als auch in Rollenware geliefert werden. Durch das Verwenden der Rollenware können Übergreifungsstöße in Kettrichtung vermieden werden. Die genauen Maße der Carbongitter sind mit den Gitterherstellern abzustimmen. Zu bedenken ist an dieser Stelle Transportmaße.

Die Verwendung der Regelausführung eignet sich besonders bei hohen Verstärkungsgraden. Sonderausführungen können dahingegen bei geringen Tragfähigkeitsdefiziten verwendet werden, um den Materialeinsatz so effizient wie möglich zu gestalten. Weiterhin entstehen durch die Verwendung von gleichem Faserstrangquerschnitt und -abstand in Kett- und Schussrichtung Gitter, welche für einen biaxialen Lastabtrag herangezogen werden können. Dies ist jedoch nicht im Rahmen der abZ/aBG möglich und bedarf einer ZiE/vBG.

Hinweis: Es muss jederzeit sichergestellt werden, dass die Carbongitter vor Witterungseinflüssen und Betreten geschützt werden.

Beim Einbau ist auf die Tragrichtung zu achten jedoch nicht, ob die Carbongitter mit Ihrer Ober- oder Unterseite eingebaut werden.

2.2 Regelausführung

Die CARBOrefit®-Carbongitter in Regelausführung besitzen in Kettrichtung 48 k bzw. 50 k Carbonfaserstränge. In Schussrichtung werden 12 k Faserstränge angeordnet.

Die in Tabelle 1 aufgeführten geometrischen Eigenschaften sind unabhängig vom Gittertyp und gelten sowohl für CARBOrefit®-Typ 1 als auch für CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter.

Tabelle 1: Geometrische Eigenschaften der Faserstränge in Kett- und Schussrichtung für die CARBOrefit®-Typ 1 und -Typ 3 Carbongitter in Regelausführung nach abZ/aBG [1]

Eigenschaft	Kettrichtung	Schussrichtung
Fasergehalt [k]	≥ 48 und ≤ 50	12
Garnfeinheit [tex]	3.200 bis 3.500	800
Rohdichte des ungetränkten Rovings ρ_f [g/cm³]	$1{,}74 \leq \rho_f \leq 1{,}85$	$\rho_f = 1{,}77$
Querschnittsfläche eines Faserstrangs $A_{f,nm}$ [mm²]	$1{,}8 \leq A_{Kf,nm} \leq 1{,}95$	$A_{Sf,nm} = 0{,}45$
Faserstrangabstand a [mm]	$a_K = 12{,}7$	$a_S = 16{,}0 + 0 / -2$
Anzahl Faserstränge n je m [Stk]	$n_K = 78$	$n_S = 62{,}5$
Querschnittsfläche $a_{f,nm}$ [mm²/m]	$a_{Kf,nm} = 140$	$a_{Sf,nm} = 28$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2.3 Sonderausführung

Die CARBOrefit®-Carbongitter in Sonderausführung besitzen in Kettrichtung (Haupttragrichtung) 48 k bzw. 50 k Carbonfaserstränge. In Schussrichtung können 12 k bis 48 k bzw. 50 k Faserstränge verwendet werden.

Durch die Verwendung von CARBOrefit®-Carbongittern in Sonderausführung können Verstärkungsmaßnahmen wirtschaftlicher gestaltet werden, da die Querschnittsfläche der Gitter an die statisch erforderliche Querschnittsfläche angepasst werden kann.

Die in Tabelle 2 aufgeführten geometrischen Eigenschaften sind unabhängig vom Gittertyp und gelten sowohl für CARBOrefit®-Typ 1 als auch für CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter

Tabelle 2: Geometrische Eigenschaften der Faserstränge in Kett- und Schussrichtung für die CARBOrefit®-Typ 1 und -Typ 3 Carbongitter in Sonderausführung nach abZ/aBG [1]

Eigenschaft	Kettrichtung	Schussrichtung
Fasergehalt [k]	≥ 48 und ≤ 50	≥ 12 und ≤ 50
Garnfeinheit [tex]	3.200 bis 3.500	800 bis 3.500
Rohdichte des ungetränkten Rovings ρ_f [g/cm³]	$1{,}74 \le \rho_f \le 1{,}85$	$1{,}74 \le \rho_f \le 1{,}85$
Querschnittsfläche eines Faser-strangs $A_{f,nm}$ [mm²]	$1{,}8 \le A_{Kf,nm} \le 1{,}95$	$0{,}45 \le A_{Sf,nm} \le 1{,}95$
Faserstrangabstand a [mm]	$12{,}7 \le a_K \le 50{,}8$	$16{,}0 + 0 / -2 \le a_S \le 2 \cdot a_K$
Anzahl Faserstränge n je m [Stk]]	$n_K = \frac{1.000}{a_K\,[mm]} \cdot \frac{1}{m}$	$n_S = \frac{1.000}{a_S\,[mm]} \cdot \frac{1}{m}$
Querschnittsfläche $a_{f,nm}$ [mm²/m]	$a_{Kf,nm} = n_K \cdot 1{,}8$ mm²	$a_{Sf,nm} = n_S \cdot A_{Sf,nm}$ $A_{Sf,nm} = 0{,}45$ mm² für 12 k-Fasern $A_{Sf,nm} = 0{,}9$ mm² für 24 k-Fasern $A_{Sf,nm} = 1{,}80$ mm² für ≥ 48 k-Fasern
Sonstige Bemerkungen	-	$a_{Sf,nm}$ = mind. $0{,}2 \cdot a_{Kf,nm}$

2.4 Zusammenstellung möglicher Varianten der Sonderausführungen

Hinweis: Die Mindestmaße der Kett- und Schussfadenabstände (Tabelle 2, Zeile 5) entsprechen den Maßen der Gitter in Regelausführung. In den nachfolgenden drei Tabellen sind die folgenden möglichen Kombinationen dargestellt:

- Tabelle 3: Vergrößerung der Abstände der Kettfäden in Halbzollschritten (1 Zoll = 25,4 mm) und Vergrößerung der Abstände der Schussfäden in Abhängigkeit der Bedingung, dass die Querschnittsfläche in Schussrichtung $a_{Sf,nm}$ mindestens 20 % der Querschnittsfläche in Kettrichtung $a_{Kf,nm}$ entspricht ($a_{Sf,nm} = 0{,}2 \cdot a_{Kf,nm}$). Es werden beispielhaft 12 k-Faserstränge in Schussrichtung verwendet.

  Diese Gitter können beispielsweise bei einem geringen einaxialen Verstärkungsgrad unter Verwendung von 12 k-Schussfäden zum Einsatz kommen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- Tabelle : Vergrößerung der Abstände der Kettfäden in Halbzollschritten und Vergrößerung der Abstände der Schussfäden in Abhängigkeit der Bedingung $a_S = 2 \cdot a_K$ unter der Verwendung von 48 k-Fasersträngen.

  Diese Gitter können beispielsweise bei einem geringen einaxialen Verstärkungsgrad unter Verwendung von 48 k-Schussfäden zum Einsatz kommen.

- Tabelle : Vergrößerung der Abstände der Kettfäden in Halbzollschritten und Vergrößerung der Abstände der Schussfäden in Halbzollschritten unter der Verwendung von 48 k-Fasersträngen.

  Die Gitter können im Rahmen einer ZiE für einen biaxialen Lastabtrag verwendet werden.

Ausführungsvarianten der Sonderausführung sind mit den Gitterherstellern abzustimmen.

Tabelle 3: Beispielhafte Gittervariationen für Sonderausführungen unter der Bedingung $a_{Sf,nm} = 0{,}2 \cdot a_{Kf,nm}$

KETTRICHTUNG (48 k)			SCHUSSRICHTUNG (12 k)		
Faserstrangabstand [mm]	Anzahl Faserstränge je m	Querschnittsfläche [cm²/m]	Faserstrangabstand [mm]	Anzahl Faserstränge je m	Querschnittsfläche [cm²/m]
12,70	78	1,40	16,00	62,5	0,28
25,40	39	0,70	32,26	31	0,14
38,10	26	0,46	50,00	20	0,09
50,80	19	0,34	66,67	15	0,07

Tabelle 4: Beispielhafte Gittervariationen für Sonderausführungen unter der Bedingung $a_S \leq 2 \cdot a_K$

KETTRICHTUNG (48 k)			SCHUSSRICHTUNG (48 k)		
Faserstrangabstand [mm]	Anzahl Faserstränge je m	Querschnittsfläche [cm²/m]	Faserstrangabstand [mm]	Anzahl Faserstränge je m	Querschnittsfläche [cm²/m]
12,70	78	1,40	25,40	39	0,70
25,40	39	0,70	50,80	19	0,34
38,10	26	0,46	76,20	13	0,23
50,80	19	0,34	101,60	9	0,16

Tabelle 5: Beispielhafte Gittervariationen für Sonderausführungen unter der Bedingung $a_S = a_K$

KETTRICHTUNG (48 k)			SCHUSSRICHTUNG (48 k)		
Faserstrangabstand [mm]	Anzahl Faserstränge je m	Querschnittsfläche [cm²/m]	Faserstrangabstand [mm]	Anzahl Faserstränge je m	Querschnittsfläche [cm²/m]
12,70	78	1,40	12,70	78	1,40
25,40	39	0,70	25,40	39	0,70
38,10	26	0,46	38,10	26	0,46
50,80	19	0,34	50,80	19	0,34

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3 Bemessungsrelevante Eigenschaften der CARBOrefit®-Carbongitter

3.1 Geometrische Eigenschaften

Hinweis: Im Rahmen der abZ/aBG [1], Abschnitt 3.2 dürfen nur die Faserstränge des Carbongitters in Kettrichtung für die Bemessung der Verstärkungsschicht herangezogen werden.

Die für die Bemessung wichtigen geometrischen Eigenschaften der CARBOrefit®-Carbongitter in Regelausführung in Kettrichtung sind nach Tabelle 1:

$$a_{Kf,nm} = 140\ mm^2/m \qquad A_{Kf,nm} = 1{,}8\ mm^2 \qquad n_K = 78/m$$

Die für die Bemessung wichtigen geometrischen Eigenschaften der CARBOrefit®-Carbongitter in Sonderausführung in Kettrichtung sind nach Tabelle 2:

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

Die geometrischen bemessungsrelevanten Eigenschaften der Schussfäden in Regel- und Sonderausführung wird auf die Angaben in Tabelle 1 und Tabelle 2 dieses Merkblattes verwiesen.

3.2 Kennwerte der Zugfestigkeit der Carbonfaserstränge in Kettrichtung der CARBOrefit®-Carbongitter

Hinweis: siehe Anwendungsbereich der abZ/aBG [1]

Die Ermittlung der Bemessungszugfestigkeit erfolgt über eine Abminderung der charakteristischen Zugfestigkeit. Die Abminderungsfaktoren variieren für die beiden CARBOrefit®-Carbongittertypen. Die Bemessungszugfestigkeit $f_{nm,d}$ der Carbongitter in Kettrichtung wird wie folgt bestimmt:

$$f_{nm,d} = \alpha_{nm,T,t} \cdot \alpha_{nm,t\infty,t} \cdot \alpha_{nm,D,t} \cdot \frac{f_{nm,k}}{\gamma_{nm,t}}$$

Mit
- $f_{nm,k}$ Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit
- $\alpha_{nm,T,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Temperatur
- $\alpha_{nm,t\infty,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Dauerlast
- $\alpha_{nm,D,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Dauerhaftigkeit
- $\gamma_{nm,t}$ Teilsicherheitsbeiwert für die Zugfestigkeit

Die für die Bemessung anzusetzenden Bemessungszugfestigkeiten, die Bruchdehnung sowie der E-Modul der beiden Carbongittertypen werden durch die abZ/aBG [1] fest vorgeschrieben. Die Bemessungswerte sind in nachfolgender Tabelle 6 zusammengefasst. Rein rechnerisch ergeben sich nach obenstehender Gleichung leicht erhöhte Werte für die Zugfestigkeit. Diese Werte sind in der Tabelle in Klammern der Vollständigkeit halber angegeben.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Tabelle 6: Bemessungswerte der Zugfestigkeit der Carbonfaserstränge in Kettrichtung der CARBOrefit®-Carbongitter

Kennwert	CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
Bemessungswert der Zugfestigkeit $f_{nm,d}$ [N/mm²]	**768** (768,5)	**1.300** (1.312,5)
E-Modul E_{nm} [N/mm²]	206.667	206.667
Charakteristische Bruchdehnung $\varepsilon_{nm,uk} = f_{nm,k} / E_{nm}$ [%]	0,75	1,10

Darüber hinaus darf der Bemessungswert der Zugkraft der Carbonbewehrung in der Verstärkungsschicht 430 kN/m nicht überschreiten.

3.3 Kennwerte der Verbundfestigkeit der Carbonfaserstränge in Kettrichtung der CARBOrefit®-Carbongitter

Die Ermittlung der Bemessungsverbundfestigkeit erfolgt analog zu Abschnitt 3.2 über eine Abminderung der charakteristischen Verbundfestigkeit.

$$T_{nm,d} = \alpha_{nm,T,b} \cdot \alpha_{nm,t\infty,b} \cdot \alpha_{nm,D,b} \cdot \frac{T_{nm,k}}{\gamma_{nm,b}}$$

Mit $T_{nm,k}$ Charakteristischer Wert der Verbundfestigkeit

$\alpha_{nm,T,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Temperatur

$\alpha_{nm,t\infty,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Dauerlast

$\alpha_{nm,D,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Dauerhaftigkeit

$\gamma_{nm,b}$ Teilsicherheitsbeiwert für die Verbundfestigkeit

Die für die Bemessung anzusetzenden Bemessungsverbundfestigkeit werden durch die abZ/aBG [1] fest vorgeschrieben. Die Bemessungswerte sind in nachfolgender Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 7: Kennwerte der Verbundfestigkeit der Carbonfaserstränge in Kettrichtung der CARBOrefit®-Carbongitter

Kennwert	CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
$T_{nm,d}$ [N/mm]	**0,564**	**4,7**
Übergreifungslänge [mm]	**1.200**	**500**

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

4 Beipackzettel für zertifizierte CARBOrefit®-Carbongittertypen

Abbildung 2: Muster Beipackzettel für CARBOrefit® - Carbongitter (©CARBOCON GMBH)

CARBOrefit® – Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182

Beipackzettel für zertifizierte CARBOrefit®-Carbongitter[1)]

Hersteller: _____

Herstellwerk: _____

Herstelldatum des Carbongitters: _____

Chargennummer des Carbongitters: _____

Artikelbezeichnung nach Hersteller: _____

Gittertyp und Material der Faserstränge:

☐ CARBOrefit®-Typ 1

☐ C1T1 ☐ C2T1 ☐ C3T1 ☐ C4T1

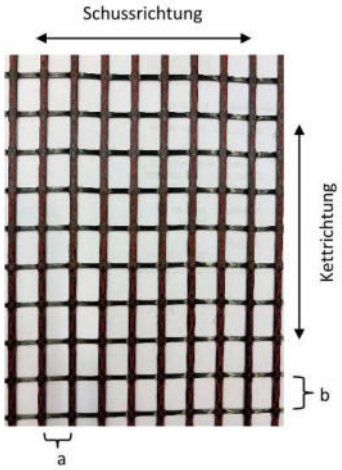
☐ CARBOrefit®-Typ 3

☐ C2T2 ☐ C3T2 ☐ C4T2

☐ C2T3 ☐ C3T3 ☐ C4T3

Ausführung: ☐ Regelausführung

☐ Sonderausführung



Achsmaß a – Kettfäden: _____

Achsmaß b – Schussfäden: _____

Querschnitt Faserstränge in Kettrichtung je m: _____

Querschnitt Faserstränge in Schussrichtung je m: _____

Gewicht: _____

Bauaufsichtliches Übereinstimmungszeichen:

Verweis:

1) Angaben gemäß Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182 CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. DIBt, Berlin, 31.08.2023 (Geltungsdauer 31.08.2023 - 31.08.2028)

Die Gewährleistung und Richtigkeit dieses Dokumentes liegen beim Hersteller.

info@carborefit.de www.carborefit.de

CARBOrefit® ist eine eingetragene Marke und ein Qualitätssiegel im Bauwesen

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 2.02	Eigenschaften des CARBOrefit®-Feinbetons

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren:
E-Mail: info@carborefit.de
Telefon: +49351 48205 521
Stand: 07.01.2025

1 Allgemeines

In diesem Merkblatt werden die Eigenschaften des in der abZ/aBG [1] geregelten CARBOrefit®-Feinbetons vorgestellt. Der TF10 CARBOrefit®-Feinbeton der Firma ©PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co. KG besteht aus Zement, Silikastaub, Flugasche sowie einem Quarzsand mit einem **Größtkorn von 1 mm.** Der Feinbeton wird werksmäßig als Trockenmörtel hergestellt und als Sackware zur Baustelle geliefert. Für die Qualitätssicherung und die Übereinstimmung mit der Zulassung ist auf jedem Sack des CARBOrefit®-Feinbeton ein Ü-Zeichen dargestellt.

Abbildung 1: CARBOrefit®-Feinbeton (©PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co. KG)

2 Eigenschaften des CARBOrefit®-Feinbetons

Nachfolgend werden die mechanischen Eigenschaften des CARBOrefit®-Feinbetons zusammengefasst. Diese wurde der abZ/aBG [1] sowie dem technischen Merkblatt [2] entnommen.

Tabelle 1: mechanische Eigenschaften des CARBOrefit®-Feinbetons nach [1] und [2], geprüft am Mörtelprisma [4]

Eigenschaft	Wert nach d Tagen		
	1 Tag	7 Tagen	28 Tagen
Mittelwert der Druckfestigkeit f_{cm} [N/mm²], [3] [5]	≥ 15 (WPK)	≥ 40 (WPK) ≥ 40 (Ausführung)	≥ 80 (WPK) ≥ 72 (Ausführung)
Mittelwert der Biegezugfestigkeit $f_{ctm,fl}$ [N/mm²], [3] [5]	≥ 3,0 (WPK)	≥ 5,0 (WPK) ≥ 5,0 (Ausführung)	≥ 6,0 (WPK) ≥ 5,5 (Ausführung)
E-Modul E_{cm} [N/mm²], [3] [5]	≥ 25.000		

WPK – Werkseigene Produktionskontrolle durch den Betonhersteller (Laborkennwerte)

Ausführung – Kennwerte im Rahmen der Bauausführung durch die ausführende Firma

Der Mittelwert ergibt sich aus einem Prismensatz, der aus mindestens drei Prismen besteht. In der folgenden Tabelle 2 sind Prüfungen und die Eigenschaften des Feinbetons dargestellt, welche im Rahmen der Ausführung zu kontrollieren und dokumentieren sind. Hierfür können Sie das Merkblatt 4.02 als Mustervorlage für die Dokumentation der Ausführungsarbeiten verwenden.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Tabelle 2: physikalische Kennwerte des CARBOrefit®-Feinbetons, nach [1] und [2], geprüft am Mörtelprisma [4]

Gegenstand der Prüfung	Wert	Häufigkeit der Prüfung im Rahmen der Ausführung
Luftporengehalt [Vol-%.], t = 10 min, [6]	1,5 bis 4,5	(Vorgeschrieben im Rahmen der WPK, bei der Ausführung nach Bedarf)
Konsistenz des Frischbeton [cm], t = 10 min, [8]	17 bis 21	Bei der Herstellung der begleitenden Prüfkörper im Rahmen der Verstärkungsarbeiten, eine Überprüfung beim täglichen Anmischen wird empfohlen
Rohdichte des Frischbetons [kg/dm³], [9]	2,07 bis 2,27	Je 100 m² applizierter Schicht an Feinbeton, mindestens einmal je Arbeitstag
Rohdichte am erhärteten Beton [kg/dm³], [9]	1,95 bis 2,15	Bei der Herstellung der begleitenden Prüfkörper im Rahmen der Verstärkungsarbeiten

Weitere Eigenschaften sowie verfahrenstechnische Parameter für die Herstellung von Verstärkungsschichten im Handlaminier- oder Spritzverfahren können dem Technischen Merkblatt [2] sowie den Piktogrammen auf der Gebindeverpackung entnommen werden. Für die Verarbeitung und Ausführungsarbeiten finden Sie weitere Informationen im Merkblatt 4.01.

3 Prüfzeugnisse und technische Anwendungsmöglichkeiten des CARBOrefit®-Feinbetons

Der CARBOrefit®-Feinbeton wird nach der DIN EN 1504-3 [7] in die Klasse R4 der Instandsetzungsmörtel eingeordnet. Die R4-Instandsetzungsmörtel weisen die höchsten mechanischen Eigenschaften auf und ähneln hochfesten Betonen. Aufgrund seines geringen E-Moduls eignet sich der Feinbeton ebenfalls für das Instandsetzen und Verstärken von Betonbauteilen mit niedriger Betonfestigkeit. Unter Anwendung der abZ/aBG können Bauwerke mit einem Normalbeton und einem Erwartungswert des Mittelwerts der Oberflächenzugfestigkeit $F_{ctm,surf}$ von min. 1,0 N/mm² verstärkt werden. Der technische Nachweis konnte im Rahmen von Praxisprojekten erbracht und Bauwerke mit geringer Betongüte im Rahmen von Zustimmungen im Einzelfall unter Anwendung von CARBOrefit® erhalten werden. Referenzprojekte und Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens sind im 1. Kapitel der Planungsmappe näher beschrieben.

Tabelle 3: Anwendungsmöglichkeiten und Prüfzeugnisse des CARBOrefit®-Feinbetons, nach [2]

Anforderung	Klassifizierung
Baustoffklasse	A1 (nicht brennbar)
Betonersatzsystem	R4 gemäß DIN EN 196-1
Trinkwasser	Prüfzeugnisse nach DVGW-Arbeitsblättern W270, W347, W300
Abwasser, Entwässerung, Kläranlagen	Prüfnachweis über hohen Korrosionswiderstand gegen starken chemischen Angriff gemäße DIN 19573
Frost-Tausalz	Prüfnachweis über hohen Widerstand gemäß CIF- und CDF-Verfahren
Feuchtigkeitsklassen	WO, WF, WA, WS, nach DIN EN 12620 r Alkaliempfindlichkeitsklasse E1 aus unbedenklichen Vorkommen
Expositionsklassen	X0, XC (1-4), XD (1-3), XS (1-3), XF (1-4), XA* (1-3**), XM (1), XWW (1-3) gemäß DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 / DIN 19573

* Bei Sulfatangriff bis 1.500 mg/l

** mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen nach DIN 1045-2

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

[2] PAGEL® Spezial-Beton: Technisches Merkblatt TF10 CARBOrefit® Textilfeinbeton, https://www.pagel.com/all/pdf/de/tf10_de.pdf

[3] DIN EN 12390-2 (2019-10): Prüfung von Festbeton - Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen

[4] DIN EN 12390-3 (2019-10): Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern

[5] DIN EN 196-1 (2016-11): Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit

[6] DIN EN 1015-7 (1998-12): Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 7: Bestimmung des Luftgehaltes von Frischmörtel

[7] DIN EN 1504-3 (2006-03): Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 3: Statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung

[8] DIN EN 1015-3 (2007-05): Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch)

[9] DIN EN 1015-6 (2007-05): Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 2.03	**Beschreibung der Versuche im Rahmen der Fremdüberwachung und werkseigenen Produktionskontrolle von CARBOrefit®-Gittern**

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 25.04.2024

Hinweis: Dieses Merkblatt wurde nach den Vorgaben der abZ/aBG [1] erstellt und um zusätzliche Empfehlungen für die Versuchsdurchführung ergänzt.

1 Durchführung von Faserstrangzugversuchen

Gemäß der Anlage 1 der CARBOrefit®-Zulassung [1] wird mittels des Faserstrangzugversuchs das einaxiale Zugtragverhalten der getränkten Carbongitter anhand von herauspräparierten Fasersträngen ermittelt. Die Bestimmung der Eigenschaften der Fasersträngе erfolgt über die in der abZ/aBG [1] beschriebene Standardprüfung. Für die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter wird zusätzlich eine Alternativprüfung beschrieben. Anhand der Versuchsauswertung beider Prüfverfahren lässt sich die Zugfestigkeit, der E-Modul, die Bruchdehnung und die Spannungs-Dehnungslinie des untersuchten Faserstrangs ermitteln. Der Versuch kann je nach Ermessen des Herstellers fakultativ als Vorabversuch während der Produktion durchgeführt werden. Die in den Versuchen ermittelte Zugfestigkeit kann als Orientierungswert für die Ergebnisse der Dehnkörperversuche gesehen werden.

Die Anzahl der durchzuführenden Versuche ist im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle vom Hersteller je nach Bedarf festzulegen. Nach abZ/aBG [1] wird die Durchführung von Faserstrangzugversuchen einmal je Spulen-Aufsteckung empfohlen.

1.1 Herstellung der Probekörper

Für die Herstellung der Probekörper wird ein einzelner Faserstrang aus einem getränkten und ausgehärteten CARBOrefit®-Carbongitter herausgetrennt. **Dieser Faserstrang darf keine Beschädigungen aufweisen und muss repräsentativ für das Carbongitter sein**. Die Fasersträngе können mittels handelsüblicher Schneidwerkzeuge (z.B. Seitenschneider, Dremel, elektr. Cutter) dem Gitter entnommen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die zu prüfenden Fasersträngе nicht geknickt oder mechanisch beschädigt werden. Aufgrund der transversal isotropen Materialeigenschaften der Carbonfasern können Schädigungen zu einer Reduzierung der Faserstrangzugfestigkeit führen. Deutlichen Schwankungen der Prüfergebnisse deuten auf eine Schädigung der Fasern infolge der Probenpräparation hin. Es wird empfohlen die Versuchsserie zu wiederholen und die Ergebnisse aus dem Dehnkörperversuch vergleichend heranzuziehen.

Bei steif getränkten Gittern empfiehlt es sich, die Querfasersträngе am zu prüfenden Faserstrang mittels einer geeigneten Zange zu entfernen.

Die Prüfung erfolgt getrennt für die Fasersträngе in Kett- und Schussrichtung.

Die Länge der zu prüfenden Fasersträngе richtet sich nach dem nachfolgend beschriebenen Versuchsaufbau. Es ist darauf zu achten, dass die Länge des Faserstrangs so gewählt wird, dass die freie Probekörperlänge l_F eingehalten wird und der Faserstrang ausreichend verankert werden kann.

Um eine Schädigung der Fasersträngе bedingt durch die Querpressung an der Lasteinleitung der Prüfmaschine zu verhindern, wird empfohlen die Fasersträngе in metallische Lasteinleitungsbleche elastisch einzukleben (siehe Abbildung 1). Alternativ können sich spezielle Klemmbacken mit konischer Geometrie oder elastischer Oberfläche, z.B. aus Gummi verwendet werden.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Abbildung 1: präparierte Faserstrang-Prüfkörper, welche einem Gitter entnommen wurden

1.2 Versuchsaufbau

1.2.1 Standardprüfung

Der Versuchsaufbau der Standardprüfung für die Ermittlung der Faserstrangzugfestigkeit kann der Abbildung 2 entnommen werden. Dabei sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Freie Probekörperlänge $l_F \geq 200 \pm 5$ mm
- Messbereichslänge $l_M \geq \max \begin{cases} \text{2,5-fache Gitterweite der Querrichtung} \\ \text{50 mm} \end{cases}$
- Mindestabstand zwischen Einspannung und Messbereich: 50 mm
- Einspannlänge l_k = mind. 100 mm (empfohlener Wert, um ein Zugversagen des Faserstrangs zu erhalten)

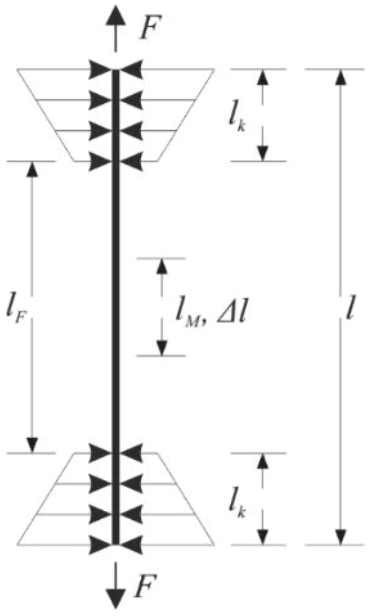
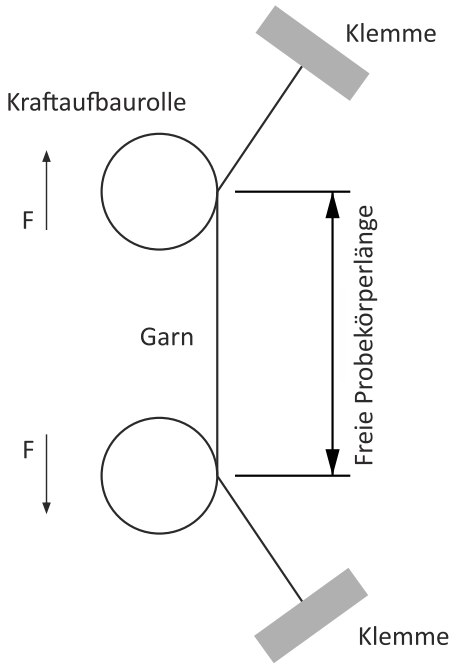


Abbildung 2: exemplarischer Versuchsaufbau der Standardprüfung des Faserstrangzugversuchs, entnommen aus [1]

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

1.2.2 Alternativprüfung



Die Alternativprüfung für die Faserstränge eines CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitters erfolgt nach ISO 3341 [1].

Der Versuchsaufbau der Alternativprüfung ist in Abbildung 3 dargestellt.

Es sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Verwendung von Umschlingungsklemmen mit optischer Längenänderungserfassung
- Freie Probekörperlänge für die Prüfung von Kettfäden: l_F = 500 mm
- Freie Probekörperlänge für die Prüfung von Schussfäden: l_F = 200 mm

Abbildung 3: Versuchsaufbau der Alternativprüfung des Faserstrangzugversuchs, nach [3]

1.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Der zu untersuchende Faserstrang wird axial in der Prüfmaschine ausgerichtet.
- Die Prüfmaschinen müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen.
- Hinweis für die Durchführung des Alternativversuchs: Verfügt die Prüfmaschine über eine Vorspanneinrichtung, so ist eine Vorspannkraft von 5 ± 2,5 mN/tex aufzubringen. Erhöht sich durch das Aufbringen der Vorspannung die Länge des Probekörpers im Bereich der freien Probekörperlänge um mehr als 0,5 % kann das alternative Prüfverfahren nicht angewendet werden (vgl. [1]).
- Die Belastung erfolgt **verformungsgesteuert** bis zum Zugversagen des Faserstrangs oder Faserauszug aus dem Einspannbereich. Die **Belastungsgeschwindigkeit** ist abhängig vom Prüfverfahren.
  - Standardprüfung: **3 mm/min** für Prüfung von Kett- und Schussfäden
  - Alternativprüfung: **200 mm/min** für Prüfung von Kettfäden
    80 mm/min für Prüfung von Schussfäden
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft *F*, Maschinenweg *s* und die Längenänderung *Δl* im Messbereich
- Für die Ermittlung des E-Moduls ist die Dehnungsmessung bis 60 % der Bruchkraft erforderlich.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 1.3.3 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- Damit der Versuch anerkannt werden kann, muss ein **gültiges Versagen** eintreten.

  Mögliche Versagensarten sind:

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

1.4 Auswertung und Materialkennwerte

Der Faserstrangzugversuch liefert als Ergebnis die Bruchkraft sowie die Verformung. Über diese beiden Kenngrößen werden die Bruchspannung, der E-Modul sowie die Bruchdehnung nach den folgenden Gleichungen bestimmt.

Bruchspannung

Die Bruchspannung der Faserstränge wird für jeden einzelnen Versuch einer Versuchsserie wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{f,nm,u} = \frac{F_u}{A_{f,nm}}$$

Mit $\sigma_{f,nm,u}$ Bruchspannung des Faserstrangs

F_u Bruchkraft

$A_{f,nm}$ Querschnittsfläche des Faserstrangs, $A_{f,nm}$ = 1,8 mm²

E-Modul

Der E-Modul der Faserstränge wird für jeden einzelnen Versuch einer Versuchsserie wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{f,nm,10} = \frac{F_{u,10}}{A_{f,nm}}$$

Mit $\sigma_{f,nm,10}$ Faserstrangspannung bei 10 % der Bruchkraft

$F_{u,10}$ Maschinenkraft bei 10 % der Bruchkraft

$$\sigma_{f,nm,60} = \frac{F_{u,60}}{A_{f,nm}}$$

Mit $\sigma_{f,nm,60}$ Faserstrangspannung bei 60 % der Bruchkraft

$F_{u,60}$ Maschinenkraft bei 60 % der Bruchkraft

$$E_{f,nm} = \frac{\sigma_{f,nm,60} - \sigma_{f,nm,10}}{\varepsilon_{f,nm,60} - \varepsilon_{f,nm,10}}$$

Mit $\varepsilon_{f,nm,60}$ Dehnung des Faserstrangs bei 60 % der Bruchkraft

$\varepsilon_{f,nm,10}$ Dehnung des Faserstrangs bei 10 % der Bruchkraft

$E_{f,nm}$ E-Modul

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Nach Auswertung aller Einzelversuche einer Versuchsserie werden der Mittelwert der Bruchspannung $\sigma_{f,m,u}$ sowie der Mittelwert des E-Moduls $E_{f,m}$ bestimmt. Diese sollten für die CARBOrefit®-Carbongitter die Werte der folgenden Tabelle 1 bei einer Temperatur von 20 °C nicht unterschreiten:

Tabelle 1: Anforderungen die Kennwerte der Faserstrangprüfung

Eigenschaft	**CARBOrefit®-Typ 1**	**CARBOrefit®-Typ 3**
Bruchspannung (Mittelwert) $\sigma_{f,nm,u}$	≥ 1.700 N/mm²	≥ 2.700 N/mm²
E-Modul $E_{f,nm}$	≥ 170.000 N/mm²	

2 Durchführung von Dehnkörperversuchen

Anhand der Dehnkörperversuche wird das einaxiale Zugtragverhalten der CARBOrefit®-Carbongitter im Verbund mit dem CARBOrefit®-Feinbeton bestimmt. Es wird nur die Kettrichtung der Carbongitter geprüft. Das Prüfverfahren dient zur Ermittlung der Zugfestigkeit, der Bruchdehnung sowie der Spannungs-Dehnungslinie des Verbundwerkstoffs.

Der Dehnkörperversuch wird im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Fremdüberwachung der Carbongitterherstellung durchgeführt. Die Anzahl der durchzuführenden Versuche richtet sich danach, ob es sich um eine Erstprüfung oder eine Prüfung während der laufenden Produktion handelt.

Im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 1 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m² oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: bei Spulenwechsel 1x Prüfung für den folgenden Produktionsabschnitt (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

Im Zuge der Fremdüberwachung der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m² oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: bei Spulenwechsel 1x Prüfung für den folgenden Produktionsabschnitt (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

2.1 Herstellung der Probekörper

Die einzelnen Probekörper für die Dehnkörperversuche werden aus großformatigen, rechteckigen Platten herausgeschnitten. Die Herstellung der Platten erfolgt im Handlaminier- oder im Spritzverfahren auf glatten, nicht saugfähigen Schalungen.

Als **Mindestmaße** für die herzustellenden Platten für die Prüfung von Gittern in **Regelausführung sowie in Sonderausführung mit einem Kettfadenabstand $a_{Kf} \geq$ 25,4 mm** werden die in nachfolgender Tabelle 1 beschriebenen Werte empfohlen. Die einzubauenden Lagen an Bewehrung sind ebenfalls zu berücksichtigen (siehe Tabelle 1). Die Gitter sind entsprechend den Plattenmaßen zuzuschneiden. Weiterhin ist bei der Verwendung von Gittern in Regelausführung und Sonderausführung mit a_{Kf} < 25,4 mm jeder fünfte Faserstrang in Kettrichtung zu entfernen, um eine Sägegasse herzustellen. Generell sind die Sägeschnitte mittig zwischen den Fasersträngen durchzuführen (analog zum *Merkblatt 05 - „Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten“*).

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Als **Mindestmaß** für Breite der Platten mit Carbongittern in **Sonderausführung mit einem Kettfadenabstand $a_{Kf} \geq 25{,}4$ mm** wird die 35-fache Breite (bezogen auf das Achsmaß der Kettfäden) empfohlen, um alle Probekörper aus einer Platte herstellen zu können. Die Plattenlänge kann nach Tabelle 2 gewählt werden.

Tabelle 2: Maße für die Herstellung von Prüfplatten für die Durchführung von Dehnkörperversuchen

Carbongittertyp (Regelausführung)	**CARBOrefit®-Typ 1**	**CARBOrefit®-Typ 3**
Empfohlene Plattenbreite [mm]	650	650
Empfohlene Plattenlänge [mm]	1.750	1.200
Plattendicke [mm]	9	10
Anzahl Bewehrungslagen	zweilagig	Einlagig

Der Zuschnitt der Probekörper aus den Platten erfolgt frühestens nach der Feuchtebehandlung, also ab dem achten Tag nach der Herstellung der Platten bis spätestens drei Tage vor der Prüfung [1]. Die Lagerung der Platten hat nach Laborbedingungen bei einer Temperatur von 20 % und einer Luftfeuchte von 65 % zu erfolgen. Die Prüfung ist 28 Tage nach der Herstellung durchzuführen.

Für die aus den Platten herauszuschneidenden Probekörper werden die folgenden Maße empfohlen bzw. durch die abZ/aBG [1] vorgeschrieben:

- Länge der Probekörper für CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter: **mindestens 1200 mm**
- Länge der Probekörper für CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter: **mindestens 800 mm** (Empfehlung)
- Breite der Probekörper: **mindestens 60 mm** und **mindestens drei Faserstränge** im Probekörper enthalten (Anzahl der im Probekörper liegenden Faserstränge abhängig vom Kettfadenabstand der Gitter, bei der Regelausführung enthält der Probekörper vier Faserstränge)
- Verhältnis von Länge zu Breite des Untersuchungsbereichs (bestehend aus Mess- und Übergangsbereichen) **mindestens 3:1** (ab einem Achsmaß $a_{Kf} > 30$ mm ist die Länge des Übergangsbereichs entsprechend des vorgeschriebenen Verhältnisses anzupassen)

Abbildung 3 zeigt die empfohlene Probekörpergeometrie für die Dehnkörperversuche. Abweichende Abmessungen zu den jeweiligen CARBOrefit®-Typen sind jeweils dargestellt. Die Probenlänge besteht aus dem Messbereich, dem Übergangsbereich zwischen Mess- und Klemmbereich, dem Klemmbereich sowie gegebenenfalls einer freien Probenlänge. Die **Mindestlänge des Messbereichs beträgt 200 mm** und ist je nach Bewehrungsgrad, Verbundeigenschaften und Betonfestigkeit so zu wählen, dass **mindestens fünf Querrisse** in diesem Bereich auftreten. Treten keine fünf Querrisse auf, ist der E-Modul gesondert im Faserstrangzugversuch zu ermitteln. Die im Dehnkörperversuch ermittelte Festigkeit ist dennoch gültig.

Die in Abbildung 4 eingezeichnete Probekörperlänge stellt ebenfalls ein **Mindestmaß** dar.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

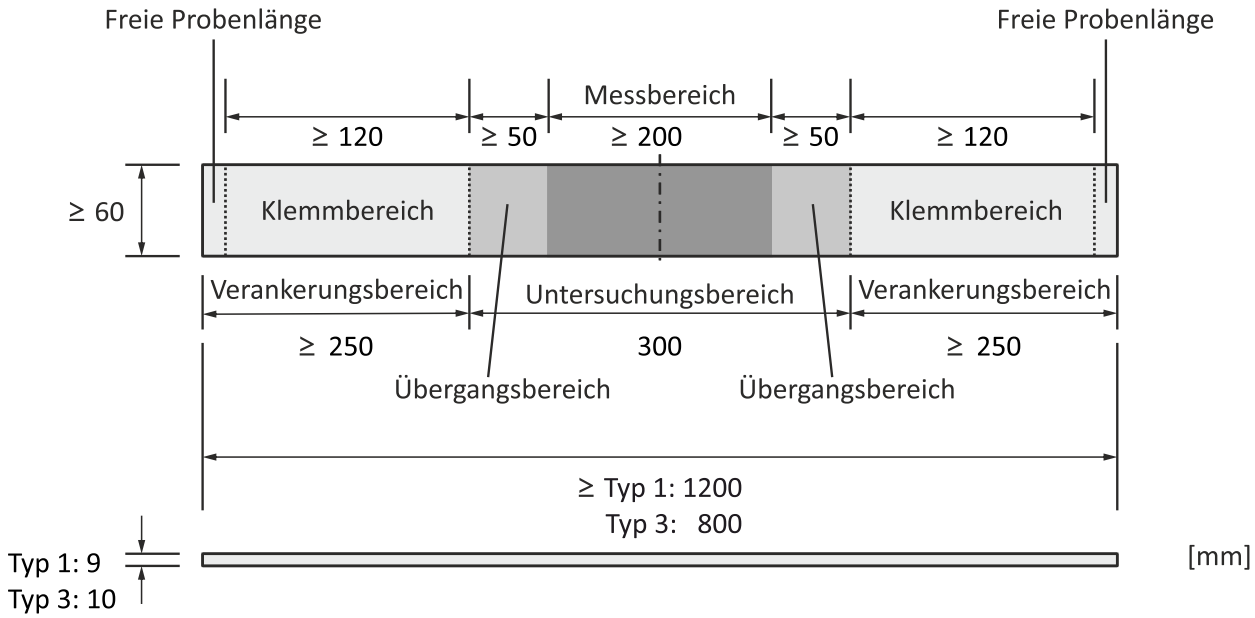


Abbildung 4: Empfohlene Probekörpergeometrie für den Dehnkörperversuch in Abhängigkeit des CARBOrefit®-Gittertyps, nach [1]

Um bei den Probekörpern ein Versagen infolge eines Garnauszugs im Klemmbereich zu vermeiden, muss eine ausreichende Verankerungslänge (bestehend aus Klemmbereich und freier Probenlänge) von mindestens 250 mm gewährleistet werden. Dies kann durch Vergrößerung des Klemmbereichs und falls erforderlich einer zusätzlichen freien Probenlänge sichergestellt werden.

Für CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter sollten, um ein Auszugversagen zu vermeiden, verbundverbessernde Maßnahmen angewendet werden. Diese Maßnahmen umfassen beispielsweise eine Zusatzbeschichtung mit Epoxidharz und Sand und das Auflaminieren zusätzlicher Bewehrungslagen in den Verankerungsbereichen (knochenförmige Probekörper). Der Aufbau dieser Probekörper ist in Abbildung 5 dargestellt.

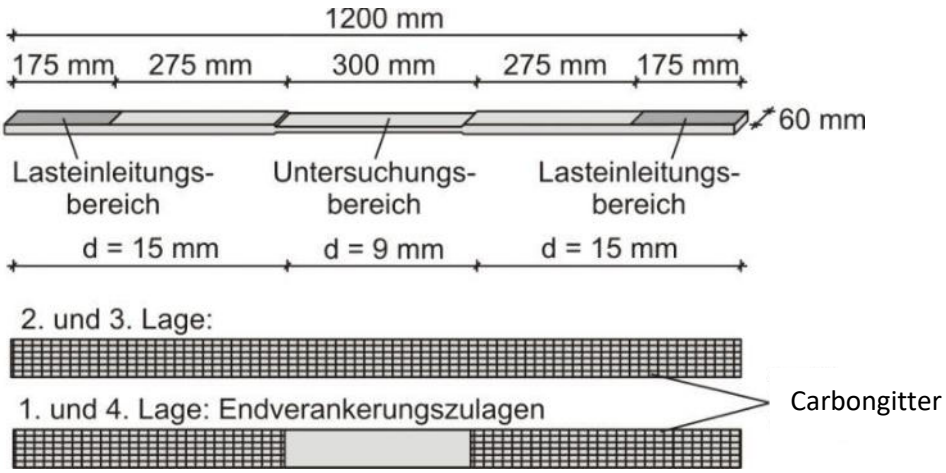


Abbildung 5: Knochenförmige Probekörpergeometrie für CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter, entnommen aus [1]

2.2 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Klemmbereichen gleichmäßig zwischen den Lasteinleitungsplatten geklemmt. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Last zentrisch eingeleitet wird. Der Schwerpunkt der Bewehrung muss zentrisch zum Schwerpunkt der Lasteinleitung ausgerichtet werden. Die Lasteinleitungsplatten können fest oder lösbar mit der Prüfmaschine verbunden sein. Die Verbindung zwischen den

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Lasteinleitungsplatten und der Prüfmaschine kann hinsichtlich der Art und Anzahl an Rotationsfreiheitsgraden unterschiedlich ausgeführt werden. Die Prüfmaschinen müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen. Der Versuchsaufbau ist exemplarisch in Abbildung 6 dargestellt.

Der Anpressdruck ist so festzulegen, dass ein Rutschen aus den Lasteinleitungen vermieden wird. Darüber hinaus darf der Anpressdruck nicht so hoch gewählt werden, dass die Druckfestigkeit des Probekörpers überschritten und dieser beschädigt wird. Für eine Erhöhung der Reibung zwischen den Lasteileitungsplatten und dem Probekörper sollten profilierte Lasteinleitungsplatten verwendet werden. Unebenheiten auf der Betonoberfläche können durch das Einlegen einer dünnen Zwischenschicht (z.B. textilbewehrtes Elastomer oder Schichtholz), Abschleifen oder das zusätzliche Aufbringen einer Ausgleichsschicht (z.B. Spachteln) ausgeglichen werden.

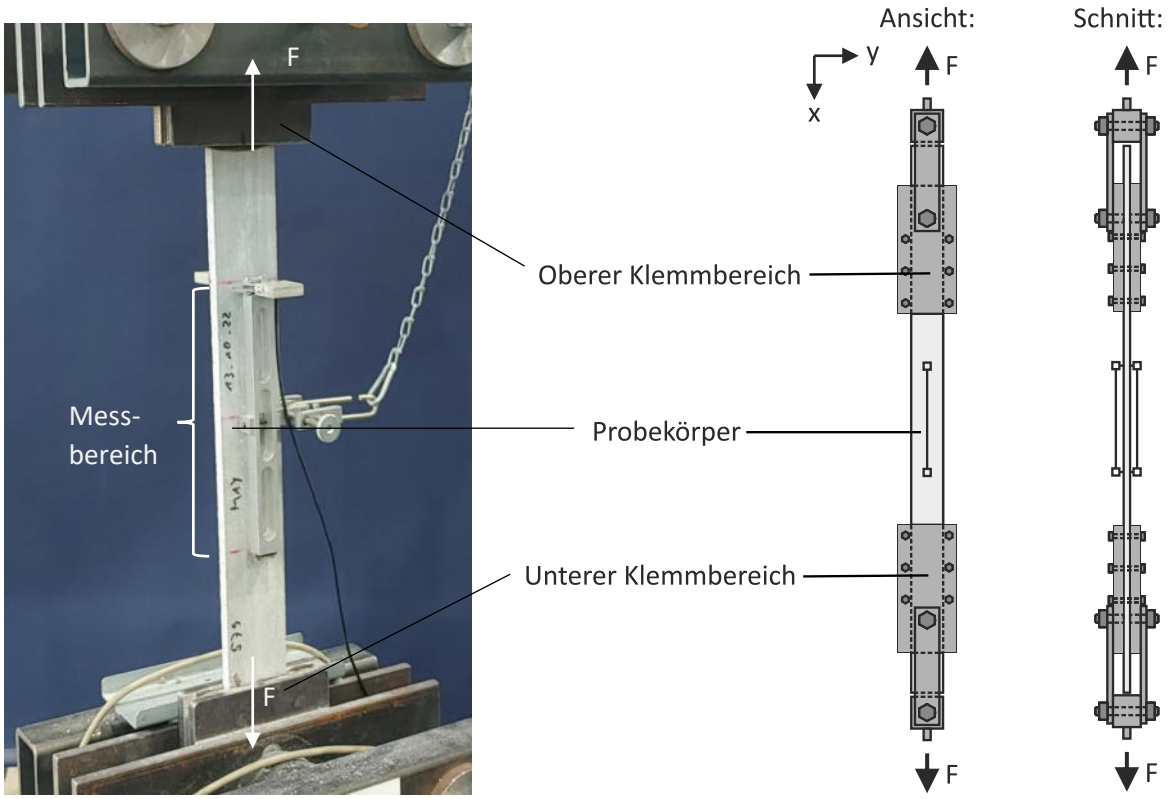


Abbildung 6: Exemplarische Versuchsaufbauten für die Durchführung von Dehnkörperversuchen, nach [1]

2.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Probekörper werden zentrisch im Schwerpunkt der Bewehrung gezogen. Zur Überprüfung der zentrischen Ausrichtung wird das Aufbringen einer Vorlast von bis zu 0,5 kN empfohlen.
- Die Belastung erfolgt **weggesteuert** mit einer **Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min** bis zum Versagen des Probekörpers.
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft *F*, Maschinenweg *s*, Längenänderung *Δl* (siehe auch Abbildung 6)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- Die Verformungsmessung erfolgt beidseitig mit jeweils in Probenmitte über dem Messbereich angebrachten Messsensoren. Die Verformungsmessung ist demnach zu mitteln. Erfolgt die Messung über Photogrammmetrie, so ist eine einseitige Messung ausreichend.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 2.6 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.
- Eine Versuchsserie besteht aus zehn Prüfungen. Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss bei mindestens fünf Probekörpern dieser Versuchsserie ein **gültiges Versagen** eintreten. Mögliche Versagensarten sind:
  - Versagen I: Bruch der Bewehrung im Untersuchungsbereich → **gültig**
  - Versagen II: Bruch der Bewehrung innerhalb des Klemmbereichs → **ungültig**
  - Versagen III: Faserstrangauszug → **ungültig**
- Treten während des Versuchs keine fünf **Querrisse** im Messbereich auf, ist der E-Modul gesondert im Faserstrangzugversuch zu ermitteln. Die im Dehnkörperversuch ermittelte Festigkeit ist dennoch gültig.

2.4 Auswertung und Materialkennwerte

Über die in dem Dehnkörperversuch gemessenen Größen können die Kennwerte der Spannungs-Dehnungs-Linie bestimmt werden. Diese umfassen die Faserstrangspannung des Carbongitters $\sigma_{f,nm}$ und die Dehnung des Verbundwerkstoffes ε_{nm}. Die Kennwerte werden wie folgt bestimmt.

Faserstrangspannung im Carbongitter (auszuwerten für jeden einzelnen Versuch)

$$\sigma_{f,nm} = \frac{F_{red}}{A_{f,nm}}$$

Mit F_{red} Maschinenkraft, ggf. korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung bedingt durch Prüfaufbau

$A_{f,nm}$ Gesamtquerschnittsfläche der im Probekörper liegenden Faserstränge

= Anzahl Faserstränge im Probekörper · $A_{f,nm}$, mit $A_{f,nm}$ = 1,80 mm²

Dehnung des Verbundwerkstoffes (auszuwerten für jeden einzelnen Versuch)

$$\varepsilon_{nm} = \frac{\Delta l}{l}$$

Mit Δl Längenänderung

L Messlänge der Wegsensoren

Die Zugfestigkeit $f_{f,nm}$ und die Bruchdehnung $\varepsilon_{nm,u}$ der Carbongitter im Carbonbeton ergeben sich nach den folgenden Gleichungen und sind für jeden Versuch einzeln auszuwerten.

$$f_{f,nm} = \frac{F_{u,red}}{A_{f,nm}}$$

Mit $f_{f,nm}$ Zugfestigkeit der Carbonbewehrung

$F_{u,red}$ Bruchkraft, korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung

$A_{f,nm}$ Gesamtquerschnittsfläche der im Probekörper liegenden Faserstränge

= Anzahl Faserstränge im Probekörper · $A_{f,nm}$, mit $A_{f,nm}$ = 1,80 mm²

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

$$\varepsilon_{nm,u} = \frac{\Delta l_u}{l}$$

Mit Δl_u Längenänderung bei Erreichen der Bruchkraft

E-Modul

$$E_{f,nm} = \frac{f_{f,nm}}{\varepsilon_{nm,u}}$$

Aus den für jeden Probekörper einzeln bestimmten Zugfestigkeiten $f_{f,nm,i}$ kann der Mittelwert der Zugfestigkeit der Carbongitter $f_{f,nm,m}$ bestimmt werden. Mit diesem Wert ist es möglich nach Abschnitt 5 der Anlage 1 der abZ/aBG [1] den charakteristischen Wert der Zugfestigkeit $f_{f,nm,k}$ wie folgt zu berechnen:

$$f_{f,nm,k} = f_{f,nm,m} \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$$

Mit k_n Fraktilenfaktor für charakteristische Werte

V_x Variationskoeffizient

Der Fraktilenfaktor k_n kann der Tabelle D.1 der DIN EN 1990 [4] für „V_x bekannt“ mit V_x = 0,1 entnommen werden, insofern V_x kleiner als 0,1 ist. Ist V_x größer als 0,1, so wird dieser Wert für die Bestimmung der charakteristischen Zugfestigkeit verwendet (ebenfalls für V_x bekannt).

Über das Vorgehen zur Bestimmung der charakteristische4n Zugfestigkeit ist ebenfalls die charakteristische Bruchdehnung $\varepsilon_{f,nm,uk}$ ermittelt werden.

Die so bestimmten Kennwerte dürfen für die CARBOrefit®-Carbongitter die folgenden Tabelle 3 bei einer Temperatur von 20 °C nicht unterschreiten:

Tabelle 3: Anforderungen die Kennwerte der Dehnkörperprüfung

Eigenschaft	**CARBOrefit®-Typ 1**	**CARBOrefit®-Typ 3**
Charakteristische Bruchdehnung $\varepsilon_{f,nm,uk}$	≥ 0,75 %	≥ 1,10 %
E-Modul $E_{f,nm}$	≥ 160.000 N/mm² und ≤ 260.000 N/mm²	
Charakteristische Zugfestigkeit $f_{f,nm,k}$	≥ 1.550 N/mm²	≥ 2.250 N/mm²

3 Durchführung von Ausziehversuchen (SPO-Versuchen)

Mittels der Ausziehversuche (engl.: Single-Sided-Pull-Out-Tests, kurz: SPO-Versuche) wird das Verbundverhalten der CARBOrefit®-Carbongitter im CARBOrefit®-Feinbeton unter einaxialer Zugbeanspruchung überprüft. Bei diesem Versuch wird ein einseitiger Auszug eines definierten Faserstrangabschnitts erzwungen. Über die Messung des Widerstands des Faserstrangs gegen den Auszug aus dem Beton werden Informationen über das Verbundverhalten des Carbonbetons ermittelt.

Die Durchführung von SPO-Versuchen wird für die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter in Regelausführung empfohlen.

Die Anzahl der durchzuführenden Versuche richtet sich nach dem Rahmen, in welchem die Versuche durchgeführt werden sollen. Die Untersuchung des Verbundverhaltens der Gitter kann im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle und im Zuge der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle durchgeführt werden.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 1 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m² oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: 1 x je Spulen-Aufsteckung (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

Im Zuge der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):

- Mind. 3 Platten für zu verstärkende Flächen bis 750 m²
- Flächen > 750 m²: eine Platte je angefangen 250 m²
- Aus **jeder Platte** sind **mindestens drei Probekörper** zu entnehmen und zu prüfen. Dies bedeutet, dass bei einer zu verstärkenden Fläche von beispielsweise 700 m² drei großformatige Prüfplatten hergestellt werden müssen, aus denen jeweils drei Probekörper entnommen werden. Dementsprechend müssen insgesamt neun SPO-Versuche durchgeführt werden.

3.1 Herstellung der Probekörper

Die einzelnen Probekörper für die Durchführung von SPO-Versuchen werden aus großformatigen Platten herausgeschnitten, deren Herstellung nach dem *Merkblatt 05 - „Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten“,* Abschnitt 1 zu erfolgen hat.

Der Zuschnitt der Probekörper aus den Platten erfolgt frühestens nach der Feuchtebehandlung, also ab dem achten Tag nach der Herstellung der Platten und spätestens drei Tage vor der Prüfung [1]. Beim Zuschnitt ist mittig zwischen den Fasersträngen zu sägen. Die Prüfung erfolgt nach 28 Tagen.

Die Probekörper müssen so zugeschnitten werden, dass sie **mindestens drei Faserstränge enthalten**, wobei **ein Faserstrang genau in Probenmitte** liegen muss. Die Gitteranordnung bzw. der Faserstrangverlauf kann über die Schnittflächen des Probekörpers erfasst werden (siehe Abbildung 6). Der mittig liegende Faserstrang wird geprüft. Die **Breite** eines Probekörpers muss **mindestens 60 mm** betragen. Die Mindestlänge der Proben kann über die nachfolgende Abbildung 7 bestimmt werden. Die Größe der Verankerungslänge l_E wird auf den einfachen Achsabstand der Schussfäden festgelegt.

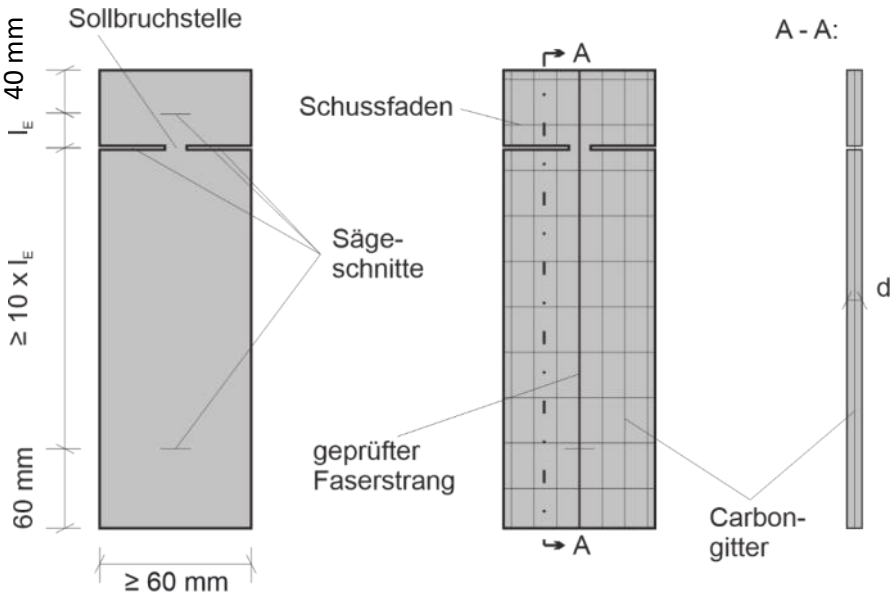


Abbildung 7: Erforderliche Probekörpergeometrie für die Durchführung von SPO-Versuchen, entnommen aus [1]

Wie in Abbildung 7 dargestellt, muss sowohl der zu prüfende Faserstrang als auch der Probekörper durch weitere Sägeschnitte präpariert werden. Durch diese wird der Untersuchungsbereich festgelegt. Mit der

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

vollständigen Durchtrennung des zu prüfenden Faserstranges wird die Verankerungslänge l_E auf der einen Seite definiert (z.B. mit einer Diamantbohrung oder einem Sägeschnitt mittels Dremel) und ein Garnauszug erzwungen. Durch zwei seitliche Sägeschnitte in dem Probekörper wird die Verankerungslänge l_E auf der anderen Seite festgelegt und eine Sollbruchstelle erzeugt. An dieser Sollrissstelle darf der verbleibende Betonquerschnitt nur noch den zu prüfenden Faserstrang enthalten. Die Größe des Betonrestquerschnittes muss unter Berücksichtigung der zu erwartenden maximalen Prüfkraft und der Zugfestigkeit des Betons so klein wie möglich gewählt werden, ohne dass der zu untersuchende Faserstrang beim Sägen oder beim Einbau der Probe geschädigt wird. Die Sägeschnitte sind so auszuführen, dass mindestens 40 mm Einspannlänge oberhalb des präparierten Faserstrangs geklemmt werden können. Des Weiteren sind die Sägeschnitte so anzuordnen, dass der Kett-/Schussfaden-Knoten mittig im Untersuchungsbereich liegt.

3.2 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Klemmbereichen **auf einer Länge von mindestens 40 mm** gleichmäßig zwischen den Lasteinleitungsplatten geklemmt oder geklebt. Die Prüfmaschinen müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen.

Der Anpressdruck ist so festzulegen, dass ein Rutschen aus der Lasteinleitung vermieden wird. Darüber hinaus darf der Anpressdruck nicht so hoch gewählt werden, dass die Druckfestigkeit des Probekörpers überschritten und dieser beschädigt wird. Für eine Erhöhung der Reibung zwischen den Lasteinleitungsplatten und dem Probekörper können profilierte Lasteinleitungsplatten verwendet werden. Unebenheiten auf der Betonoberfläche können durch das Einlegen einer dünnen Zwischenschicht (z.B. druckbeständiges Elastomer oder Schichtholz) oder Abschleifen ausgeglichen werden.

Die oberen Lasteinleitungsplatten können fest oder gelenkig mit der Prüfmaschine verbunden sein. Am unteren Ende wird der Probekörper direkt in die Zugprüfmaschine eingespannt. Beim Anbringen der Lasteinleitungsplatten sowie während des Einbaus des Probekörpers in die Prüfmaschine ist dieser durch geeignete Maßnahmen zu stabilisieren, um eine Vorschädigung am Probekörper zu verhindern. Die Stabilisierungsmaßnahmen sind unmittelbar vor Versuchsbeginn zu entfernen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 8 dargestellt.

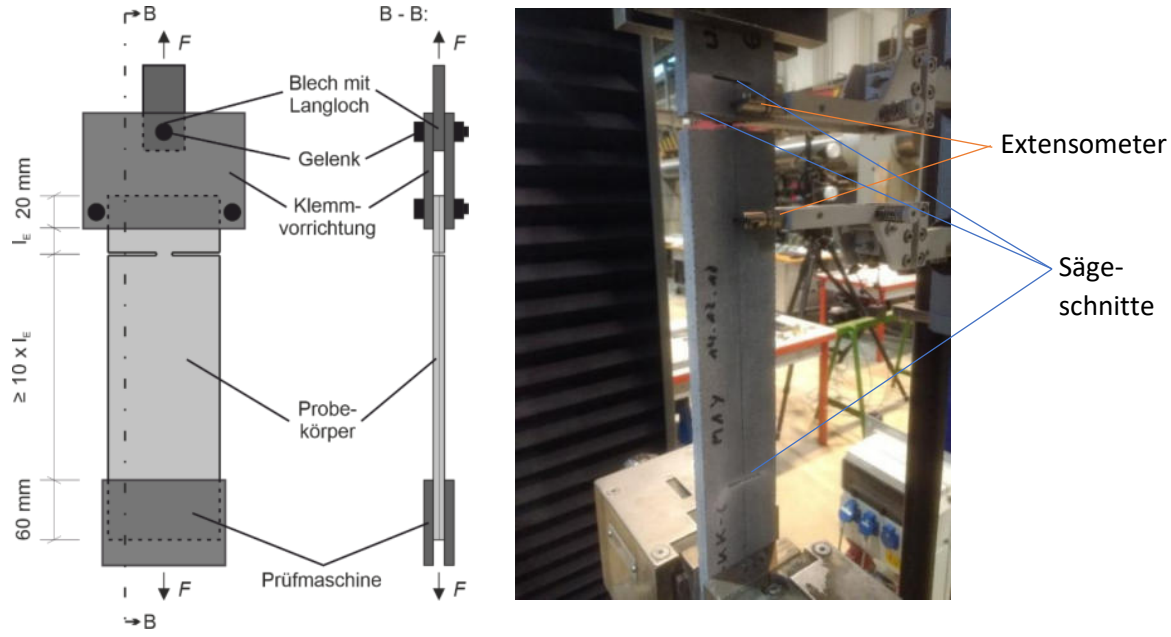


Abbildung 8: Darstellung des Versuchsaufbaus des SPO-Versuchs, entnommen aus [1]

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Belastung erfolgt **weggesteuert** mit einer **Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min** bis zu einer Rissöffnung von mindestens 5 mm.
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft *F*, Maschinenweg *s*, die Rissöffnung *w*
- Die Rissöffnung wird mit mittig auf beiden Seiten des Probekörpers über der Sollbruchstelle angebrachten Wegsensoren mit kurzem Messbereich. Die Messung ist demnach zu mitteln. Erfolgt die Messung über Photogrammmetrie, so ist eine einseitige Messung ausreichend.
- Nach der Versuchsdurchführung ist die Verankerungslänge l_E am Faserstrang zu messen.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 3.6 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.
- Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle umfasst eine Versuchsserie alle zu einer Produktionscharge durchgeführten Versuche[1]. Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss bei mindestens fünf Probekörpern dieser Versuchsserie ein **gültiges Versagen** eintreten.
- Bei den baubegleitenden Versuchen können alle in dem jeweiligen Projekt durchgeführten SPO-Versuche zu einer Versuchsserie zunächst zusammengefasst werden. Ausreißer sind jedoch gesondert auszuwerten und zu betrachten, um die Ergebnisse der Versuchsserie nicht zu verfälschen.
- Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss bei allen erforderlichen Versuchen ein **gültiges Versagen** eintreten.
- Mögliche Versagensarten sind:
  - Versagen I: Bruch der Bewehrung im Untersuchungsbereich → **ungültig**
  - Versagen II: Bruch der Bewehrung innerhalb des Klemmbereichs → **ungültig**
  - Versagen III: Faserstrangauszug → **gültig**

3.4 Auswertung und Materialkennwerte

Aus den während der Versuchsdurchführung aufgezeichneten Daten wird die Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung für jeden Probekörper einzeln abgeleitet. Der hierfür benötigte Verbundfluss errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$T(w) = F_G(w) / l_E$$

Mit $F_G(w)$ Tatsächliche Auszugkraft

Hinweis: wurden bedingt durch den Versuchsaufbau zusätzliche Kräfte z.B. durch Eigenlast der Klemmung gemessen, sind diese bei der Auswertung von der gemessenen Kraft zu subtrahieren

$= F(w) - F_{korr}$

l_E Verankerungslänge

[1] Nach Absatz 3 dieses Merkblattes handelt es sich dabei um 10 Versuche.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Der in Abbildung 9 dargestellte Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung ist charakteristisch für die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter. Aus diesem Grund kann der Verbund über die Verbundflusswerte T_1 bis T_3 charakterisiert werden.

Die Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung für die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter kann in drei Bereiche (in Abbildung 8 a, b und c) eingeteilt werden. Diese werden durch die Werte des Verbundflusses T_1 bis T_3 sowie die dazugehörigen Rissöffnungsweiten w_1 bis w_3 begrenzt.

Der Punkt T_1 beschreibt in der Regel den Größtwert des Verbundflusses in der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung. Der Wert T_2 stellt den Verbundfluss beim Übergang des abfallenden Astes (Bereich b) zu dem Bereich c dar. T_3 stellt den Verbundfluss im Bereich c bei einer festgelegten Rissöffnungsweite von 1,50 mm dar.

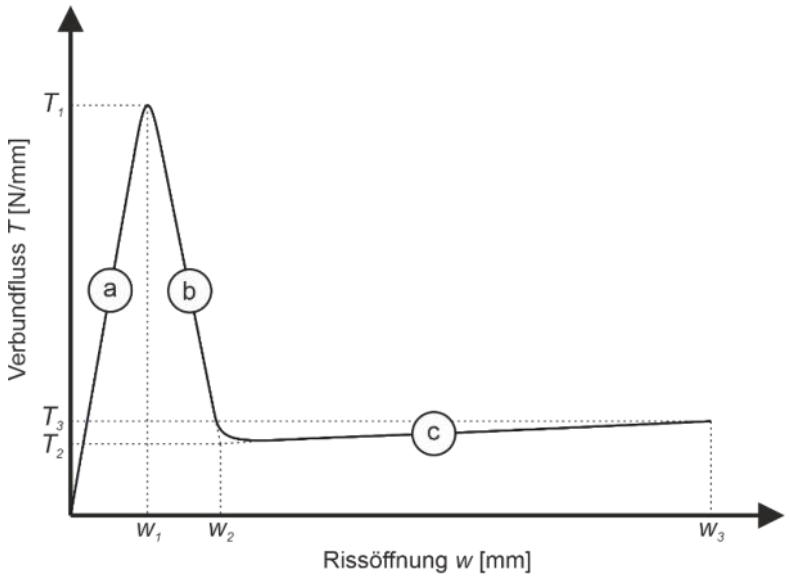


Abbildung 9: Charakteristische Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung für CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter, entnommen aus [1]

Die Mittelwerte der Ausziehprüfungen müssen innerhalb der charakteristischen Punkte T_1 (Obergrenze) sowie T_2 bzw. T_3 (Untergrenze) der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung nach abZ/aBG [1] liegen. Die Grenzwerte sind Tabelle 4 dargestellt. Die Einzelwerte sind als zusätzliche Kontrollempfehlung angegeben.

Tabelle 4: Anforderungen an die Kennwerte der Ausziehprüfung

Eigenschaft	Obergrenze	Untergrenze
Mittelwert aus den letzten 10 Proben einer Versuchsserie	$\boldsymbol{T_{1,m} \leq 30{,}2}$ **N/mm**	$\boldsymbol{T_{2,m};T_{3,m} \geq 4{,}72}$ **N/mm**
Einzelwerte (zusätzliche Empfehlung)	$T_{1,i} \leq 33{,}7$ N/mm	$T_{2,i};T_{3,i} \geq 3{,}96$ N/mm

Entspricht der aus den Versuchsdaten ermittelte Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung dem in Abbildung 8 dargestellten Verlauf und sind die obigen Grenzwerte für $T_{1,m}$, $T_{2,m}$ und $T_{3,m}$ eingehalten, so gilt der nach abZ/aBG [1] geforderte **Mindestwert des charakteristischen Verbundflusses** von **4 N/mm** als erfüllt.

Hinweis: Ein frühzeitiges Maximum bei nahezu keiner Rissöffnung im Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung stellt das Betonversagen an der Sollbruchstelle dar und ist bei der Auswertung nicht zu berücksichtigen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

4 Durchführung von Übergreifungsversuchen

Anhand von Übergreifungsversuchen wird das Verbundverhalten der CARBOrefit®-Carbongitter im CARBOrefit®-Feinbeton unter einaxialer Zugbeanspruchung untersucht. Bei diesem Versuch wird der Probekörper bis zum Versagen bzw. einer definierten Rissöffnungsweite von 10 mm gezogen. Über die gemessene Bruchkraft (maximale Kraft) sowie die vorhandene Übergreifungslänge wird der Verbundfluss T_{nm} bestimmt.

Der Übergreifungsversuch wird für die Untersuchung des Verbundverhaltens der der CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter in Regel- und Sonderausführung empfohlen.

Die Anzahl der durchzuführenden Versuche richtet sich nach dem Rahmen, in welchem der Versuch durchgeführt werden soll. Das Verbundverhalten der Gitter wird im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle untersucht.

Im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 1 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m² oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: bei Spulenwechsel 1x Prüfung für den folgenden Produktionsabschnitt (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

Im Zuge der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):

- Mind. 3 Platten für zu verstärkende Flächen bis 750 m²
- Flächen > 750 m²: eine Platte je angefangen 250 m²
- Aus **jeder Platte** sind **mindestens drei Probekörper** zu entnehmen. Dies bedeutet, dass bei einer zu verstärkenden Fläche von beispielsweise 700 m² drei großformatige Prüfplatten hergestellt werden müssen, aus denen jeweils drei Probekörper entnommen werden. Dementsprechend müssen insgesamt neun Übergreifungsversuche durchgeführt werden.

4.1 Herstellung der Probekörper

Die einzelnen Probekörper für die Durchführung von Übergreifungsversuchen werden aus großformatigen Platten herausgeschnitten, deren Herstellung nach dem *Merkblatt 05 - „Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten“,* Abschnitt 2 zu erfolgen hat.

Der Zuschnitt der Probekörper aus den Platten erfolgt frühestens nach der Feuchtebehandlung, also ab dem achten Tag nach der Herstellung der Platten und spätestens drei Tage vor der Prüfung [1]. Beim Zuschnitt ist mittig zwischen den Fasersträngen zu sägen. Die Prüfung ist nach frühestens 28 Tagen durchzuführen.

Für die aus den Platten herauszuschneidenden Probekörper werden die folgenden Maße empfohlen bzw. durch die abZ/aBG [1] vorgeschrieben:

- Länge der Probekörper: **mindestens 850 mm** (Empfehlung)
- Breite der Probekörper: **mindestens 60 mm** und **mindestens drei Faserstränge** im Probekörper enthalten (Anzahl der im Probekörper liegenden Faserstränge abhängig vom Kettfadenabstand der Gitter) [1]
- Verhältnis von Länge zu Breite des Untersuchungsbereichs (bestehend aus Übergreifungs- und Übergangsbereichen) **mindestens 3:1** (ab einem Achsmaß von $a_{Kf} > 30$ mm ist der Übergangsbereich entsprechend dem vorgeschriebenen Verhältnis in der Länge anzupassen)

Die Abbildung 10 zeigt die empfohlenen **Mindestmaße** der Probekörpergeometrie für CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

In Abhängigkeit der in Abbildung 10 geforderten Übergreifungslänge von 250 mm ist eine ausreichend große Verankerungslänge (bestehend aus Klemmbereich und freier Probenlänge) von mindestens 250 mm sicherzustellen, um ein Versagen infolge Garnauszug zu verhindern.

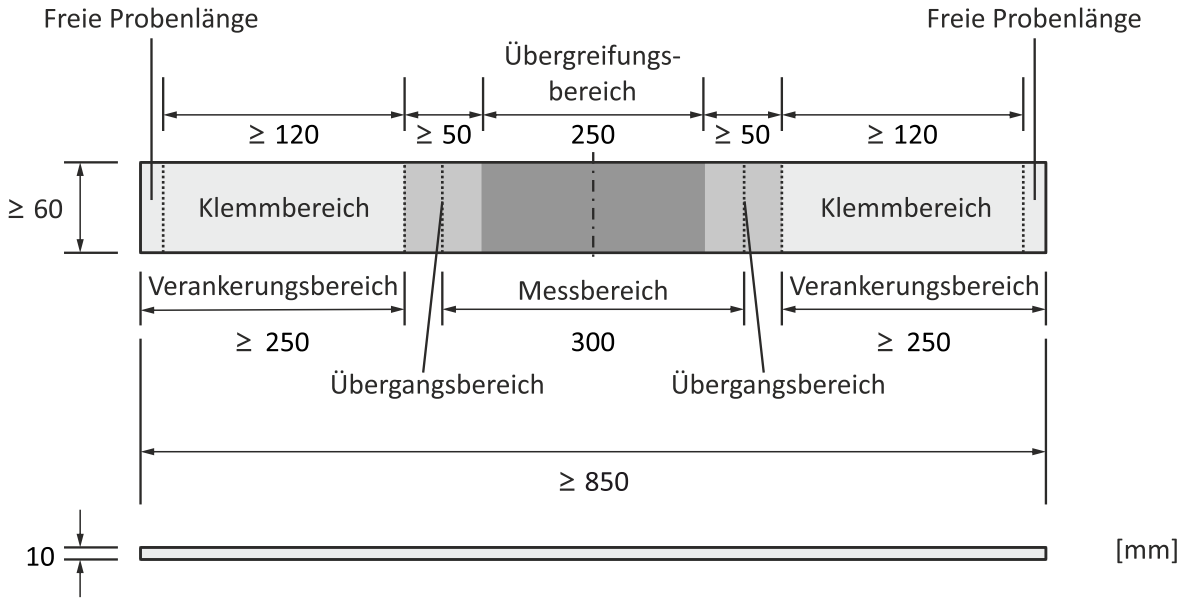


Abbildung 10: Empfohlene Probekörpergeometrie für den Übergreifungsversuch in Abhängigkeit des CARBOrefit®-Gittertyps, nach [1]

4.2 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Klemmbereichen gleichmäßig zwischen den Lasteinleitungsplatten geklemmt. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Last zentrisch eingeleitet wird. Der Schwerpunkt der Bewehrung muss zentrisch zum Schwerpunkt der Lasteinleitung ausgerichtet werden. Die Lasteinleitungsplatten können fest oder lösbar mit der Prüfmaschine verbunden sein. Die Verbindung zwischen den Lasteinleitungsplatten und der Prüfmaschine kann hinsichtlich der Art und Anzahl an Rotationsfreiheitsgraden unterschiedlich ausgeführt werden. Die Prüfmaschinen müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen. Der Versuchsaufbau ist exemplarisch in Abbildung 11 dargestellt.

Der Anpressdruck ist so festzulegen, dass ein Rutschen aus der Lasteinleitung vermieden wird. Darüber hinaus darf der Anpressdruck nicht so hoch gewählt werden, dass die Druckfestigkeit des Probekörpers überschritten und dieser beschädigt wird. Für eine Erhöhung der Reibung zwischen den Lasteileitungsplatten und dem Probekörper können profilierte Lasteinleitungsplatten verwendet werden. Damit eine gleichmäßige bzw. flächige Lastübertragung zwischen Klemmung und Probekörper sichergestellt werden kann, sollten Unebenheiten auf der Betonoberfläche ausgeglichen werden. Dies kann beispielsweise durch das Einlegen einer dünnen Zwischenschicht (z.B. druckbeständiges Elastomer oder Schichtholz), Abschleifen oder das symmetrische Aufbringen einer Ausgleichsschicht (Aufspachteln) erfolgen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

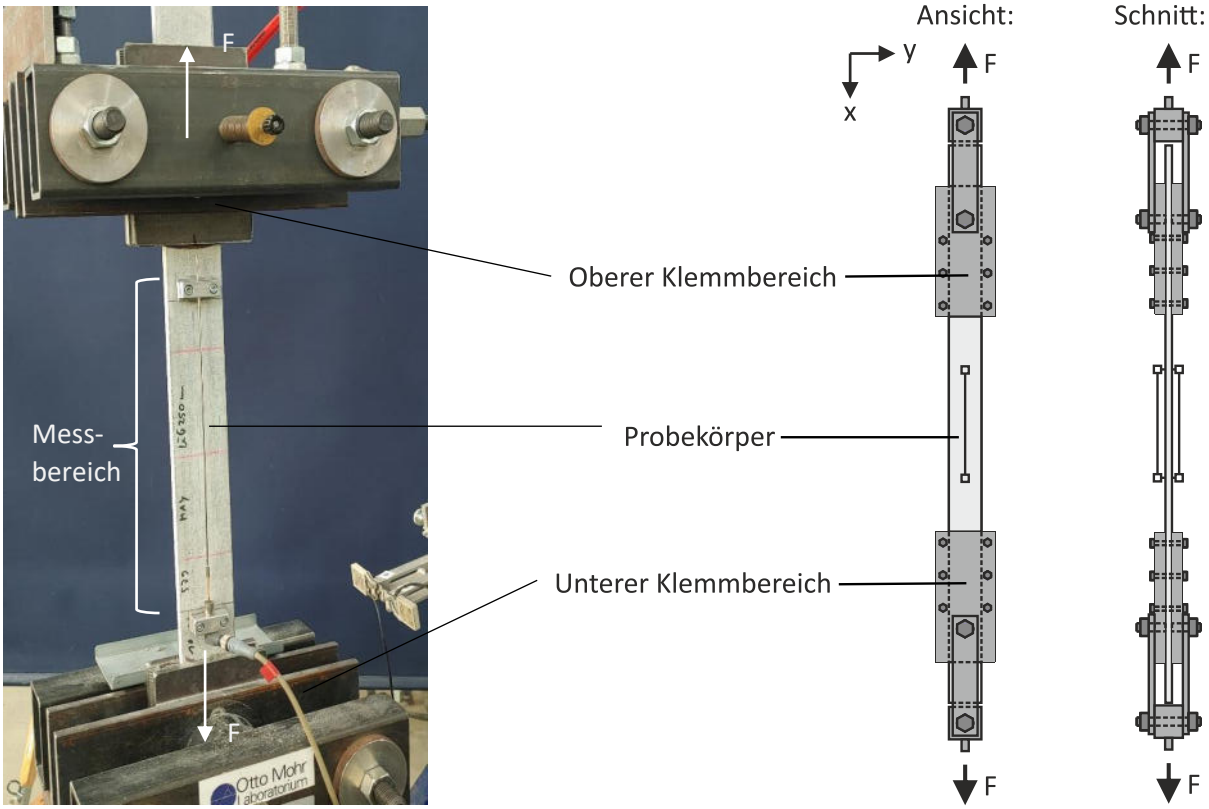


Abbildung 11: Exemplarische Versuchsaufbauten für die Durchführung von Übergreifungsversuchen, nach [1]

4.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Probekörper werden zentrisch im Schwerpunkt der Bewehrung gezogen. Zur Überprüfung der zentrischen Ausrichtung wird das Aufbringen einer Vorlast von bis zu 0,5 kN empfohlen.
- Die Belastung erfolgt **weggesteuert** mit einer **Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min** bis zum Versagen des Probekörpers oder bis zu einer Rissöffnung von mindestens 10 mm.
- Der Versuch kann ebenfalls beendet werden, wenn ein Lastabfall von 50 % bezogen auf die maximale Prüfkraft gemessen wurde.
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft *F*, Maschinenweg *s*, die Verformung bzw. die Längenänderung Δl (siehe auch Abbildung 10)
- Die Verformungsmessung erfolgt beidseitig mit jeweils in Probenmitte über dem Messbereich angebrachten Messsensoren. Die Verformungsmessung ist demnach zu mitteln. Erfolgt die Messung über Photogrammmetrie, so ist eine einseitige Messung ausreichend.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 2.6 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.
- Bei den baubegleitenden Versuchen können alle in dem jeweiligen Projekt durchgeführten Übergreifungsversuche zu einer Versuchsserie zunächst zusammengefasst werden. Ausreißer sind jedoch gesondert auszuwerten und zu betrachten, um die Ergebnisse der Versuchsserie nicht zu verfälschen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss allen in dem Projekt geforderten Versuchen ein **gültiges Versagen** eintreten.
- Ein Versagen im Klemmbereich ist ein ungültiges Versagen. Alle anderen Versagensarten (Bruch, Faserstrangauszug, lokales Betonversagen, Spalten) sind zulässig.

4.4 Auswertung und Materialkennwerte

Aus den gemessenen Größen kann direkt für jeden einzelnen Probekörper der mittlere Verbundfluss T_{nm} wie folgt bestimmt werden.

$$T_{nm} = \frac{F_{u,red}/n}{l_{ver}}$$

Mit $F_{u,red}$ Bruchkraft (Maximalkraft), ggf. korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung

n Anzahl der im Probekörper liegenden Faserstränge

l_{ver} Vorhandene Verankerungslänge, für Typ 3: 250 mm

Aus den Einzelwerten kann der Mittelwert des Verbundflusses $T_{nm,m}$ bestimmt werden. Mit diesem Wert wird nach Abschnitt 5 der Anlage 1 der abZ/aBG [1] der charakteristische Wert des Verbundflusses $T_{nm,k}$ wie folgt berechnet.

$$T_{nm,k} = T_{nm,m} \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$$

Mit k_n Fraktilenfaktor für charakteristische Werte

V_x Variationskoeffizient

Der Fraktilenfaktor k_n kann der Tabelle D.1 der DIN EN 1990 [4] für „V_x bekannt“ entnommen werden, insofern der berechnete Variationskoeffizient V_x kleiner als 0,1 ist. Für die Berechnung des Verbundflusses $T_{nm,k}$ wird in diesem Fall V_x = 0,1 angesetzt. Ist V_x größer als 0,1, so wird dieser berechnete Wert für die Bestimmung des Fraktilenfaktors verwendet (ebenfalls für V_x bekannt).

Der in den Übergreifungsversuchen bestimmte charakteristische Wert des Verbundflusses $T_{nm,k}$ darf für die CARBOrefit®-Carbongitter die folgenden Werte bei einer Temperatur von 20 °C nicht unterschreiten:

Tabelle 5: Anforderungen an die Kennwerte der Übergreifungsprüfung

Eigenschaft	CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
Charakteristischer Verbundfluss $T_{nm,k}$	≥ 4 N/mm	≥ 10 N/mm

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

[2] ISO 3341 (2000-05): Textilglas – Garne – Bestimmung der Reißkraft und Bruchdehnung.

[3] Pusch, T.: Textilphysikalische Prüfungen. In: Cherif, C. (Hrsg.): Textile Werkstoffe für den Leichtbau. Techniken – Verfahren – Materialien – Eigenschaften. Heidelberg: Springer Verlag, 2011, S. 509 - 572

[4] DIN EN 1990 (2021-10): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Merkblatt 2.04	**Kontaktdaten der Hersteller der CARBOrefit®-Materialien**

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521 Stand: 16.04.2024

In diesem Dokument werden die Hersteller der in der abZ/aBG geregelten CARBOrefit®-Materialien gelistet.

1 Betonhersteller

Herstellerkontaktdaten	**Kontaktdaten Vertrieb**
PAGEL® Spezial-Beton GmbH & Co. KG Wolfsbankring 9, 45355 Essen www.pagel.com/de	Jens Wortberg Tel: +49 171 271 16 08 Mail: wortberg@pagel.de

2 Bewehrungshersteller

Herstellerkontaktdaten	**Kontaktdaten Vertrieb**
Hitexbau GmbH Steinerne Furt 44, 86167 Augsburg www.hitexbau.com	Werner A. Sinz Tel.: +49 821 700 172 0 Mail: werner.sinz@hitexbau.com
Solidian GmbH Sigmaringer Str. 150, 72458 Albstadt www.solidian.com/de	Ole Wolfframm Tel.: +49 151 44681013 Mail: ole.wolfframm@solidian.com
TUDATEX GmbH Freiberger Str. 37, 01067 Dresden www.tudatex.de	Prof. Chokri Cherif Tel.: +49 351 404 703 00 Mail: info@tudatex.de

3 Bewehrungsfertiger

Herstellerkontaktdaten	**Kontaktdaten Vertrieb**
Johne & Groß GmbH Kamenzer Str.18, 01936 Schwepnitz www.jgg-stahl.de	Dr. Tilo Senckpiel-Peters Tel.: +49 151 16159851 Mail: t.senckpiel-peters@johne-gross-gmbh.de

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3 Planung & Bemessung von CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkungen

3 Planung und Bemessung von CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkungen

3.1 Allgemeines

Die Planung und Bemessung von Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahmen legen einen entscheidenden Grundstein für eine erfolgreiche Umsetzung des Projektes. Unter Zuhilfenahme des CARBOrefit®-Verfahrens haben Planer:innen und Ingenieur:innen die Möglichkeit eine innovative und ressourceneffiziente Lösung zur Bauwerkserhaltung zu erarbeiten, die sowohl die Anforderungen an Qualität und Sicherheit als auch an eine wirtschaftliche Umsetzung erfüllt.

Die Dokumente der abZ/aBG und der Planungsmappe für das CARBOrefit®-Verfahren sind frei verfügbar und können durch Planer:innen unbegrenzt angewendet werden. Mit den Grundkenntnissen der Tragwerksplanung können nachhaltige Verstärkungslösungen geplant und umgesetzt werden.

Während in der heranzuziehenden abZ/aBG [1] bereits alle baurechtlich und verfahrenstechnisch relevanten Informationen enthalten sind, erhalten Sie in diesem Kapitel der CARBOrefit®-Planungsmappe eine umfassende Merkblattsammlung zur Unterstützung der Planung und Bemessung Ihrer Lösung für den Bauwerkserhalt mit Carbonbeton. Die Merkblätter beinhalten relevante Informationen, Bemessungstafeln und Hinweise für die Planung und Bemessung von Verstärkungen mit Carbonbeton. Dabei werden detaillierte Einblicke in die Nachweisführung der Bemessung von Verstärkungsschichten mit CARBOrefit® gegeben. Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen und weiterführenden Informationen zeigen zwei konkrete Anwendungsbeispiele den praktischen Ablauf der Bemessung unter Einsatz von Carbonbewehrungen des Gittertyp 1 bzw. 3.

Abschließend erfolgt die Bereitstellung umfangreicher Ausschreibungstexte, welche als Mustervorlage individuell auf das jeweilige Projekt angepasst werden können und die Basis für die erfolgreiche Umsetzung Ihrer Verstärkungslösung bilden.

Basierend auf der Zulassung [1] und der Planungsmappe können Planer:innen und Ingenieur:innen die Planung und Bemessung eigenständig durchführen. Dennoch stehen wir Ihnen gerne bei Fragen und Herausforderungen als Ansprechpartner zur Verfügung. Für ein tiefergehendes Verständnis des CARBOrefit®-Verfahrens sowie dessen Bemessung empfehlen wir zudem unsere Schulung, die für Planer:innen relevante Informationen kompakt und übersichtlich zusammenfasst. Kontaktieren Sie uns gerne bei Interesse; wir geben Ihnen aktuelle Informationen zum Schulungsablauf sowie zur Anerkennung der Schulung als Fortbildungsmaßnahme bei den Ingenieurkammern.

Kontakt:

Frau Miriam Melzer

+49 351 48205 521

info@carborefit.de

3.2 Planung

Aufgrund der abZ/aBG lohnt es sich das CARBOrefit®-Verfahren bereits in der Konzipierung von bauwerkserhaltenden Maßnahmen mit in Betracht zu ziehen. Dies gewährleistet eine wirtschaftliche, schnelle und nachhaltige Umsetzung der Verstärkung. Mit der Planungsmappe steht den Planer:innen eine Arbeitshilfe zur Verfügung, die bereits in den ersten Leistungsphasen der Projektplanung zur

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Anwendung kommen kann. Begleitend zu der projektbezogenen Grundlagenermittlung können erste Randbedingungen abgesteckt und Lösungsvarianten in der Entwurfsplanung ausgearbeitet werden. Das CARBOrefit®-Verfahren wird zum einen durch die abZ/aBG reguliert, zum anderen sind die baubehördlichen Vorgaben durch die Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauwerken“ [2] des DIBt und flankierenden Nomen zu berücksichtigen. Das CARBOrefit®-Verfahren, welches für die statische Ertüchtigung von Stahlbetonbauteilen bzw. für die Substitution der Betonstahlbewehrung herangezogen werden kann, gliedert sich in keines der geregelten Instandsetzungsverfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton ein. Die Technische Regel definiert beispielsweise die Grundanforderungen an die zu verstärkende Betonkonstruktion und wie der Betonuntergrund vorzubereiten ist, damit das CARBOrefit®-Verfahren angewendet werden darf. Ebenfalls werden Voraussetzungen an die Bauprodukte sowie die ausführenden Firmen und deren Personal beschrieben, damit die Instandsetzung den technischen und sicherheitsrelevanten Bestimmungen entspricht.

Durch die abZ/aBG werden anwendungsspezifische Randbedingungen, wie beispielsweise für den Altbeton, welcher einem Normalbeton bis zur Festigkeitsklasse bis C50/60 zuzuordnen ist, und der erforderliche Mindestwert des Erwartungswertes der Oberflächenzugfestigkeit von 1,0 N/mm² definiert. Die Berechnungsformel für die untere Konfidenzschranke (95 % Zuverlässigkeit) ist in Anlage 6 der abZ/aBG [1] dargestellt. Die Grundlagen für die Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens decken sich mit den konventionellen Sanierungslösungen und eine Fachkenntnis der Planner:innen sowie ausführenden Firmen in den anerkannten Regeln der Technik im Bereich der Bauwerkserhaltung bilden die Basis für die Verstärkungsplanung.

3.3 Bemessung

3.3.1 Grundlagen der Berechnung

Die Berechnung und Bemessung von Carbonbetonverstärkungen für Stahlbetonbauteile basiert auf den bekannten Regelwerken der Tragwerksplanung. Die Normen des Eurocodes bilden die Basis für die Bemessung der Verstärkung und die abZ/aBG verweist auf diese. Verfahrensspezifische Nachweise werden in der abZ/aBG dargestellt und entsprechende Berechnungsmodelle aufgezeigt. Das Fachwissen, welches die Planner:innen für die Auslegung der Carbonbetonverstärkung benötigen, basiert auf den Kenntnissen der Tragwerksplanung. In Anlehnung an die Nachweisführung von Spritzbetonverstärkungen, sind für die Carbonbetonverstärkung unter anderem folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis der Biegetragfähigkeit,
- Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (ohne Ansatz der Carbonbetonschicht),
- Nachweis der Verbundfuge,
- Nachweis des Versatzbruches und der Endverankerung am Ende der Verstärkungsschicht,
- Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit,
- Konstruktive Nachweise,
- Nachweis der Feuerwiderstandsdauer (ohne Ansatz der Carbonfaser, aber ggfs. mit zusätzlicher Betondeckung durch den nachträglich aufgebrachten Feinkornbeton).

Im Merkblatt 3.01 „*Bemessung und Konstruktion von carbonbetonverstärkten Bauteilen*“ werden die einzelnen Nachweise dargestellt und die relevanten Bemessungsschritte in der Nachweisführung aufgezeigt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Für die Bestimmung der Gesamtverstärkungsschicht und der erforderlichen Lagenzahl der Carbonbetonverstärkung stellt der Biegenachweis i. d. R. den maßgebenden Nachweis dar. Hierbei beruht das Ingenieurmodell und die Nachweisführung bei Biegung auf den bekannten und etablierten Verfahren aus dem Stahlbetonbau. Die Bemessung erfolgt analog zum Stahlbeton unter folgenden Annahmen:

- Der Querschnitt bleibt eben bzw. besitzt eine lineare Dehnungsverteilung (Hypothese von Bernoulli).
- Vollständiger Verbund zwischen den Materialien; die jeweiligen Bewehrungsdehnungen folgen der Bernoulli-Hypothese.
- Die Betonzugfestigkeit wird nicht berücksichtigt, sodass nur die Bewehrungskomponenten Zugkräfte aufnehmen.
- Die normativ festgelegten Spannungs-Dehnungs-Linien (Beton und Stahl) und die Spannungs-Dehnungs-Linie für die Carbongitter nach abZ/aBG [1] (siehe Abbildung 5) sind anzuwenden

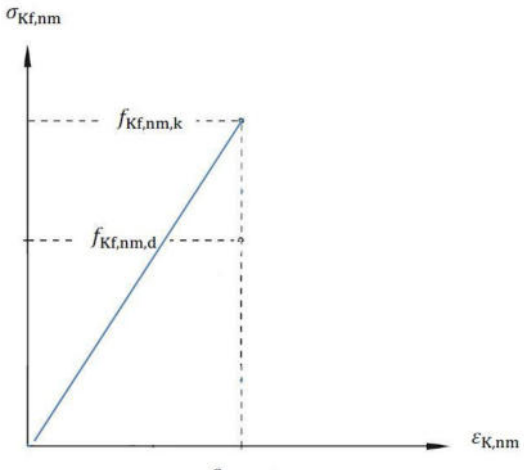


Abbildung 5: Idealisierte Spannungs-Dehnungs-Linie für die Bemessung mit Carbonbeton

Der Bauteilwiderstand wird für biegebeanspruchte Stahlbetonquerschnitte mit einer Carbonbetonverstärkung analog zum Stahlbeton ermittelt. Mittels des iterativen Berechnungsverfahrens der Dehnungsebene wird ein Gleichgewicht zwischen den inneren Schnittgrößen (Widerständen) mit den äußeren Größen (Beanspruchungen) hergestellt. Dabei werden die Dehnungen des Betons, der Stahlbewehrung sowie der Carbongitter variiert. Mit den Kennlinien und den Stoffgesetzen der verschiedenen Materialien kann folglich der Widerstand ermittelt werden. Das Vorgehen ist im Merkblatt 3.01 ausführlich beschrieben, weitere Informationen sind u. a. in [3-6] dargestellt. Als weitere Variante zur Vereinfachung der Biegebemessung ohne Iteration gibt es, analog zum Stahlbeton, die Möglichkeit, die Bewehrungsmenge mithilfe von Bemessungstafeln, welche im Merkblatt 3.01 enthalten sind, zu ermitteln.

Der Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge zwischen Verstärkungsschicht und dem Altbeton erfolgt nach EC2. Planerisch erfolgt dieser Nachweis unter dem Ansatz einer rauen Fuge und kann ohne zusätzliche Verdübelung geführt werden. Im Zuge der Ausführung muss die raue Fuge sichergestellt und kontrolliert werden. Die weiteren Nachweise u. a. der Verankerungsnachweis der Carbongitter oder der Versatzbruchnachweis sind in der abZ/aBG [1] aufgeführt. Auf Grundlage bestehender Erkenntnisse aus dem Stahlbetonbau bzw. aus dem Bereich der aufgeklebten Lamellen (u. a. Versatzbruchnachweis) können mit leichten Modifikationen und den entsprechenden Materialkennwerten der Carbongitter die rechnerischen Nachweise geführt und somit die Tragfähigkeit bestehender Bauteile erhöht bzw. wiederhergestellt werden.

3.3.2 Softwaregestützte Bemessung mit FRILO

Das Programm „Stahlbetonbemessung B2" von FRILO ermöglicht nun auch die Berechnung von carbonbetonverstärkten Stahlbetonquerschnitten, die Grundlage bildet die aktuelle abZ/aBG für das CARBOrefit®-Verfahren. Dieses Modul bestimmt aus den Biege- und Normalkräften eines definierten Querschnitts die notwendige Anzahl an Carbongitterlagen. Bei einer Querkraftbeanspruchung führt es zudem einen Schubnachweis sowohl für den bestehenden Querschnitt als auch für die Fuge zwischen Alt- und Carbonbeton. Das Tool ermöglicht die Bemessung einachsig belasteter Rechteckquerschnitte, mit oder ohne zusätzlichen Ortbetonergänzung auf der Oberseite. Ein weiteres nützliches Feature des B2-

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Moduls ist die integrierte Datenbank für historische Baumaterialien, die es ermöglicht, EC-basierte Parameter für Betone und Stähle ab dem Jahr 1916 zu ermitteln. Eine eigenständige Definition der Beton- und Stahleigenschaften für den Bestandsquerschnitt ist durch den Nutzer ebenfalls möglich. Das Modul überprüft zudem, ob die Bedingungen der abZ/aBG erfüllt sind. Falls diese nicht zutreffen, lässt sich das Tool dennoch einsetzen: Es bietet die Möglichkeit zur Bemessung außerhalb der Rahmenbedingungen der Zulassung. Für solche Fälle ist allerdings eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) oder eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) nötig, die jedoch auf Grundlage der bestehenden Zulassung effizient und unkompliziert erteilt werden kann. Das Programm kennzeichnet Abweichungen von der Zulassung klar und bietet Hilfestellungen sowie Empfehlungen, beispielsweise zur Anpassung der Teilsicherheitsbeiwerte.

Im Modul „B2 – Stahlbetonbemessung“ in der FRILO-Software steht den Planer:innen und Ingenieur:innen eine Möglichkeit der softwaregestützten Bemessung von CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkungen zur Verfügung.

Bei der softwaregestützten Bemessung wird zunächst der vorhandene Querschnitt spezifiziert, wobei die Beton- und Stahlgüte, die Bewehrungsart sowie die Geometrie festgelegt werden. Danach werden durch den Nutzer die Belastungen eingegeben, die nach der Verstärkung auf das Bauelement einwirken werden. Im Dialogfenster zur Dauerhaftigkeit lassen sich der Durchmesser der existierenden Stahlbewehrung und Umgebungsbedingungen wie Expositionsklassen oder Luftfeuchtigkeit anpassen. Anschließend wird die Verstärkung mittels CARBOrefit® bestimmt. Dabei werden zunächst die relevanten Eigenschaften des vorhandenen Bauteils abgefragt. Anschließend wird überprüft, ob bestimmte Kriterien für die Verstärkung mit CARBOrefit® gemäß der abZ/aBG erfüllt sind. Es besteht die Möglichkeit, aus den zugelassenen Gittertypen zu wählen und Sonderausführungen zu berücksichtigen. Basierend auf den hinterlegten Daten der CARBOrefit®-Verstärkung werden die zentralen Bemessungsergebnisse berechnet und angezeigt. Ausgegeben werden die Angaben zur benötigten Gesamtquerschnittsfläche der Carbonbewehrung,, sowie in Abhängigkeit der Wahl des Gittertyps und der Gitterausführung die resultierende Anzahl der Gitterlagen und der Ausnutzungsgrad. Bei einer Schubbeanspruchung wird zudem die Querkraftauslastung des Bestandsquerschnitts und der Fuge zwischen Alt- und Carbonbeton dargestellt. Die abschließende Ausgabe präsentiert die gesamte Bemessung, von der Dateneingabe bis zu den Ergebnissen und kann als Nachweisführung der Statik beigelegt werden. Weitere Informationen können Sie dem FRILO-Handbuch für die softwarebasierte CARBOrefit®-Bemessung in Kapitel 5 entnehmen.

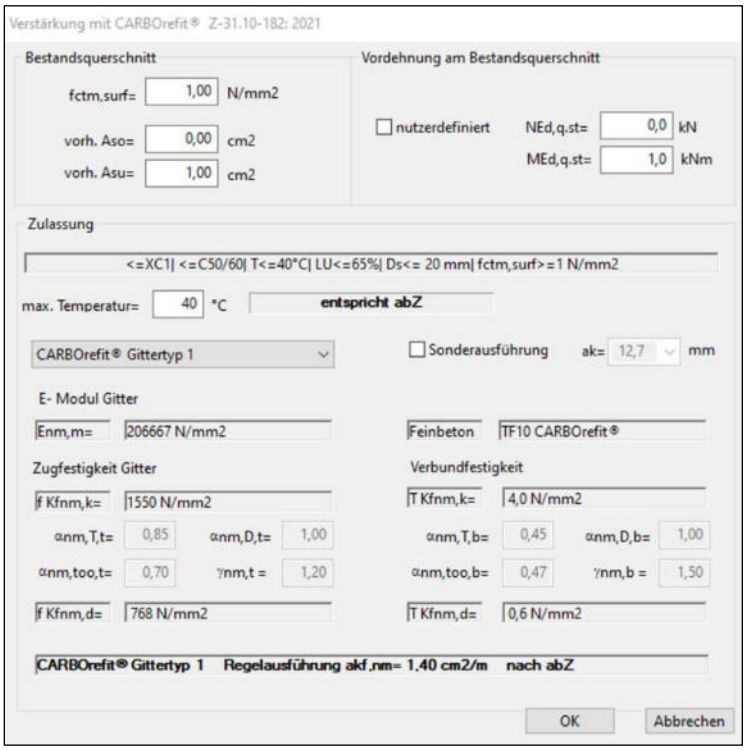


Abbildung 6: Dialogfenster im Modul-B2 (© FRILO)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3.4 Ausschreibung

Basierend auf den Vorgaben der abZ/aBG für das CARBOrefit®-Verfahren werden mit der Planungsmappe Mustertexte für die Ausschreibung veröffentlicht und bereitgestellt. Die Mustertexte umfassen die Leistungen, die für eine Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton unter Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens notwendig sind. Bei den Mustertexten handelt es sich um Vorlagen, diese sind durch die Planenden projektspezifisch für das jeweilige Bauvorhaben anzupassen. Die Textbausteine können dem Merkblatt 3.03 „Mustertexte für die Ausschreibung der CARBOrefit®-Anwendung“ entnommen werden. Auf Nachfrage können die Mustertexte für die Ausschreibung auch als GAEB-Datei bereitgestellt werden. Bitte wenden Sie sich hierfür an die Kontaktdaten.

Hinweis: Bei den zur Verfügung gestellten Unterlagen und Textbausteinen für die Ausschreibung handelt es sich um Mustertexte, diese dienen ausschließlich als Hilfestellung für die Planenden. Die Mustertexte können als Vorlage für die Erstellung der Ausschreibung des Verstärkungsvorhaben genutzt werden. Es wird keine Gewährleistung für eine Vollständigkeit der Mustertexte übernommen. Die Verantwortung der projektspezifischen Leistungsbeschreibung der Ausschreibung liegt bei den Planenden bzw. der Bauherrenvertretung.

Quellen:

[1] DIBt (2023) Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182 „CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin. 2023

[2] Technische Regel – Instandhaltung von Bauwerken, Teil 1 und Teil 2, Mai 2020, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.

[3] Beckmann, B.; Frenzel, M.; Lorenz, E.; Schladitz, F.; Rempel, S.: Biegetragverhalten von textilbetonverstärkten Platten. Beton- und Stahlbetonbau 110 S1 – Verstärken mit Textilbeton (2015), Januar, S. 47–53, https://doi.org/10.1002/best.201400117.

[4] Frenzel, M.; Curbach, M.: Bemessungsmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit von biegeverstärkten Stahlbetonplatten. In: Curbach, M.; Ortlepp, R. (Hrsg.): Textilbeton in Theorie und Praxis – Tagungsband zum 6. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken. Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen) am 19./20.9.2011 in Berlin, 2011, S. 381–399.

[5] Frenzel, M.: Bemessung textilbetonverstärkter Stahlbetonbauteile unter Biegebeanspruchung. Beton- und Stahlbetonbau 110 S1 – Verstärken mit Textilbeton (2015), Januar, S. 54–68, https://doi.org/10.1002/best.201400115.

[6] Curbach, M.; Schladitz, F.; Zobel, R.; Weselek, J.: Eine Vision wird Realität: Der Betonbau der Zukunft ist nachhaltig, leicht, flexibel und formbar – dank Carbon. Der Prüfingenieur 51 (2017), S. 20–35.

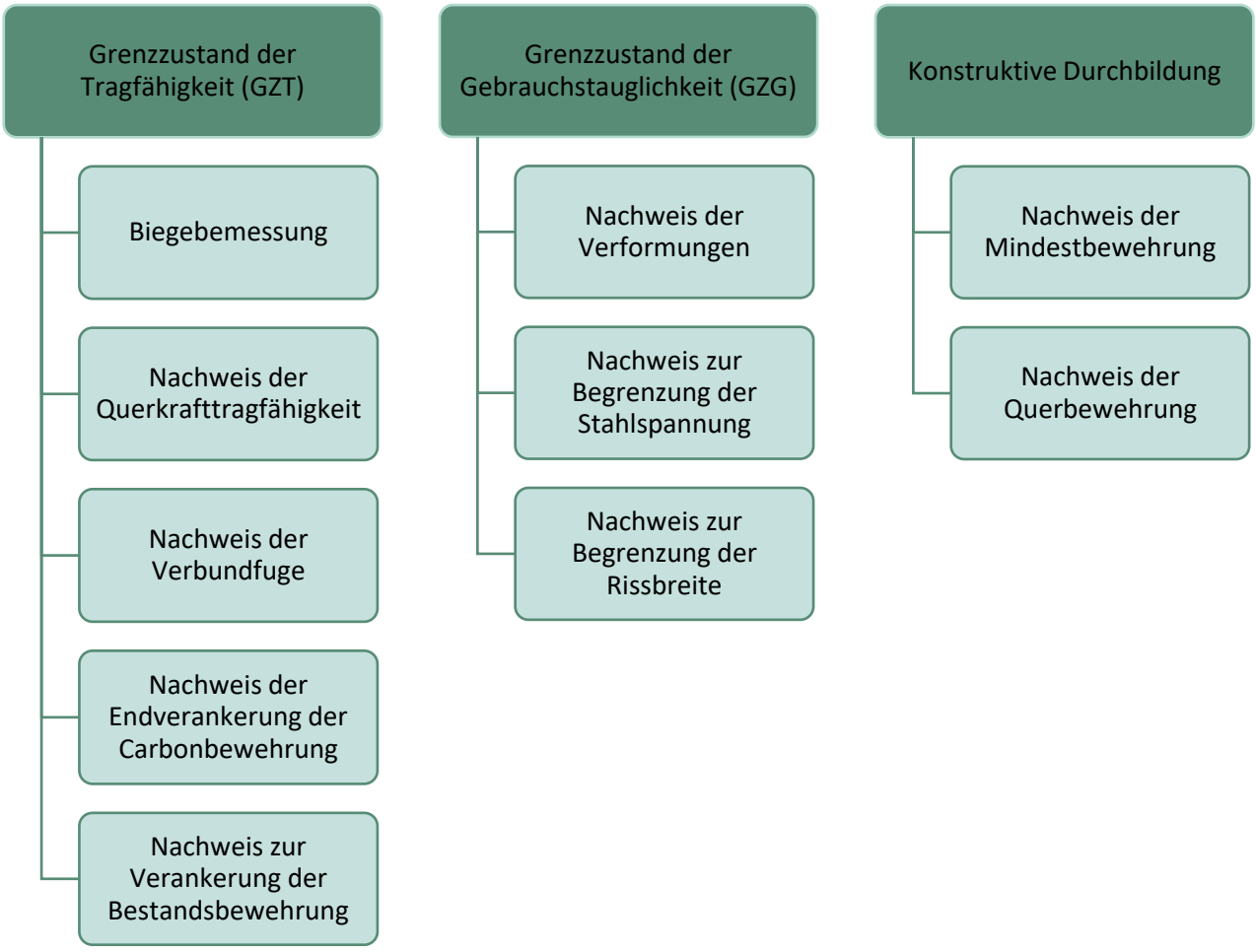
Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 3.01	Bemessung und Konstruktion von mit Carbonbeton verstärkten Bauteilen

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205521 Stand: 07.01.2025

1 Allgemeines

In diesem Merkblatt werden die in Anlage 5 der abZ/aBG Z-31.10-182 [1] geregelte Bemessung und Konstruktion von auf Biegung beanspruchten Bauteilen mit Carbonbetonverstärkung vorgestellt. Es werden die folgenden Nachweise betrachtet:



Die für die Nachweisführung anzusetzenden Bemessungskennwerte der CARBOrefit®-Carbongitter können dem *„Merkblatt 01 - Eigenschaften der CARBOrefit®-Typ 1 und -Typ 3 Carbongitter in Regel- und Sonderausführung“* entnommen werden.

2 Ermittlung des Vordehnungszustandes

Die zu verstärkenden Stahlbetonbauteile haben in der Regel meist eine Vorbelastung erfahren. Aus diesem Grund sollte vor der Bemessung der Carbonbetonverstärkung der fiktive Vordehnungszustand der Carbonbewehrung $\varepsilon_{nm,0}$ bestimmt und in der Biegebemessung berücksichtigt werden. Die vorhandenen Dehnungen sind dabei entweder wirklichkeitsnah mit den vorhandenen Einwirkungen oder vereinfachend auf Gebrauchstauglichkeitsniveau mit der quasi-ständigen Belastungskombination zu ermitteln. Die Berücksichtigung der Vordehnung ist vor allem bei stark ausgelasteten Querschnitten erforderlich, da diese sich auf die

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

zu erwartende Versagensart (Zug- oder Druckversagen), die Dehnungsverteilung im Querschnitt sowie die erforderliche Carbonbewehrungsfläche auswirkt [2]. Um eine wirtschaftliche Bemessung der Carbongitter zu erzielen, ist das Versagen der Carbonbewehrung anzustreben, sodass die volle Zugfestigkeit der Gitter ausgenutzt wird. Die fiktive Vordehnung der Carbonbewehrung kann über ein iteratives Vorgehen oder über eine geschlossene Lösung bestimmt werden. Beide Verfahren werden im Folgenden vorgestellt.

2.1 Ermittlung des Vordehnungszustands über die Iteration der Dehnungsebenen

In diesem Abschnitt wird der Ablauf der iterativen Bestimmung des Vordehnungszustandes beschrieben. Die nachfolgenden Formeln sind nur für Biegung ohne Längskraft anzuwenden. Im Falle, dass Biegung mit Längskraft auftritt und/oder eine Druckbewehrung im Bestand vorliegt, sind die Formeln um die entsprechenden Anteile zu erweitern. Für weitere Informationen wird auf [3] verwiesen.

1. Schätzen der Vordehnungen des Betons $\varepsilon_{c,0}$ und der Bewehrung $\varepsilon_{s,0}$ des Bestandsquerschnitts

2. Bestimmung der bezogenen Druckzonenhöhe ξ

$$\xi = \frac{-\varepsilon_{c,0}}{-\varepsilon_{c,0} + \varepsilon_{s,0}}$$

3. Bestimmung des Völligkeitsbeiwertes α_R für Betone ≥ C12/15 und ≤ C50/60

$$\alpha_R = \begin{cases} \frac{-\varepsilon_{c,0}}{2} - \frac{\varepsilon_{c,0}^2}{12}, & 0 \geq \varepsilon_{c,0} \geq -2\,‰ \\ 1 + \frac{2}{3 \cdot \varepsilon_{c,0}}, & -2\,‰ \geq \varepsilon_{c,0} \geq -3{,}5\,‰ \end{cases}$$

4. Bestimmung des Höhenbeiwerts k_a für Betone ≥ C12/15 und ≤ C50/60

$$k_a = \begin{cases} \frac{8 + \varepsilon_{c,0}}{24 + 4 \cdot \varepsilon_{c,0}}, & 0 \geq \varepsilon_{c,0} \geq -2\,‰ \\ \frac{3 \cdot \varepsilon_{c,0}^2 + 4 \cdot \varepsilon_{c,0} + 2}{6 \cdot \varepsilon_{c,0}^2 + 4 \cdot \varepsilon_{c,0}}, & -2\,‰ \geq \varepsilon_{c,0} \geq -3{,}5\,‰ \end{cases}$$

5. Bestimmung des Angriffspunkts a der Betondruckkraft

$$a = k_a \cdot \xi \cdot d_s$$

6. Bestimmung des inneren Hebelarms der Bestandsbewehrung

$$z_s = d_s - a$$

7. Bestimmung der Betondruckkraft und der Stahlzugkraft

Betondruckkraft: $F_c = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_c = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_s \cdot b \cdot f_c$

Stahlzugkraft: $F_s = \varepsilon_s \cdot a_s \cdot E_s$

Annahme einer neuen Dehnungsverteilung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

8. Überprüfen der Gleichgewichtsbedingungen

Kräftegleichgewicht: $F_c = F_s$?

Momentengleichgewicht: $M_{d,char} = F_s \cdot z_s$?

Gleichgewichtsbedingungen erfüllt

Gleichgewichtsbedingungen nicht erfüllt

9. Ermittlung der fiktiven Vordehnung der Carbonbewehrung

$$\varepsilon_{nm,0} = \varepsilon_{s,0} + \frac{d_{nm} - d_s}{d_s} \cdot (\varepsilon_{s,0} - \varepsilon_{c,0})$$

Mit d_{nm} statische Nutzhöhe der Carbonbewehrung

2.2 Ermittlung des Vordehnungszustandes über die geschlossene Lösung

Die geschlossene Lösung bietet die Möglichkeit, die Vordehnung ohne Iteration der Dehnungsebenen abzuschätzen. In diesem Verfahren wird ein linearer Betondruckspannungsverlauf angenommen. Die nachfolgenden Formeln können nur für Rechteckquerschnitte ohne Druckbewehrung und bei reiner Biegung angewendet werden.

1. Bestimmung des Verhältnisses der E-Moduln von Bestandsbewehrung zu Bestandsbeton

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$$

2. Bestimmung der Druckzonenhöhe

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d_s}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right)$$

3. Bestimmung des inneren Hebelarms

$$z = d_s - \frac{x}{3}$$

4. Bestimmung der Vordehnungen

Stahlbewehrung: $\varepsilon_{s,0} = \frac{\frac{m_{d,LF1}}{E_s}}{z \cdot A_{s1}}$ Beton: $\varepsilon_{c,0} = -\frac{2 \cdot \frac{m_{d,LF1}}{E_c}}{b \cdot x \cdot z}$

5. Ermittlung der fiktiven Vordehnung der Carbonbewehrung

$$\varepsilon_{nm,0} = \varepsilon_{s,0} + \frac{d_{nm} - d_s}{d_s} \cdot (\varepsilon_{s,0} - \varepsilon_{c,0})$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

3.1 Biegebemessung

Die Biegebemessung carbonbetonverstärkter Konstruktionen erfolgt über die Iteration der Dehnungsebenen. Der generelle Ablauf entspricht dem in Abschnitt 2.1 beschriebenen Vorgehen. Die Formeln werden lediglich um die Zugkraftanteile der Carbonbewehrung ergänzt. Das iterative Verfahren legt die folgenden Annahmen zu Grunde:

- Anwendung der Bernoulli-Hypothese: Ebenbleiben des Querschnitts und lineare Dehnungsverteilung über den Querschnitt
- reine Biegung (ohne Normalkraft), bei vorliegender Normalkraft ist analog zu Stahlbeton vorzugehen
- Annahme eines vollständigen Verbunds der Materialien
- Nachweisführung im Zustand II, nur die Bewehrung kann Zugkräfte aufnehmen
- Beton und Stahl weisen bei gleichen Dehnungen den gleichen Abstand zur Nulllinie auf
- Die in DIN EN 1992-1-1 [4] geregelten Spannungs-Dehnungs-Linien für Beton und Stahlbewehrung sind anzuwenden, d. h.:
  - Beton: Parabel-Rechteck-Diagramm
  - Stahlbewehrung: bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie mit horizontalem oder ansteigendem Ast nach Überschreitung der Fließgrenze
- Spannungs-Dehnungs-Linie Carbonbewehrung: idealisiert linear abZ/aBG [1]

Eine Prinzipskizze zur iterativen Biegebemessung eines carbonbetonverstärkten Rechteckquerschnitts ist in Abbildung 1 dargestellt.

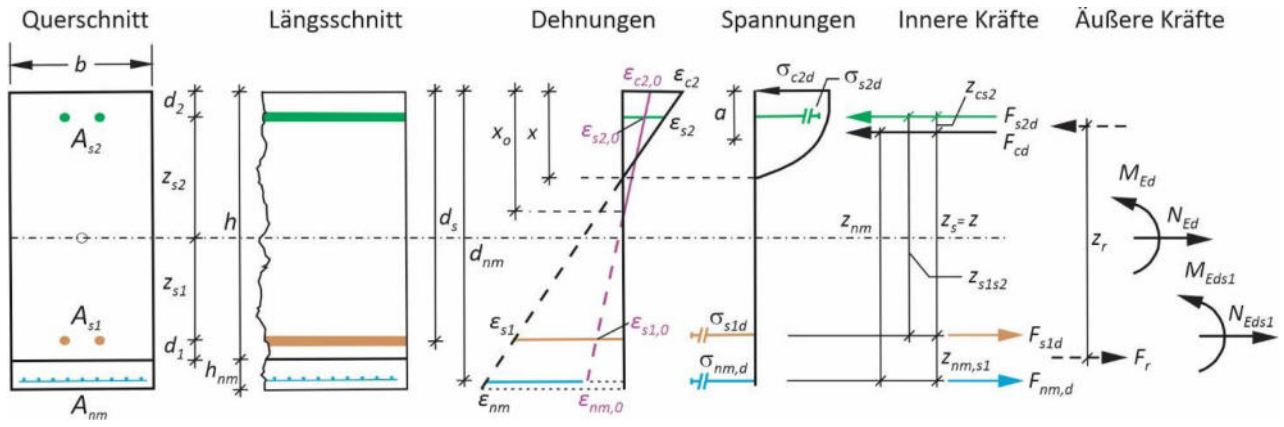


Abbildung 1: Prinzipskizze zur iterativen Ermittlung der Biegetragfähigkeit eines carbonbetonverstärkten Rechteckquerschnitts (Quelle: CARBOCON GMBH)

Das Ablaufschema für die Biegebemessung **ohne Einwirkung einer Normalkraft** ist im Folgenden dargestellt.

1. Schätzen der Dehnungen des Betons ε_c und der Carbonbewehrung ε_{nm}, wobei entweder die Bruchstauchung des Betons oder die Bruchdehnung der Carbonbewehrung erreicht werden sollte (ein Versagen der Carbonbewehrung ist anzustreben, um die Materialien effizient auszunutzen).

2. Bestimmung der bezogenen Druckzonenhöhe ξ

$$\xi = \frac{-\varepsilon_c}{-\varepsilon_c + \varepsilon_{nm,0} + \varepsilon_{nm}}$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3. Bestimmung des Völligkeitsbeiwertes α_R und des Höhenbeiwerts k_a nach Abschnitt 2.1

4. Bestimmung des Angriffspunkts a der Betondruckkraft

$a = k_a \cdot \xi \cdot d_{nm}$

5. Bestimmung des inneren Hebelarms der Bewehrungen

Stahlbewehrung: $z_s = d_s - a$

Carbonbewehrung: $z_{nm} = d_{nm} - a$

6. Bestimmung der Betondruckkraft

Betondruckkraft: $F_c = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_{nm} \cdot b \cdot f_{cd}$

7. Bestimmung der Stahldehnung und der Stahlzugkraft

Stahldehnung: $\varepsilon_s = \dfrac{(d_s - (\xi \cdot d_{nm})) \cdot \varepsilon_{nm}}{d_{nm} - (\xi \cdot d_{nm})}$

Stahlzugkraft: $F_s = \varepsilon_s \cdot a_s \cdot E_s \quad (\varepsilon_s < \varepsilon_{yd})$

Stahlzugkraft: $F_s = a_{sl} \cdot f_{yd} \quad (\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd})$ (ohne Berücksichtigung des ansteigenden Astes)

8. Bestimmung der Zugkraft in der Carbonbewehrung aus Momentengleichgewicht

$F_{nm} = \dfrac{M_{Ed} - F_s \cdot z_s}{z_{nm}}$

9. Überprüfen des Kräftegleichgewichts

$F_c = F_s + F_{nm}$

Gleichgewichtsbedingung erfüllt

Gleichgewichtsbedingung nicht erfüllt

Annahme einer neuen Dehnungsverteilung

10. Ermittlung der erforderlichen Carbonbewehrungsfläche

$a_{nm} = \dfrac{F_{nm}}{E_{nm,m} \cdot \varepsilon_{nm}}$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Bei Querschnitten ohne Normalkrafteinwirkung und ohne erforderliche Druckbewehrung ist alternativ auch eine Berechnung mithilfe der Bemessungstafeln, entsprechende Angaben sind für den CARBOrefit®-Typ 1 in Tabelle 1 sowie für den CARBOrefit®-Typ 3 in Tabelle 2 dargestellt, möglich. Das bezogene Moment μ_{tex} berechnet sich aus dem einwirkenden Moment M_{ed}, der Annahme, dass die Stahlzugfestigkeit erreicht ist, den Querschnittswerten und der Betondruckfestigkeit f_{cd} wie folgt:

$$\mu_{nm} = \frac{M_{ed} + \sigma_{s1d} \cdot A_{s1} \cdot (d_{nm} - d_s)}{b \cdot d_{nm}^2 \cdot f_{cd}}$$

Anschließend kann der Wert ω_{nm} abgelesen und interpoliert werden. Die erforderliche textile Bewehrungsfläche kann mit folgender Formel bestimmt werden:

$$A_{nm} = \frac{1}{\sigma_{td,nm}} \cdot (\omega_{nm} \cdot b \cdot d_{nm} \cdot f_{cd} - \sigma_{s1d} \cdot A_{s1})$$

Aus wirtschaftlichen Gründen, zur Ausnutzung der Streckgrenze, sollte immer ein Textil- und kein Betonversagen auftreten. Des Weiteren sollte die erforderliche Bewehrungsmenge 4 Lagen nicht überschreiten.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Tabelle 1: Bemessungstafel für die Bemessung der Verstärkung mit dem CARBOrefit® Typ 1

$\varepsilon_{utex}=\varepsilon_{utex}/\gamma_{tex}$		CARBOrefit® Typ 1					
μ_{tex}	ω_{tex}	$\xi_{tex}=x/d_{tex}$	$\zeta_{tex}=z_{tex}/d_{tex}$	ε_{c2}	ε_{tex} [‰]	σ_{tex} [N/mm²]	
0,01	0,01025	0,073	0,975	-0,29	3,72	768,54	Textilversagen
0,02	0,02073	0,104	0,965	-0,43	3,72	768,54	
0,03	0,03137	0,127	0,956	-0,54	3,72	768,54	
0,04	0,04213	0,147	0,949	-0,64	3,72	768,54	
0,05	0,05301	0,165	0,943	-0,73	3,72	768,54	
0,06	0,06401	0,181	0,937	-0,82	3,72	768,54	
0,07	0,07512	0,196	0,932	-0,90	3,72	768,54	
0,08	0,08633	0,210	0,927	-0,99	3,72	768,54	
0,09	0,09764	0,223	0,922	-1,07	3,72	768,54	
0,10	0,10907	0,236	0,917	-1,15	3,72	768,54	
0,11	0,12059	0,248	0,912	-1,22	3,72	768,54	
0,12	0,13223	0,259	0,908	-1,30	3,72	768,54	
0,13	0,14398	0,271	0,903	-1,38	3,72	768,54	
0,14	0,15583	0,282	0,898	-1,46	3,72	768,54	
0,15	0,16781	0,293	0,894	-1,54	3,72	768,54	
0,16	0,17992	0,304	0,889	-1,62	3,72	768,54	
0,17	0,19217	0,315	0,885	-1,71	3,72	768,54	
0,18	0,20456	0,325	0,880	-1,79	3,72	768,54	
0,19	0,21711	0,336	0,875	-1,88	3,72	768,54	
0,20	0,22985	0,347	0,870	-1,98	3,72	768,54	
0,21	0,24279	0,358	0,865	-2,07	3,72	768,54	
0,22	0,25597	0,369	0,859	-2,18	3,72	768,54	
0,21	0,26937	0,380	0,854	-2,28	3,72	768,54	
0,24	0,28302	0,392	0,848	-2,40	3,72	768,54	
0,25	0,29695	0,404	0,842	-2,52	3,72	768,54	
0,26	0,31116	0,416	0,836	-2,65	3,72	768,54	
0,27	0,32566	0,428	0,829	-2,78	3,72	768,54	
0,28	0,34048	0,441	0,822	-2,93	3,72	768,54	
0,29	0,35565	0,454	0,815	-3,09	3,72	768,54	
0,30	0,37118	0,467	0,808	-3,26	3,72	768,54	
0,31	0,3871	0,480	0,801	-3,44	3,72	768,54	
0,32	0,40378	0,499	0,793	-3,50	3,52	726,80	Betonversagen
0,33	0,42113	0,520	0,784	-3,50	3,23	667,08	
0,34	0,43906	0,542	0,774	-3,50	2,95	610,25	
0,35	0,45762	0,565	0,765	-3,50	2,69	556,10	
0,36	0,47684	0,589	0,755	-3,50	2,44	504,65	
0,37	0,49687	0,614	0,745	-3,50	2,20	455,05	
0,38	0,51776	0,640	0,734	-3,50	1,97	407,52	
0,39	0,53966	0,667	0,723	-3,50	1,75	361,64	
0,40	0,56272	0,695	0,711	-3,50	1,54	317,20	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Tabelle 2: Bemessungstafel für die Bemessung der Verstärkung mit dem CARBOrefit® Typ 3

$\varepsilon_{utex}=\varepsilon_{utex}/\gamma_{tex}$		CARBOrefit® Typ 3					
μ_{tex}	ω_{tex}	$\xi_{tex}=x/d_{tex}$	$\zeta_{tex}=z_{tex}/d_{tex}$	ε_{c2}	ε_{tex} [‰]	σ_{tex} [N/mm²]	
0,01	0,0102	0,057	0,981	-0,38	6,29	1300,00	Textilversagen
0,02	0,0213	0,083	0,972	-0,57	6,29	1300,00	
0,03	0,0310	0,100	0,966	-0,70	6,29	1300,00	
0,04	0,0410	0,116	0,960	-0,82	6,29	1300,00	
0,05	0,0525	0,131	0,954	-0,95	6,29	1300,00	
0,06	0,0636	0,145	0,949	-1,07	6,29	1300,00	
0,07	0,0740	0,157	0,944	-1,17	6,29	1300,00	
0,08	0,0852	0,169	0,940	-1,28	6,29	1300,00	
0,09	0,0952	0,180	0,936	-1,38	6,29	1300,00	
0,10	0,1079	0,192	0,931	-1,50	6,29	1300,00	
0,11	0,1187	0,203	0,926	-1,60	6,29	1300,00	
0,12	0,1302	0,213	0,922	-1,71	6,29	1300,00	
0,13	0,1424	0,225	0,917	-1,82	6,29	1300,00	
0,14	0,1528	0,234	0,913	-1,92	6,29	1300,00	
0,15	0,1656	0,246	0,908	-2,05	6,29	1300,00	
0,16	0,1778	0,257	0,902	-2,17	6,29	1300,00	
0,17	0,1896	0,267	0,897	-2,29	6,29	1300,00	
0,18	0,2019	0,278	0,892	-2,43	6,29	1300,00	
0,19	0,2147	0,290	0,886	-2,57	6,29	1300,00	
0,20	0,2274	0,302	0,880	-2,72	6,29	1300,00	
0,21	0,2407	0,314	0,874	-2,87	6,29	1300,00	
0,22	0,2530	0,325	0,868	-3,02	6,29	1300,00	
0,23	0,2675	0,338	0,862	-3,21	6,29	1300,00	
0,24	0,2810	0,350	0,855	-3,39	6,29	1300,00	
0,25	0,2949	0,364	0,848	-3,50	6,11	1262,26	Betonversagen
0,26	0,3097	0,383	0,841	-3,50	5,65	1167,25	
0,27	0,3242	0,401	0,833	-3,50	5,24	1082,49	
0,28	0,3398	0,420	0,825	-3,50	4,84	999,84	
0,29	0,3554	0,439	0,817	-3,50	4,47	924,21	
0,30	0,3717	0,459	0,809	-3,50	4,12	852,25	
0,31	0,3879	0,479	0,801	-3,50	3,80	786,19	
0,32	0,4047	0,500	0,792	-3,50	3,50	723,38	
0,33	0,4213	0,520	0,784	-3,50	3,22	666,51	
0,34	0,4394	0,543	0,774	-3,50	2,95	609,08	
0,35	0,4592	0,567	0,764	-3,50	2,67	551,77	
0,36	0,4764	0,589	0,755	-3,50	2,45	505,72	
0,37	0,4972	0,614	0,745	-3,50	2,20	454,41	
0,38	0,5198	0,642	0,733	-3,50	1,95	403,24	
0,39	0,5411	0,668	0,722	-3,50	1,74	358,87	
0,40	0,5618	0,694	0,711	-3,50	1,54	319,02	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3.2 Nachweis der Querkrafttragfähigkeit

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit der carbonbetonverstärkten Konstruktion ist nach abZ/aBG [1] für Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung[1] ohne Ansatz der Carbonbewehrung zu führen. Dementsprechend darf für die Ermittlung des Querkraftwiderstandes die Carbonbewehrung nicht bei der Fläche der Zugbewehrung angerechnet werden. Die Nachweisführung entspricht dem Nachweis für Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.1 [4] und wird an dieser Stelle nicht explizit erläutert.

3.3 Nachweis der Verbundfuge

Der Nachweis der Verbundfuge setzt sich aus den folgenden zwei Nachweisen zusammen:

- Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge nach DIN EN 1992-1-1 [4]
- Nachweis gegen Versatzbruch

3.3.1 Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge

Die Einwirkungen auf die Schubfuge sind abhängig von der einwirkenden Querkraft. Ab dem Fließen der Bestandsbewehrung kommt es zur überproportionalen Zunahme der Zugkräfte innerhalb der Carbonbewehrung. Um beim Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge auf der sicheren Seite zu liegen, muss dieser für die Einwirkungskombination nach der Verstärkungsmaßnahme geführt werden. Zu berücksichtigen sind das Eigengewicht des Bestands und der Verstärkungsschicht sowie Ausbau- und Nutzlasten. Widerstandsseitig wird zwischen Altbeton und Carbonbetonverstärkungsschicht von einer rauen Fuge ausgegangen. Weiterhin wird bei der Nachweisführung nach abZ/aBG [1] zwischen ebenen bzw. konvex gekrümmten und konkav gekrümmten Bauteiloberflächen unterschieden. Der Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge ist erfüllt, wenn gilt:

$$v_{Edi} \leq v_{Rdi}$$

<u>Ebene und konvex gekrümmte Bauteiloberflächen</u>

Die Nachweisführung für ebene und konvex gekrümmte Altbetonoberflächen erfolgt nach DIN EN 1992-1-1, Absatz 6.2.5 [4]. Die auf die Fuge einwirkende Bemessungsschubkraft v_{Edi} wird aus der Zugkraftänderung der Carbonbewehrung wie folgt bestimmt:

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{z_{ges} \cdot b_i}$$

Mit β Verhältnis der Zugkraft in der Verstärkungsschicht zu der Gesamtzugkraft in der Zugzone

$$= \frac{F_{nm}}{F_s + F_{nm}}$$

Der Bemessungswert der Zugkraft in der Carbonbewehrung F_{nm} sowie der Stahlbewehrung F_s kann der iterativen Biegebemessung unter den Einwirkungen nach der Verstärkungsmaßnahme entnommen werden.

z_{ges} Innerer Hebelarm des Gesamtquerschnitts

$$= z_s \cdot \frac{F_s}{F_s + F_{nm}} + z_{nm} \cdot \frac{F_{nm}}{F_s + F_{nm}}$$

b_i Breite der Verbundfuge

[1] Im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) ist es möglich, Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung mit Carbonbeton zu verstärken.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Der für die Ermittlung der Schubfugentragfähigkeit v_{Rdi} benötigte charakteristische Wert der Haftzugfestigkeit $f_{ctk,0,05}$ ist nach DIN EN 1990 [5] , Tabelle D.1 (V_x unbekannt) zu bestimmen.

Die Schubfugentragfähigkeit v_{Rdi} zwischen Bestandsbeton und Carbonbetonverstärkungsschicht kann dann nach Gleichung (6.25) der DIN EN 1992-1-1 [4] bestimmt werden.

Konkav gekrümmte Bauteiloberflächen

Bauteile mit konkav gekrümmter Oberfläche dürfen mit Carbonbeton verstärkt werden, wenn die folgenden beiden Bedingungen eingehalten sind:

1. Bedingung 1:

$$1\ {}^{N}/_{mm^2} + 5 \cdot p_{konkav} \leq f_{ctm,surf}$$

Mit $p_{konkav} = a_{Kf,nm} \cdot f_{Kf,nm,k} \cdot \frac{1,5}{r}$

$a_{Kf,nm}$ Fläche der Carbonfasern in Kettrichtung bezogen auf 1 m Breite quer zur Kettrichtung

r Krümmungsradius der konkav gekrümmten Fläche (r > 5 m)

$f_{Kf,nm,k}$ Zugfestigkeit der Carbonbewehrung

$f_{ctm,surf}$ Erwartungswert des Mittelwertes (95 % Zuverlässigkeit) der Oberflächenzugfestigkeit des Betons

2. Bedingung 2:

Der Nachweis der Schubfugentragfähigkeit mit v_{Rdi} nach DIN EN 1992-1-1 Gleichung 6.25 muss erfüllt sein für:

$$\sigma_n = a_{Kf,nm} \cdot \frac{\sigma_{Kf,nm,k}}{r} \text{ und } f_{ctk,0,05} = f_{ctk,0,05,surf} - \sigma_n$$

Mit $\sigma_{Kf,nm,k}$ Zugspannung in den Fasersträngen des Carbongitters an der Stelle der konkaven Krümmung der Carbonbetonschicht unter der seltenen Einwirkungskombination

$f_{ctk,0,05,surf}$ Charakteristischer Wert der Oberflächenzug- bzw. Haftzugfestigkeit des Altbetons

3.3.2 Nachweis gegen Versatzbruch

Die am Endauflager senkrecht zur Ebene der Carbonbetonverstärkung wirkende Zugspannung muss berücksichtigt werden. In diesem Bereich kann es andernfalls infolge dieser abhebenden Kräfte zur Ausbildung eines Versatzbruchs (siehe Abbildung 2) kommen, bei dem sich der Beton von der Bestandsbewehrung ablöst.

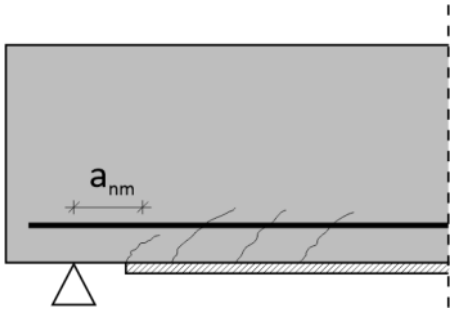


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Versatzbruchs

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Es muss nachgewiesen werden, dass die einwirkende Querkraft V_{Ed} den Bemessungswert des Querkraftwiderstands $V_{Rd,c,nm}$ nicht übersteigt. Der Bemessungswert $V_{Rd,c,nm}$ wird wie folgt bestimmt:

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

Mit ρ_{s1} Längsbewehrungsgrad der Bestandsbewehrung ohne Carbonbewehrung

a_{nm} Abstand des Endes der Carbongitter von der Mitte des Endauflagers bzw. des Trägerendes (siehe Abbildung 2)

$V_{Rd,ct}$ Bemessungswert des Querkraftwiderstands nach DIN EN 1992-1-1, Absatz 6.2.2 [4]

3.4 Nachweis der Endverankerung der Carbonbewehrung

Die Verankerung der Carbonbewehrung erfolgt ab jenem Punkt x_A, ab welchem keine zusätzliche Carbonbewehrung mehr zur Aufnahme des vorhandenen Biegemomentes benötigt wird.

Zur Berücksichtigung der zusätzlichen Zugkraft ΔF_t infolge der Querkraft wird das Bemessungsmoment an der Stelle x_A zuzüglich des Versatzmaßes a_l bestimmt.

Grundlegend gibt es zwei Möglichkeiten die Verankerungslänge der Carbonbewehrung zu berechnen. Maßgebend sind hierfür die Spannung und somit auch die Dehnung der Bewehrung. Wie auch in den anderen Berechnungen kann die Dehnung ε_{nm} geschätzt und anschließend iterativ bestimmt oder genau berechnet werden.

Bemessung durch Iteration

Versatzmaß nach DIN EN 1992-1-1[6] für Vollplatten:

$$a_l = d_{nm}$$

Stelle, an der das Bemessungsmoment bestimmt wird:

$$x_1 = x_{Auflager} + a_l$$

1. Schätzen der Dehnungen des Betons ε_c und der Carbonbewehrung ε_{nm}

2. Bestimmung der bezogenen Druckzonenhöhe ξ

$$\xi = \frac{-\varepsilon_c}{-\varepsilon_c + \varepsilon_{nm,0} + \varepsilon_{nm}}$$

3. Bestimmung des Völligkeitsbeiwertes α_R für Betone ≥ C12/15 und ≤ C50/60

$$\alpha_R = \begin{cases} \frac{-\varepsilon_c}{2} - \frac{\varepsilon_c{}^2}{12}, & 0 \geq \varepsilon_{c,0} \geq -2\ ‰ \\ 1 + \frac{2}{3 \cdot \varepsilon_c}, & -2\ ‰ \geq \varepsilon_{c,0} \geq -3{,}5\ ‰ \end{cases}$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

4. Bestimmung des Höhenbeiwerts k_a für Betone ≥ C12/15 und ≤ C50/60

$$k_a = \begin{cases} \dfrac{8 + \varepsilon_c}{24 + 4 \cdot \varepsilon_c}, & 0 \geq \varepsilon_{c,0} \geq -2\,‰ \\ \dfrac{3 \cdot \varepsilon_c^2 + 4 \cdot \varepsilon_c + 2}{6 \cdot \varepsilon_c^2 + 4 \cdot \varepsilon_c}, & -2\,‰ \geq \varepsilon_{c,0} \geq -3{,}5\,‰ \end{cases}$$

5. Bestimmung des Angriffspunkts a der Betondruckkraft

$a = k_a \cdot \xi \cdot d_{nm}$

6. Bestimmung des inneren Hebelarms der Bewehrungen

Stahlbewehrung: $z_s = d_s - a$

Carbonbewehrung: $z_{nm} = d_{nm} - a$

7. Bestimmung der Betondruckkraft

Betondruckkraft: $F_c = \alpha_R \cdot x_{nm} \cdot b \cdot f_{cd} = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_{nm} \cdot b \cdot f_{cd}$

8. Bestimmung der Stahldehnung und der Stahlzugkraft

Stahldehnung: $\varepsilon_s = \dfrac{(d_{sl} - (\xi \cdot d_{nm})) \cdot \varepsilon_{nm}}{d_{nm} - (\xi \cdot d_{nm})}$

Stahlzugkraft: $F_s = \varepsilon_s \cdot a_{sl} \cdot E_s \quad (\varepsilon_s < \varepsilon_{yd})$

Stahlzugkraft: $F_s = a_{sl} \cdot f_{yd} \quad (\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd})$

9. Bestimmung der Zugkraft in der Carbonbewehrung aus Momentengleichgewicht

$F_{nm} = E_{nm} \cdot \varepsilon_{nm} \cdot a_{Kf,nm}$

10. Überprüfen der Gleichgewichtsbedingungen

$F_c = F_s + F_{nm}$?

Momentengleichgewicht: $m_x = F_s \cdot z_s + F_{nm} \cdot z_{nm}$

Gleichgewichtsbedingung erfüllt

Gleichgewichtsbedingung nicht erfüllt

Annahme einer neuen Dehnungsverteilung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

11. Zu verankernde Spannung im Carbongitter:

$\sigma_{nm} = E_{nm} \cdot \varepsilon_{nm}$

12. Notwendige Verankerungslänge

$$l_{b,\,nm,\,rqd} = \frac{\sigma_{nm} \cdot A_{nm,k}}{T_{nm,bd}}$$

Bemessung durch direkte Lösung

$$x = \frac{\alpha_s \cdot A_s + \alpha_{nm} \cdot A_{nm}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot (\alpha_s \cdot A_s \cdot d_s + \alpha_{nm} \cdot A_{nm} \cdot d_{nm})}{(\alpha_s \cdot A_s + \alpha_{nm} \cdot A_{nm})^2}}\right)$$

$$z_s = d_s - \frac{x}{3}$$

$$z_{nm} = d_{nm} - d_s$$

$$A_c = \frac{b \cdot x}{2}$$

$$\varepsilon_c = \frac{M_{ed}}{E_c \cdot A_c \cdot z_s + \left(\frac{d_{nm}}{x} - 1\right) \cdot E_{nm} \cdot A_{nm} \cdot z_{nm}}$$

$$\varepsilon_s = -\varepsilon_c \cdot \left(\frac{d_s}{x} - 1\right)$$

$$\varepsilon_{nm} = -\varepsilon_c \cdot \left(\frac{d_{nm}}{x} - 1\right)$$

Die Berechnung der Spannung sowie der Endverankerung verläuft analog zur Iteration.

Der Bemessungswert der Verankerungslänge berechnet sich wie im Eurocode unter Punkt 8.4.4 beschrieben

$l_{bd} = l_{b,rqd} \geq 100\ mm$

Nachweis:

$\frac{l_{bd}}{l_{vorh}} \leq 1$ wenn Bewehrung bis Auflager: $l_{vorh} = x - \frac{a}{2}$

Weiterhin ist hinsichtlich der Bewehrungs- und Konstruktionsregeln anzumerken, dass ein Einschneiden der Zugkraftdeckungslinie nicht zulässig ist. Der Abstand bis zum Auflagerbereich muss ausreichend sein, da die Verstärkungsschicht nicht um die Ecke gelegt werden darf.

3.5 Nachweis zur Verankerung der Bestandsbewehrung

Der Nachweis zur Verankerung der Bestandsbewehrung am Endauflager ist identisch zu DIN EN 1992-1-1 [4] Abschnitt 8.4 zu führen und wird daher an dieser Stelle nicht explizit aufgeführt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

4 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

4.1 Nachweis der Verformung

Die Grenzwerte der Verformung nach DIN EN 1992 1-1 [4] Abschnitt 7.4.1 sollten auch nach den Verstärkungsmaßnahmen eingehalten werden. Maßgebend ist die quasi-ständige Einwirkungskombination.

Im Regelfall ist der Nachweis der Verformung immer mit direkter Berechnung durchzuführen!

Die Wirkungsweise der Carbongitter im Feinbeton darf in dem Durchbiegungsparameter α berücksichtigt werden. Zur Berechnung der Durchbiegung dürfen die Querschnittswerte des verstärkten Bauteils verwendet sowie der Widerstand EI_{nm} zu EI_s addiert werden.

Die Querschnittswerte in Zustand II für die nichtmetallisch Bewehrung kann wie folgt berechnet werden:

$$EI_{\mathrm{nm}}^{II} = E_{\mathrm{nm}} \cdot A_{nm} \cdot z^{II} \cdot (d - x^{II})$$

$$x^{II} = \xi \cdot d$$

$$\xi = -\alpha_{\mathrm{nm}} \cdot \varrho_{\mathrm{nm,l}} + \sqrt{(\alpha_{\mathrm{nm}} \cdot \varrho_{\mathrm{nm,l}})^2 + 2 \cdot \alpha_{\mathrm{nm}} \cdot \varrho_{\mathrm{nm,l}}}$$

$$z^{II} = d - \frac{x^{II}}{3}$$

Mit $\alpha_{\mathrm{nm}} = \frac{E_{\mathrm{nm}}}{E_{\mathrm{c}}}$; $\varrho_{\mathrm{nm,l}} = \frac{A_{\mathrm{nm}}}{b_{\mathrm{w}} \cdot d_{\mathrm{nm}}}$

Nachweis

$w \leq w_{\mathrm{min}}$

4.2 Nachweis der Stahlspannungen

Durch die abZ/aBG [1], Anlage 5, Absatz 7.2 ist die Dehnung des Bestandsstahls unter der seltenen Einwirkungskombination auf folgenden Wert zu begrenzen:

$$\varepsilon_{\mathrm{s}} \leq \frac{f_{\mathrm{yk}}}{E_{\mathrm{s}}}$$

Die vorhandene Dehnung wird analog zu Abschnitt 2.2 ermittelt.

$$\varepsilon_{\mathrm{s}} = \frac{\frac{m_{\mathrm{d,LF1}}}{E_{\mathrm{s}}}}{z \cdot A_{\mathrm{s1}}} \leq \frac{f_{\mathrm{yk}}}{E_{\mathrm{s}}}$$

4.3 Begrenzung der Rissbreite

Laut abZ/aBG ist der Nachweis zur Rissbreite identisch zur DIN EN 1992-1-1[4] Abschnitt 7.3 zu führen und wird daher an dieser Stelle nicht explizit aufgeführt. Die Carbonbewehrung wird nicht berücksichtigt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

5 Konstruktive Durchbildung

5.1 Mindestbewehrung

Analog zum Stahlbeton ist die Mindestbewehrung nachzuweisen (Hinweis: durch die Verstärkung und Erhöhung der Last wird diese i. d. R. nicht maßgebend). Aufgrund des linear-elastischen Materialverhaltens muss bei der Carbonbewehrung die Bemessungsfestigkeit, anstelle der im Stahlbetonbau üblichen charakteristischen Festigkeit, angesetzt werden.

$$A_{\mathrm{nm,min}} = \frac{M_{\mathrm{cr}} - A_{\mathrm{s}} \cdot f_{\mathrm{yk}} \cdot z_s^{II}}{z_{nm}^{II} \cdot f_{\mathrm{nm,d}}}$$

5.2 Querbewehrung

Auch bei verstärkten Bauteilen sind bei einachsig gespannten Platten 20 % der Bestandsstahlbewehrung als Querbewehrung ausreichend. DIN EN 1992-1-1 [4] Abs. 9.3.1.1 gilt entsprechend. Fehlende Querbewehrung darf mit zusätzlicher Carbonbewehrung ergänzt werden. Maßgebend ist hierbei nicht die Querschnittsfläche, sondern die Zugfestigkeit. In den zur Verstärkung verwendeten Matten sind bereits über 20% der Längsbewehrung in Querrichtung vorhanden.

$$a_{\mathrm{sq,vorh}} \geq a_{\mathrm{sq,erf}} = 0{,}2 \cdot a_{\mathrm{sl}}$$

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, Dezember 2021 (Geltungsdauer 23. Dezember 2021 bis 1. Juni 2026).

[2] M. Curbach, F. Schladitz, J. Weselek und R. Zobel, „Eine Vision wird Realität: Der Betonbau der Zukunft ist nachhaltig, leicht, flexibel und formbar - dank Carbon," Der Prüfingenieur, Nr. 51, pp. 20-34, November 2017.

[3] Curbach, M.; Schumann, A.; May, S.; Müller, E.; Schütze, E.; Wagner, J.: *Verstärken mit Carbonbeton* in: Betonkalender 2022, S. 761-804, Ernst & Sohn.

[4] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahl- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, 2011.

[5] DIN EN 1990 (2021-10): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

ANHANG 3.01-1 BEISPIEL 1	Bemessung einer Carbonbetonverstärkung unter Anwendung eines CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitters

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

Bei dem nachfolgenden Dokument handelt es sich um ein Beispiel, welches die Bemessung einer Carbonbetonverstärkungsschicht auf Basis der aktuell gültigen abZ/aBG Z-31.10-182 „CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“ [1] umfasst. Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

1 Ausgangssituation

Ein altes Kloster soll zukünftig als Museum genutzt werden. Bei einer Ortsbegehung wurden an der Unterseite einer Gewölbedecke aus historischem Stahlbeton umfassende Schäden festgestellt. Die Bestandsbewehrung ist stellenweise freigelegt und stark korrodiert. Aus anschließenden Bauteiluntersuchungen geht hervor, dass die Bestandsbewehrung infolge der fortgeschrittenen Korrosion statisch nur zu 30 % angesetzt werden kann. Das dadurch maximal vom Bestand aufnehmbare Biegemoment beträgt 57 kNm/m. Unter der geplanten Museumsnutzung müssen 80 kNm/m von der Bestandskonstruktion abgetragen werden. Zum Ausgleich dieses Defizits und zur Erhaltung des historischen Wertes soll an der Unterseite des Tragbogens eine Carbonbetonverstärkung angebracht werden. Die Ausführung und Bemessung erfolgt nach den Bestimmungen der abZ/aBG Z-31.10-182 [1].

Der Tragbogen der Gewölbekonstruktion besitzt eine lichte Weite von 14,40 m und einen Stich von 1,80 m. Die Dicke des Tragbogens im Bereich des Scheitels beträgt 15 cm. Der Bogen weitet sich zu den Auflagerbereichen hin auf 25 cm auf. Oberhalb des Tragbogens befindet sich eine Aufbetonschicht sowie der Fußbodenaufbau.

Die nachfolgenden Berechnungen werden auf einen Streifen von 1 m Breite bezogen.

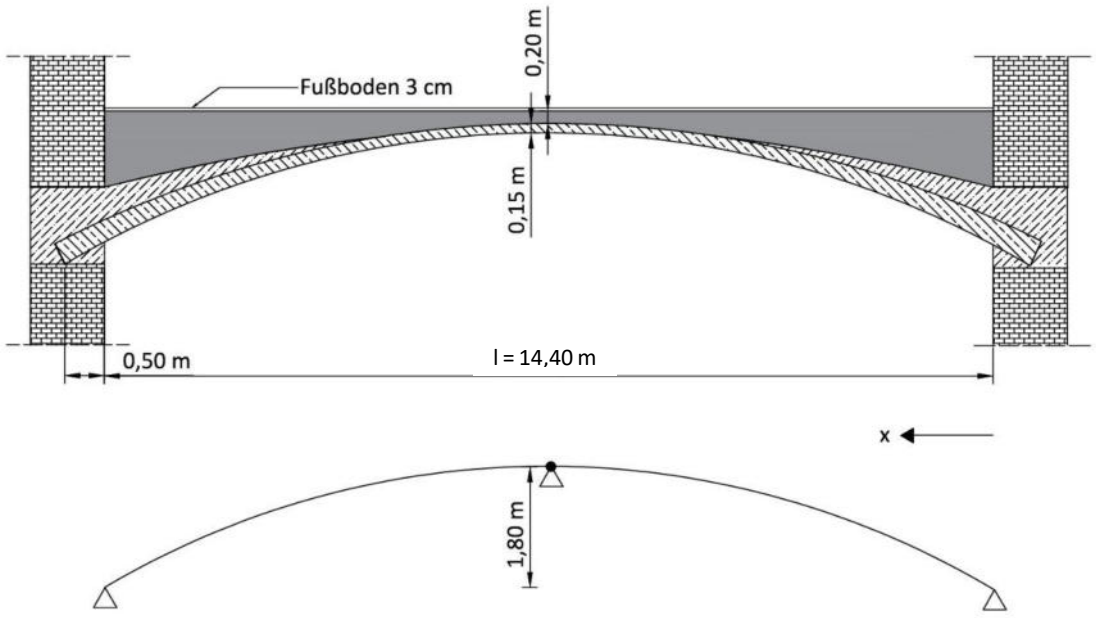


Abbildung 1: Oben: Längsschnitt durch die Gewölbedecke, unten: statisches System der Gewölbedecke in Längsrichtung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2 Systemlängsschnitt und statisches System

In Abbildung 1 sind der Längsschnitt durch die Decke sowie das statische System dargestellt. Die Gewölbedecke besitzt ein Gelenk im Stich. In den Auflagerbereichen wird ebenfalls von einer gelenkigen Lagerung ausgegangen.

3 Effektive Stützweite

Die effektive Stützweite l_{eff} beträgt 15,40 m.

4 Baustoffe der Bestandskonstruktion

4.1 Beton

Oberflächenzugfestigkeit

Der Erwartungswert des Mittelwertes (95 % Zuverlässigkeit) der Oberflächenzugfestigkeit des Betons $f_{ctm,surf}$ muss nach Abschnitt 1.2 der abZ/aBG [1] größer sein als 1,0 N/mm². Aufschluss über die Oberflächenzugfestigkeit des Bestandsbetons geben Bauteilprüfungen gemäß DIN EN 1542 [2]. Die Einzelwerte der Prüfungen sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Einzelwerte der Oberflächenzugfestigkeit des Bestandsbetons aus der Prüfung am Bauteil

Anzahl der Prüfungen n	1	2	3	4	5
$f_{ctm,surf,i}$ [N/mm²]	2,10	2,30	2,25	2,45	2,10

Statistische Auswertung der Stichproben nach abZ/aBG [1], Anhang 6:

- Arithmetisches Mittel: $m_x = 2{,}24$ N/mm²
- Standardabweichung des Stichprobenumfangs: $s = 0{,}083$
- Faktor: k_n ($n = 5$) = 0,953
- Erwartungswert des Mittelwertes (95 % Zuverlässigkeit):

  $f_{ctm,surf} = m_x - k_n \cdot s = 2{,}24 \text{ N/mm}^2 - 0{,}953 \cdot 0{,}083 = 2{,}16 \text{ N/mm}^2 > 1{,}0 \text{ N/mm}^2$

Betondruckfestigkeit

Die Bauteilprüfung gemäß DIN EN 1542 [2] ergab die Einordnung des Betons in die heutige Festigkeitsklasse C30/37. Daraus ergeben sich folgende Eigenschaften:

Charakteristische Druckfestigkeit: $f_{ck} = 30$ N/mm²

Teilsicherheitsbeiwert (ständig und vorrübergehend): $\gamma_c = 1{,}5$

Bemessungsdruckfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85 \cdot \frac{30 \text{ N/mm}^2}{1{,}5} = 17 \text{ N/mm}^2$

E-Modul: $E_{cm} = 33.000$ N/mm²

4.2 Bestandsstahl

Gemäß der Bestandsunterlagen handelt es sich bei dem Bestandsstahl um einen Glattstahl (Flussstahl) der Sorte St 37. Bestandsuntersuchungen konnten dies bestätigen. Nach [3] sind die Eigenschaften wie folgt:

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Charakteristische Streckgrenze:	f_{yk} = 210 N/mm²
Teilsicherheitsbeiwert (ständig und vorrübergehend):	γ_s = 1,15
Bemessungsfestigkeit:	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{210\ \text{N/mm}^2}{1{,}15} = 183\ \text{N/mm}^2$
E-Modul:	E_{sm} = 200.000 N/mm²

Bestandsuntersuchungen ergaben die folgenden Bewehrungsmengen:

Längsbewehrung:	a_{sl} = 9,24 cm²/m (Ø10-8,5)
Querbewehrung:	a_{sq} = 1,88 cm²/m (Ø6-15)

Infolge der fortgeschrittenen Korrosion können lediglich 30 % der Bestandsbewehrung in Längsrichtung angesetzt werden. In der Bemessung wird dementsprechend der folgende Wert angesetzt:

Längsbewehrung (30 %):	$a_{sl,30\,\%}$ = 2,77 cm²/m

<u>Lage der vorhandenen Bewehrung:</u>

Die Betondeckung der Längsbewehrung $c_{nom,l}$ ist in den Bestandsunterlagen mit 2,8 cm angegeben. Dieser Wert wurde vor Ort überprüft und bestätigt, sodass für die Bemessung Folgendes angesetzt wird:

Betondeckung Bestandsbewehrung (längs):	$c_{nom,l}$ = 2,8 cm
Statische Nutzhöhe (längs):	d_{sl} abhängig von Stelle, an der der Nachweis geführt wird, aufgrund veränderlicher Bogendicke

Ein Ausschnitt des Bestandsquerschnitts des Tragbogens im Bogenstich ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

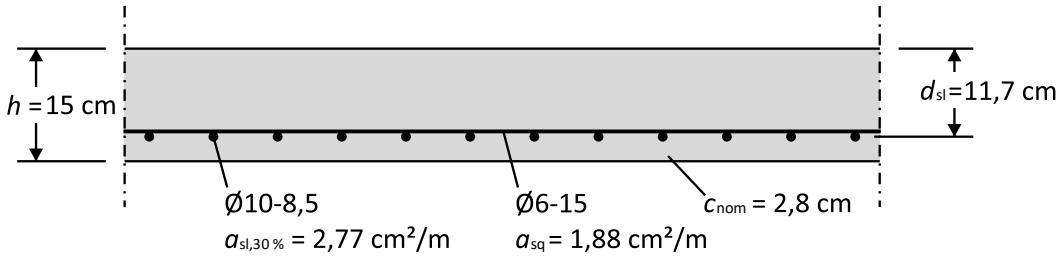


Abbildung 2: Ausschnitt des Bestandsquerschnitts des Tragbogens im Bogenstich

5 Verstärkungssystem

Für die Verstärkung des Tragbogens wird der Verbundwerkstoff Carbonbeton gewählt. Aufgrund der hohen Flexibilität der CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter besteht die Möglichkeit, diese als Rollenware auf die Baustelle zu liefern und zu verbauen. Die Carbongitter können entlang des Tragbogens abgerollt werden, wodurch der Einbau erleichtert wird und Übergreifungsstöße in Längsrichtung vermieden werden. Zunächst wird angenommen, dass eine einlagige Verstärkungsschicht ausreichend ist, um die Tragfähigkeit der Gewölbedecke wiederherzustellen. Gemäß abZ/aBG [1], Abschnitt 3.1 beträgt die erforderliche Mindestbetondeckung der CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter 3 mm. Bei einer einlagigen Verstärkungsschicht beträgt die aufzubringende Schichtdicke dementsprechend 6 mm. Dabei besteht eine Lage aus einer Schicht Feinbeton, einer Lage Carbonbewehrung und einer zweiten abschließenden Schicht Feinbeton. Das Verstärkungssystem ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Die nach abZ/aBG Z.31.10-182 [1] verwendeten Materialien werden in Abschnitt 5.1 und 5.2 genauer vorgestellt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

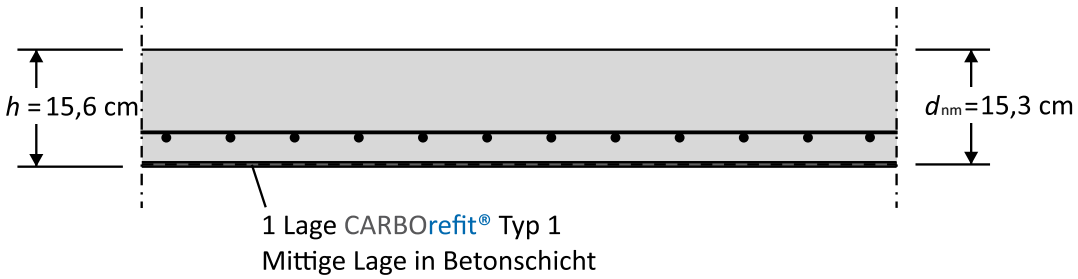


Abbildung 3: Ausschnitt des verstärkten Querschnitts im Bogenstich mit unterseitiger, einlagiger Verstärkungsschicht

5.1 Feinbeton

Es wird der in der abZ/aBG [1], Abschnitt 2.1.3 geregelte CARBOrefit®-Feinbeton verwendet.

5.2 Carbongitter

Für die Verstärkung werden die in der abZ/aBG [1] geregelten CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter in Regelausführung[1] verwendet. Es ist anzumerken, dass im Rahmen der abZ/aBG [1], Abschnitt 3.2 nur die Faserstränge des Carbongitters in Kettrichtung für die Bemessung der Verstärkungsschicht herangezogen werden dürfen. Die für die Bemessung wichtigen geometrischen Eigenschaften[2] der CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter in Regelausführung in Kettrichtung sind:

Querschnittsfläche Faserstrang Kettrichtung: $A_{Kf,nm}$ = 1,8 mm²

Querschnittsfläche Gitter Kettrichtung: $a_{Kf,nm}$ = 140 mm²/m

Weitere für die Bemessung relevante Eigenschaften[3] sind:

Charakteristische Zugfestigkeit: $f_{nm,k}$ = 1.150 N/mm²

Charakteristische Verbundfestigkeit: $T_{nm,b,k}$ = 4,00 N/mm

Teilsicherheitsbeiwert (ständig und vorübergehend): $\gamma_{nm,t}$ = 1,20 für Zug

$\gamma_{nm,b}$ = 1,50 für Verbund

E-Modul: $E_{nm,m}$ = 206.667 N/mm²

Die Ermittlung der Bemessungszugfestigkeit und der Bemessungsverbundfestigkeit der Carbongitter erfolgt über Abminderungsfaktoren. Diese variieren je nach Carbongitter-Typ und können der Tabelle 4 der abZ/aBG [1] entnommen werden. Für das in diesem Beispiel verwendete CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter sind die Abminderungsfaktoren für die Zug- und Verbundfestigkeit nachfolgend zusammengefasst.

<u>Abminderungsbeiwerte für die Zugfestigkeit</u>

$\alpha_{nm,T,t}$ = 0,85 $\alpha_{nm,t\infty,t}$ = 0,70 $\alpha_{nm,D,t}$ = 1,00

Mit $\alpha_{nm,T,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Temperatur

$\alpha_{nm,t\infty,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Dauerlast

$\alpha_{nm,D,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Dauerhaftigkeit

[1] Eigenschaften gemäß [1], Abschnitt 2.1.1
[2] Siehe [1], Abschnitt 2.3.2
[3] Siehe [1], Tabelle 4

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Abminderungsbeiwerte für die Verbundfestigkeit

$\alpha_{nm,T,b} = 0{,}45$ $\alpha_{nm,t\infty,b} = 0{,}47$ $\alpha_{nm,D,b} = 1{,}00$

Mit $\alpha_{nm,T,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Temperatur

$\alpha_{nm,t\infty,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Dauerlast

$\alpha_{nm,D,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Dauerhaftigkeit

Bemessungszugfestigkeit

$$f_{nm,d} = \alpha_{nm,T,t} \cdot \alpha_{nm,t\infty,t} \cdot \alpha_{nm,D,t} \cdot \frac{f_{nm,k}}{\gamma_{nm,t}} = 0{,}85 \cdot 0{,}70 \cdot 1{,}00 \cdot \frac{1.150\,N/mm^2}{1{,}20} = 768\ N/mm^2$$

Bemessungsverbundfestigkeit

$$T_{nm,b,d} = \alpha_{nm,T,b} \cdot \alpha_{nm,t\infty,b} \cdot \alpha_{nm,D,b} \cdot \frac{T_{nm,b,k}}{\gamma_{nm,b}} = 0{,}45 \cdot 0{,}47 \cdot 1{,}00 \cdot \frac{4\,N/mm^2}{1{,}50} = 0{,}60\ N/mm$$

6 Lastannahmen

6.1 Lastfälle und Einwirkungen

Unterschieden werden die folgenden Lastfälle:

- Lastfall 1 bildet die Belastungssituation des Tragbogens während der Herstellung der Verstärkung ab. Es wird lediglich das Eigengegwicht des Tragbogens sowie der Verstärkungsschicht berücksichtigt. Die Ausbaulasten des Bestands werden zurückgebaut und wirken in diesem Lastfall nicht. Eine Verkehrslast tritt in diesem Lastfall nicht auf und wird nicht angesetzt.
- Lastfall 2 bildet die nach der Verstärkung vorliegende Belastungssituation unter der geplanten Nutzung mit der neuen Verkehrslast ab.

Die Einwirkungen umfassen

- das Eigengewicht des Gewölbetragbogens,
- das Eigengewicht der Verstärkungsschicht,
- die Ausbaulasten (Aufbetonschicht und Fußbodenaufbau) sowie
- die Nutzlasten der Kategorie C3 der DIN EN 1991-1-1 [4] für Museumsflächen.

6.2 Teilsicherheitsbeiwerte zur Ermittlung der Bemessungswerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte werden in der Schnittgrößenermittlung berücksichtigt:

Tabelle 2: Zusammenfassung der Teilsicherheitsbeiwerte zur Ermittlung der Schnittgrößen

Einwirkung	günstig	ungünstig
ständig	$\gamma_{G,inf} = 1{,}0$	$\gamma_{G,sup} = \mathbf{1{,}35}$
veränderlich	$\gamma_{Q,inf} = 0{,}0$	$\gamma_{Q,sup} = \mathbf{1{,}50}$

Zur Ermittlung der Schnittgrößen werden die Teilsicherheitsbeiwerte für ungünstige Einwirkungen angesetzt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

7 Schnittgrößenermittlung

7.1 Bemessungsschnittgrößen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgte im Vorfeld. In den Grenzzuständen der Tragfähigkeit sind die folgenden Schnittgrößen zu berücksichtigen:

Tabelle 3: Zusammenfassung der Schnittgrößen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Lastfall		1	2
Maximales Feldmoment m_{Ed}	[kNm/m]	4,20	80,00
Querkraft v_{Ed}	[kN/m]	2,80	70,00
Normalkraft n_{Ed}	[kN/m]	-59,69	-250,00

7.2 Schnittgrößen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Die Einhaltung der durch die DIN EN 1992-1-1 [5] vorgegebenen Nachweise zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit werden an dieser Stelle nicht geführt. Eine Verstärkung zur Sicherstellung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit wird in diesem Beispiel nicht beschrieben.

Das charakteristische Moment m_d sowie die charakteristische Normalkraft n_d im Lastfall 1 werden für die Ermittlung des Vordehnungszustandes benötigt. Es werden die folgenden Werte verwendet:

Einwirkende Schnittgrößen: $m_{d,LF1}$ = 3,00 kNm/m

$n_{d,LF1}$ = -42,60 kN/m

8 Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

8.1 Ermittlung des Vordehnungszustandes

Der Vordehnungszustand des Bestandsquerschnitts wird zum Zeitpunkt der Verstärkung unter Berücksichtigung des Eigengewichts des Bestands sowie der Verstärkung unter der charakteristischen Belastung im GZG bestimmt. Die Ermittlung der Vordehnung kann über eine geschlossene oder iterative Lösung berechnet werden. Im Zuge dieses Beispiels wird die Ermittlung der Vordehnung über die iterative Lösung dargestellt.

Für eine beispielhafte Ermittlung der Vordehnungen über die geschlossene Lösung wird auf das Beispiel 2 „*Bemessung und Anwendung eines CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitters*“ verwiesen.

Die unter Abschnitt 7.2 aufgeführten Einwirkungen treten an der Stelle des maximalen Biegemoments (maßgebend), welche bei x = 2,66 m (siehe Abbildung 1) liegt, auf. Die Dicke des Tragbogens beträgt an dieser Stelle 19 cm. Die Geometrie des betrachteten Querschnitts ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

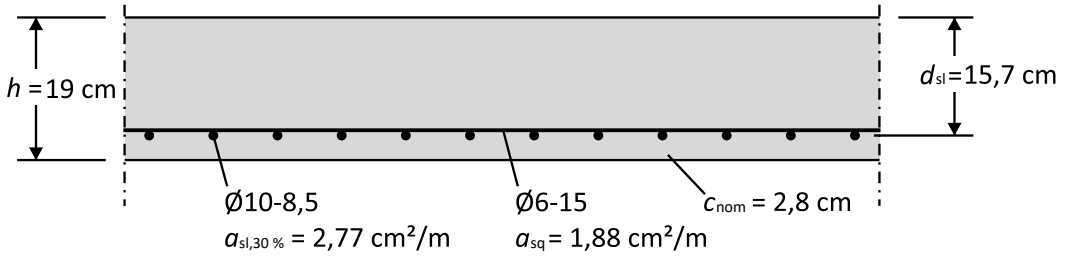


Abbildung 4: Querschnittsabmessungen an der Stelle des maximalen Moments

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Schätzung der Dehnungsverteilung

$\varepsilon_{c,0}$ = - 0,0339 ‰

$\varepsilon_{s,0}$ = + 0,0271 ‰

Bezogene Druckzonenhöhe

$$\xi = \frac{-\varepsilon_{c,0}}{-\varepsilon_{c,0} + \varepsilon_{s,0}} = \frac{0,0339}{0,0339 + 0,0271} = 0,5557$$

Völligkeitsbeiwert

$$\alpha_R = \frac{|\varepsilon_{c,0}| \cdot (6 - |\varepsilon_{c,0}|)}{12} = \frac{0,0339 \cdot (6 - 0,0339)}{12} = 0,0168$$

Höhenbeiwert

$$k_a = \frac{8 - |\varepsilon_{c,0}|}{4 \cdot (6 - |\varepsilon_{c,0}|)} = \frac{8 - 0,0339}{4 \cdot (6 - 0,0339)} = 0,3338$$

Angriffspunkt Betondruckkraft

$a = k_a \cdot \xi \cdot d_{sl}$ = 0,3338 · 0,5557 · 0,157 m = 0,029 m

Innerer Hebelarm der Bewehrungsebene

Stahlbewehrung: $z_s = d_{sl} - a$ = 0,157 m - 0,029 m = 0,128 m

Betondruckkraft

$F_c = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_{sl} \cdot b \cdot f_{cd}$ = 0,0168 · 0,5557 · 0,157 m · 1 m · 30.000 kN/m² = 43,9 kN/m

Stahlzugkraft

$F_s = \varepsilon_{s,0} \cdot a_{sl,30\,\%} \cdot E_s$ = 0,0271 ‰ · 277 mm²/m · 200.000 NN/mm² = 1,5 kN/m

Überprüfung der Gleichgewichtsbedingungen

Kräftegleichgewicht

$F_s - F_c \equiv n_{Ed}$

1,5 kN/m - 43,9 kN/m = - 42,4 kN/m ≈ $n_{d,LF1}$ → Bedingung erfüllt!

Momentengleichgewicht um Achse der Betondruckkraft

Abstand Schwerelinie – Angriffspunkt Betondruckkraft: $a_n = \frac{h}{2} - a = \frac{19\text{ cm}}{2}$ - 2,9 cm = 6,6 cm

$F_s \cdot z_s + F_{nm} \cdot z_{nm} - n_{Ed} \cdot a_n \equiv m_{d,LF1}$

1,5 kN/m · 0,128 m + 42,6 kN/m · 0,06 m = 2,7 kNm/m ≈ $m_{d,LF1}$

→ Bedingung erfüllt!

Die anfänglichen Schätzwerte der Dehnungen erfüllen den Anspruch an die Gleichgewichtsbedingungen. Die Dehnungsverteilung muss demnach nicht neu iteriert werden.

Bestimmung der fiktiven Vordehnung der Carbonbewehrung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

$$\varepsilon_{nm,0} = \varepsilon_{s,0} + \frac{d_{nm} - d_{sl}}{d_{sl}} \cdot (\varepsilon_{s,0} - \varepsilon_{c,0}) = 0{,}0271\ ‰ + \frac{193\ mm - 157\ mm}{157\ mm} \cdot (0{,}0271\ ‰ + 0{,}0339\ ‰) = 0{,}041\ ‰$$

8.2 Nachweis der Biegetragfähigkeit im Bauzustand (Lastfall 1)

Um sicherzustellen, dass die im Bauzustand auftretenden Lasten durch den Bestand aufgenommen werden können, wird überschlägig der Nachweis der Biegetragfähigkeit im Lastfall 1 ohne Ansatz der Carbonbetonverstärkung geführt. Aufgrund der Stahlkorrosion können für die Aufnahme der Biegemomente lediglich 30 % der Bestandsbewehrung angesetzt werden. Die Nachweisführung erfolgt an der Stelle des maximalen Biegemoments, welche bei x = 2,66 m liegt. Die Dicke des Tragbogens beträgt an dieser Stelle 19 cm. Die Nachweisführung erfolgt ohne Berücksichtigung der Ausbaulasten, da diese zum Zeitpunkt der Herstellung der Verstärkungsschicht zurück gebaut sind.

Einwirkende Schnittgrößen: $m_{Ed,LF1} = 4{,}20$ kNm/m

$n_{Ed,LF1} = -59{,}69$ kN/m

Statische Nutzhöhe Bestandsbewehrung: $d_{sl} = 0{,}157$ m

Abstand Bewehrung – Schwerelinie: $z_{s1} = d_{sl} - \frac{h}{2} = 0{,}157\ m - \frac{0{,}19\ m}{2} = 0{,}062$ m

Bestimmung des bezogenen Moments

$$m_{Eds,LF1} = m_{Ed,LF1} - n_{Ed,LF1} \cdot z_{s1} = 4{,}20\ kNm/m + 59{,}69\ kN/m \cdot 0{,}062\ m = 7{,}9\ kNm/m$$

Ermittlung des Widerstandsmoments

$$a_{sl,erf} = \frac{1}{\sigma_{sd}} \cdot \left(\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + n_{Ed}\right)$$

$$\omega = \frac{a_{sl,vor} \cdot \sigma_{sd} - n_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{2{,}77\ cm^2/m \cdot 18{,}3\ kN/cm^2 + 0{,}5969\ kN/cm}{100\ cm \cdot 15{,}7\ cm \cdot 1{,}7\ kN/cm^2} = 0{,}01922$$

$$\mu_{Eds} = 0{,}02$$

$$m_{Rds,LF1} = \mu_{Eds} \cdot b \cdot d_{sl}^2 \cdot f_{cd} = 0{,}02 \cdot 1\ m \cdot (0{,}157\ m)^2 \cdot 17.000\ kN/m^2 = 8{,}4\ kNm/m$$

Nachweis

$$\frac{m_{Eds,LF1}}{m_{Rds,LF1}} = \frac{7{,}9\ kNm/m}{8{,}4\ kNm/m} = 0{,}94 \le 1{,}0$$

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit im Bauzustand ist mit einer Auslastung von 94 % erfüllt. Die im Bauzustand auftretenden Lasten können durch den Bestand aufgenommen werden.

8.3 Nachweis der Biegetragfähigkeit der carbonbetonverstärkten Konstruktion (Lastfall 2)

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit der carbonbetonverstärkten Konstruktion erfolgt über die Iteration der Dehnungsebenen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur 30 % der Bestandsbewehrung angesetzt werden können. Zunächst wird angenommen, dass eine einlagige Verstärkungsschicht ausreichend ist, um die Tragfähigkeit der Konstruktion unter der neuen Belastungssituation zu gewährleisten. Dementsprechend beträgt die Schichtdicke der Verstärkung nach abZ/aBG [1] sowie Abschnitt 5 dieses Beispiels 6 mm. Die maßgebende Stelle für den Nachweis der Biegetragfähigkeit ist die, an der das maximale Biegemoment $m_{Ed,LF2}$ auftritt. Diese Stelle x liegt 2,66 m vom Auflagerinnenrand entfernt. Die Dicke des Querschnitts (inklusive der Aufbetonschicht und Verstärkung) beträgt an dieser Stelle 39,6 cm. Der Querschnitt an der maßgebenden Stelle ist in Abbildung 5 dargestellt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

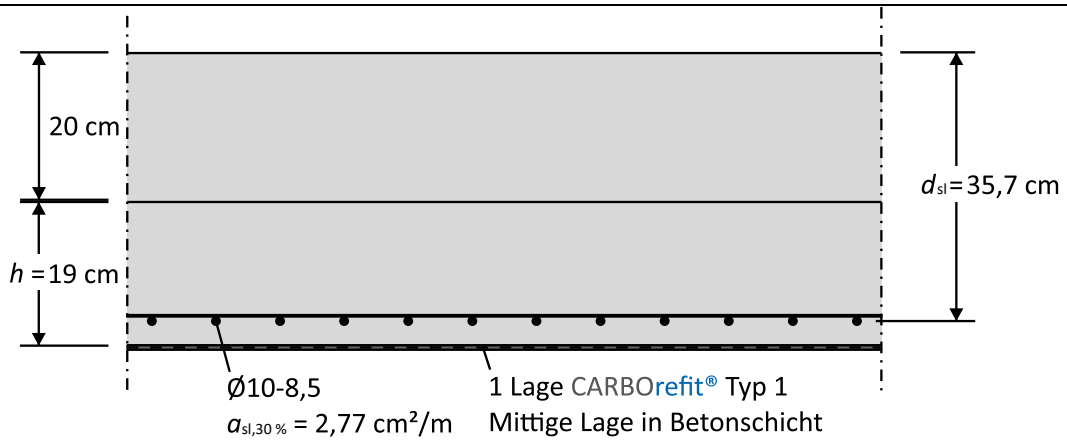


Abbildung 5: Querschnittsabmessungen an der Stelle des maximalen Moments inklusive Aufbetonschicht

Die nachfolgenden Formeln sind für Biegung mit Längskraft anzuwenden. Im Falle, dass eine Druckbewehrung im Bestand vorliegt, sind die Formeln um die entsprechenden Anteile zu erweitern. Für weitere Informationen wird auf [6] verwiesen.

Einwirkende Schnittgrößen: $m_{Ed,LF2} = 80$ kNm/m

$n_{Ed,LF1} = -250$ kN/m

Statische Nutzhöhe Bestandsbewehrung: $d_{sl} = 0{,}357$ m

Statische Nutzhöhe Carbonbewehrung: $d_{nm} = 0{,}393$ m

Abstand Bewehrung – Schwerelinie: $z_{s1} = d_{sl} - \frac{h}{2} = 0{,}357\text{ m} - \frac{0{,}393\text{ m}}{2} = 0{,}1605$ m

Bestimmung des bezogenen Moments

$$m_{Eds,LF2} = m_{Ed,LF2} - n_{Ed,LF2} \cdot z_{s1} = 80\,\text{kNm/m} + 250\,\text{kN/m} \cdot 0{,}1605\text{ m} = 120\,\text{kNm/m}$$

Schätzung der Dehnungsverteilung

$\varepsilon_{nm} = \varepsilon_{nm,u} = +3{,}716$ ‰

$\varepsilon_{nm,0} = +0{,}041$ ‰

$\varepsilon_c = -0{,}802$ ‰

Bezogene Druckzonenhöhe

$$\xi = \frac{-\varepsilon_c}{-\varepsilon_c + \varepsilon_{nm,0} + \varepsilon_{nm}} = \frac{0{,}802}{0{,}802 + 0{,}041 + 3{,}716} = 0{,}176$$

Völligkeitsbeiwert

$$\alpha_R = \frac{|\varepsilon_c| \cdot (6 - |\varepsilon_c|)}{12} = \frac{0{,}802 \cdot (6 - 0{,}802)}{12} = 0{,}347$$

Höhenbeiwert

$$k_a = \frac{8 - |\varepsilon_c|}{4 \cdot (6 - |\varepsilon_c|)} = \frac{8 - 0{,}802}{4 \cdot (6 - 0{,}802)} = 0{,}346$$

Angriffspunkt Betondruckkraft

$$a = k_a \cdot \xi \cdot d_{nm} = 0{,}346 \cdot 0{,}176 \cdot 0{,}393\text{ m} = 0{,}024\text{ m}$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Innerer Hebelarm der Bewehrungsebenen

Stahlbewehrung: $z_s = d_{sl} - a = 0{,}357\ \text{m} - 0{,}024\ \text{m} = 0{,}3328\ \text{m}$

Carbonbewehrung: $z_{nm} = d_{nm} - a = 0{,}393\ \text{m} - 0{,}024\ \text{m} = 0{,}3688\ \text{m}$

Betondruckkraft

$$F_c = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_{nm} \cdot b \cdot f_{cd} = 0{,}347 \cdot 0{,}176 \cdot 0{,}393\ \text{m} \cdot 1\ \text{m} \cdot 17.000\ \text{kN/m}^2 = 408{,}0\ \text{kN/m}$$

Stahlzugkraft

Die resultierende Stahldehnung der Bestandsbewehrung kann über die Druckzonenhöhe und die Carbondehnung wie folgt berechnet werden:

$$\varepsilon_s = \frac{(d_{sl} - (\xi \cdot d_{nm})) \cdot \varepsilon_{nm}}{d_{nm} - (\xi \cdot d_{nm})} = \frac{(0{,}357\text{m} - (0{,}176 \cdot 0{,}393\ \text{m})) \cdot 3{,}716\ ‰}{0{,}393\ \text{m} - (0{,}176 \cdot 0{,}393\ \text{m})} = +3{,}303\ ‰$$

→ Stahl fließt, da $\varepsilon_s = +3{,}303\ ‰ > +0{,}915\ ‰ = \varepsilon_{yd}$ (Fließdehnung)

$$F_s = a_{sl} \cdot f_{yd} = 2{,}77\ \text{cm}^2/\text{m} \cdot 18{,}3\ \text{kN/cm}^2 = 50{,}7\ \text{kN/m}$$

Zugkraft in der Carbonbewehrung

$$F_{nm} = \varepsilon_{nm} \cdot a_{Kf,nm} \cdot E_{nm,m} = 3{,}176\ ‰ \cdot 140\ \text{mm}^2/\text{m} \cdot 206.667\ \text{N/mm}^2 = 107{,}5\ \text{kN/m}$$

Überprüfung der inneren Gleichgewichtsbedingung (Kräftegleichgewicht)

$$F_s + F_{nm} - F_c \equiv n_{Ed}$$

$50{,}7\ \text{kN/m} + 107{,}5\ \text{kN/m} - 408{,}0 = \text{kN/m} = -250\ \text{kN/m} = n_{Ed,LF2}$ → Bedingung erfüllt!

Die anfänglichen Schätzwerte der Dehnungen erfüllen den Anspruch an die innere Gleichgewichtsbedingung. Die Dehnungsverteilung muss demnach nicht neu iteriert werden.

Bestimmung des bezogenen Widerstandsmoments

Das Momentengleichgewicht wird um die Achse der Stahlbewehrung gebildet.

Abstand Carbonbewehrung – Stahlbewehrung: $a_{nm} = z_{nm} - z_s = 0{,}3688\ \text{m} - 0{,}3328\ \text{m} = 0{,}036\ \text{m}$

$$m_{Rds,LF2} = F_{nm} \cdot a_{nm} + F_c \cdot z_s$$

$$m_{Rds,LF2} = 107{,}5\ \text{kN/m} \cdot 0{,}036\ \text{m} + 408{,}0\ \text{kN/m} \cdot 0{,}3328\ \text{m} = 139{,}7\ \text{kNm/m}$$

Nachweis

$$\frac{m_{Eds,LF2}}{m_{Rds,LF2}} = \frac{120\ \text{kNm/m}}{139{,}7\ \text{kNm/m}} = 0{,}86 \le 1{,}0$$

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit im Lastfall 2 ist mit einer Auslastung von 86 % erfüllt.

8.4 Nachweis der Biegetragfähigkeit im Brandfall

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit im Brandfall wird in diesem Beispiel nicht behandelt. Es wird an dieser Stelle auf das *Merkblatt – „Nachweis der Biegetragfähigkeit carbonbetonverstärkter Konstruktionen im Brandfall“ verwiesen*.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

8.5 Nachweis der Querkrafttragfähigkeit ohne Ansatz der Carbonbetonverstärkung

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit erfolgt nach abZ/aBG [1] Anlage 5, Abschnitt 6.2.2 ohne Ansatz der Carbonbewehrung. Der Nachweis wird in diesem Beispiel an der Stelle $x = d_{sl} = 0{,}417$ m geführt. Der maßgebende Wert der einwirkenden Querkraft an dieser Stelle beträgt 70 kN/m.

Hinweis: die Laufvariable x beginnt bei diesem Beispiel am Auflagerinnenrand.

Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit des Bestandsquerschnitts

$$v_{Rd,c} = \left[\frac{0{,}15}{\gamma_c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\right)^{1/3}\right] \cdot d_{sl}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200\ \text{mm}}{d_{sl}}} = 1 + \sqrt{\frac{200\ \text{mm}}{417\ \text{mm}}} = 1{,}69 \le 2{,}0$$

$$\rho_l = \frac{a_{sl}}{d_{sl}} = \frac{0{,}0277\ \text{cm}^2/\text{cm}}{41{,}7\ \text{cm}} = 0{,}066\ \%$$

Mit
- $v_{Rd,c}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit
- k Beiwert für den Einfluss der statischen Nutzhöhe
- ρ_l Längsbewehrungsgrad
- a_{sl} Querschnittsfläche der Längsbewehrung
- f_{ck} Charakteristische Betondruckfestigkeit
- d_{sl} Statische Nutzhöhe Stahlbewehrung

$$v_{Rd,c} = \left[\frac{0{,}15}{1{,}5} \cdot 1{,}69 \cdot (100 \cdot 0{,}066\ \% \cdot 30\ \text{N/mm}^2)^{1/3}\right] \cdot 417\ \text{mm} = 88{,}49\ \text{kN/m}$$

Mindestquerkrafttragfähigkeit

$$v_{Rd,c,min} = \frac{0{,}0525}{\gamma_c} \cdot \left(k^3 \cdot f_{ck}\right)^{0{,}5} \cdot d_s = \frac{0{,}0525}{1{,}5} \cdot \left(1{,}69^3 \cdot 30\ \text{N/mm}^2\right)^{0{,}5} \cdot 417\ \text{mm} = 175{,}6\ \text{kN/m}$$

Nachweis

$$\frac{v_{Ed,LF2}}{v_{Rd}} = \frac{70\ \text{kN/m}}{175{,}6\ \text{kN/m}} = 0{,}40 \le 1{,}0$$

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit ohne Ansatz der Carbonbetonverstärkung ist für die neue Belastungssituation im Lastfall 2 mit einer Auslastung von 40 % erfüllt.

8.6 Nachweis der Schubfugentragfähigkeit

Die Einwirkungen auf die Schubfuge sind maßgeblich von der Querkraft abhängig. Jedoch kommt es erst ab dem Fließen der Bestandsbewehrung zur überproportionalen Zunahme der Zugkraft innerhalb des Carbongitters. Auf der sicheren Seite liegend, wird der Nachweis der Schubfugentragfähigkeit daher für die Einwirkungskombination $m_{Ed,LF2}$ und $v_{Ed,LF2}$ im Lastfall 2 geführt. Dieser Nachweis stellt den oberen Grenzwert der Einwirkung dar. Sofern dieser Nachweis nicht erfüllt wird, ist es notwendig, die Schubfugentragfähigkeit an den maßgebenden Stellen zu führen. Nach abZ/aBG [1] muss die Fuge zwischen Altbeton und Verstärkung rau ausgeführt werden. Dementsprechend wird für die Ermittlung der Schubfugentragfähigkeit der Beiwert

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

c mit einem Wert von 0,4 verwendet. Die grundlegende Nachweisführung ähnelt dem in DIN EN 1992-1-1 [5], Abschnitt 6.2.5 beschriebenen Vorgehen.

Die Anwendung einer Carbonbetonverstärkung bei konkav gekrümmten Bauteilen ist zulässig, wenn nach abZ/aBG Z-31.10-182 [1] Anlage 5, Abschnitt 6.2.5 die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

(1) $1\ \text{N/mm}^2 + 5 \cdot p_{konkav} \leq f_{ctm,surf}$

(2) Der Nachweis der Schubfugentragfähigkeit nach Gleichung 6.25 der DIN EN 1992-1-1 [5] ist erfüllt für:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \text{ mit } f_{ctk,0,05} = f_{ctk,0,05,surf} - \sigma_n$$

$$\sigma_n = a_{Kf,nm} \cdot \frac{\sigma_{K,nm,k}}{r}$$

Prüfung der Bedingung 1

Der Erwartungswert des Mittelwertes (95 % Zuverlässigkeit) der Oberflächenzugfestigkeit des Betons $f_{ctm,surf}$ wurde bereits in Abschnitt 4.1 dieses Beispiels bestimmt. Dieser beträgt 2,16 N/mm².

Die Umlenkspannung p_{konkav} wird wie folgt ermittelt:

$$p_{konkav} = a_{Kf,nm} \cdot f_{nm,k} \cdot \frac{1{,}5}{r}$$

Mit $a_{Kf,nm}$ Querschnittsfläche der Gitter in Kettrichtung

$f_{nm,k}$ Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Carbongitter

r Krümmungsradius der konkaven Bauteiloberfläche, hier: r = 15,4 m

$$p_{konkav} = 140\ \text{mm}^2/\text{m} \cdot 1.550\ \text{N/mm}^2 \cdot \frac{1{,}5}{15{,}4\ \text{m}} = 21.136\ \text{N/m}^2 = 0{,}021\ \text{N/mm}^2$$

Prüfung der Bedingung:

$1\ \text{N/mm}^2 + 5 \cdot 0{,}021\ \text{N/mm}^2 = 1{,}11\ \text{N/mm}^2 \leq 2{,}16\ \text{N/mm}^2 = f_{ctm,surf} \rightarrow$ Bedingung erfüllt!

Prüfung der Bedingung 2 über den Nachweis der Schubfugentragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1 [5]

Der Bemessungswert der Betonzugfestigkeit wird für konkav gekrümmte Bauteile wie folgt ermittelt:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \text{ mit } f_{ctk,0,05} = f_{ctk,0,05,surf} - \sigma_n \quad \text{mit} \quad \sigma_n = a_{Kf,nm} \cdot \frac{\sigma_{K,nm,k}}{r}$$

Mit $\sigma_{K,nm,k}$ Zugspannung in den Fasersträngen des Carbongitters an der Stelle der konkaven Krümmung der Carbonbetonschicht unter der seltenen Einwirkungskombination, hier: $\sigma_{K,nm,k}$ = 414 N/mm²

$$\sigma_n = 140\ \text{mm}^2/\text{m} \cdot \frac{414\ \text{N/mm}^2}{15{,}4\ \text{m}} = 0{,}0038\ \text{N/mm}^2$$

Aus den in Abschnitt 4.1 aufgeführten Messwerten zur Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit kann nach DIN EN 1990 [7], Tabelle D.1 (V_x unbekannt) der charakteristische Wert der Haftzugfestigkeit $f_{ctk;0,05}$ bestimmt werden. Die Messwerte sind der Übersichtlichkeit halber nachfolgend noch einmal dargestellt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Tabelle 4: Einzelwerte der Prüfungen am Bauteil zur Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit (s. Tabelle 1)

Anzahl der Prüfungen n	1	2	3	4	5
$f_{ctm,surf,i}$ [N/mm²]	2,10	2,30	2,25	2,45	2,10

Statistische Auswertung der Stichproben nach DIN EN 1990 [7], Tabelle D.1 (V_x unbekannt)

- Arithmetisches Mittel: $m_x = 2{,}24$ N/mm²
- Standardabweichung des Stichprobenumfangs: $s = 0{,}15$
- Faktor: $k_n\ (n = 5) = 2{,}33$
- Charakteristischer Wert der Haftzugfestigkeit (5 %-Fraktil)

$f_{ctk;0,05} = m_x - k \cdot s = 2{,}24$ N/mm² $- 2{,}33 \cdot 0{,}15 = 1{,}89$ N/mm²

Bestimmung der Schubfugentragfähigkeit

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} = c \cdot \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 0{,}4 \cdot 0{,}85 \cdot \frac{1{,}89\ \text{N/mm}^2 - 0{,}0038\ \text{N/mm}^2}{1{,}50} = 0{,}423\ \text{N/mm}^2$$

Bestimmung der Bemessungsschubspannung

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{z_{ges}}$$

$$\beta = \frac{F_{nm}}{F_s + F_{nm}} = \frac{57{,}9\ \text{kN/m}}{50{,}7\ \text{kN/m} + 57{,}9\ \text{kN/m}} = 0{,}533$$

$$V_{Ed} = v_{Ed,LF2} = 70\ \text{kN/m}$$

$$z_{ges} = z_s \cdot \frac{F_s}{F_s + F_{nm}} + z_{nm} \cdot \frac{F_{nm}}{F_s + F_{nm}}$$

$$= 0{,}328\text{m} \cdot \frac{50{,}7\ \text{kN/m}}{(50{,}7\ \text{kN/m} + 57{,}9\ \text{kN/m})} + 0{,}364\ \text{m} \cdot \frac{57{,}9\ \text{kN/m}}{(50{,}7\ \text{kN/m} + 57{,}9\ \text{kN/m})} = 0{,}347\ \text{m}$$

Mit β Verhältnis der Zugkraft in der Verstärkungsschicht zu der Gesamtzugkraft in der Zugzone

V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

z_{ges} Innerer Hebelarm des Gesamtquerschnitts

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot v_{Ed,LF2}}{z_{ges}} = \frac{0{,}533 \cdot 70\ \text{kN/m}}{0{,}347\ \text{m}} = 0{,}107\ \text{N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{v_{Edi}}{v_{Rdi}} = \frac{0{,}107\ \text{N/mm}^2}{0{,}423\ \text{N/mm}^2} = 0{,}25 \le 1{,}0$$

Der Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge ist mit einer Auslastung von 25 % erfüllt. Die Bedingung 2 ist erfüllt und die konkav gekrümmte Fläche kann mit Carbonbeton verstärkt werden.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

8.7 Nachweis gegen Versatzbruch

Nach Anlage 5, Abschnitt 5.12 der abZ/aBG [1] muss die senkrecht zur Ebene der Carbonbetonschicht wirkende Zugspannung am Ende der Verstärkungsschicht in der Bemessung berücksichtigt werden. In diesem Bereich kann es andernfalls infolge dieser abhebenden Kräfte zur Ausbildung eines Versatzbruchs kommen, bei dem sich der Beton von der Bestandsbewehrung ablöst.

Ermittlung des Widerstandes gegen Versatzbruch[4]

$$v_{Rd,c,nm} = 0{,}75 \cdot \left(1 + 19{,}6 \cdot \frac{\left(100 \cdot \rho_l\right)^{0{,}15}}{a_{nm}{}^{0{,}36}}\right) \cdot v_{Rd,c}$$

Mit ρ_l Längsbewehrungsgrad der Bestandsbewehrung, d. h. ohne Anrechnung der Carbonbewehrungsfläche

a_{nm} Abstand des Endes der Carbonbewehrung von der Mitte des Endauflagers (hier: halbe Auflagerbreite)

$$v_{Rd,c,nm} = 0{,}75 \cdot \left(1 + 19{,}6 \cdot \frac{(100 \cdot 0{,}077\ \%)^{0{,}15}}{(250\ \text{mm})^{0{,}36}}\right) \cdot 175{,}6\ \text{kN/m} = 372{,}4\ \text{kN/m}$$

Nachweis

$$\frac{v_{Ed,LF2}}{v_{Rd,c,nm}} = \frac{70\ \text{kN/m}}{372{,}4\ \text{kN/m}} = 0{,}19 \le 1{,}0$$

Der Nachweis gegen Versatzbruch ist mit einer Auslastung von 19 % erfüllt.

9 Bemessung in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Entsprechend Abschnitt 7.2 wird die Einhaltung der durch die DIN EN 1992-1-1 [5] vorgegebenen Nachweise zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit an dieser Stelle vom Bestand als erfüllt angesehen. Eine Verstärkung zur Sicherstellung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit wird in diesem Beispiel nicht beschrieben.

10 Allgemeine Bewehrungs- und Konstruktionsregeln

10.1 Nachweis der Verankerung der Längsbewehrung

Die Verankerung der Carbonbewehrung erfolgt ab jenem Punkt *x*, ab welchem keine zusätzliche Carbonbewehrung mehr zur Aufnahme des vorhandenen Biegemomentes benötigt wird. Im Vorfeld wurde der Punkt *x* bestimmt, ab dem die maximale Biegetragfähigkeit des Bestands von 57 kNm/m überschritten wird. Dieser liegt 1,30 m entfernt vom Auflagerrand des Tragbogens. Die Dicke des Querschnitts (inklusive der Aufbetonschicht und Verstärkung) beträgt an dieser Stelle 41,6 cm. Durch die Iteration der Dehnungsebenen wird die Spannung im Carbongitter ermittelt, welche durch den Bestand verankert werden muss.

Einwirkende Schnittgrößen: $m_{Ed} = 57$ kNm/m

$n_{Ed} = -150$ kN/m

Statische Nutzhöhe Bestandsbewehrung: $d_{sl} = 0{,}377$ m

[4] Ermittlung gemäß [1], Anlage 5, Gleichung aBG 6.121

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Schätzung der Dehnungsverteilung

ε_{nm} = + 1,157 ‰

ε_c = - 0,323 ‰

Bezogene Druckzonenhöhe

$$\xi = \frac{-\varepsilon_c}{-\varepsilon_c + \varepsilon_{nm}} = \frac{0{,}323}{0{,}323 + 1{,}157} = 0{,}2182$$

Völligkeitsbeiwert

$$\alpha_R = \frac{|\varepsilon_c| \cdot (6 - |\varepsilon_c|)}{12} = \frac{0{,}323 \cdot (6 - 0{,}323)}{12} = 0{,}1528$$

Höhenbeiwert

$$k_a = \frac{8 - |\varepsilon_c|}{4 \cdot (6 - |\varepsilon_c|)} = \frac{8 - 0{,}323}{4 \cdot (6 - 0{,}323)} = 0{,}338$$

Angriffspunkt Betondruckkraft

$a = k_a \cdot \xi \cdot d_{nm}$ = 0,338 · 0,2182 · 0,413 m = 0,03 m

Innerer Hebelarm der Bewehrungsebenen

Stahlbewehrung: $z_s = d_{sl} - a$ = 0,377m - 0,03 m = 0,347 m

Carbonbewehrung: $z_{nm} = d_{nm} - a$ = 0,413 m - 0,03 m = 0,383 m

Betondruckkraft

$F_c = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_{nm} \cdot b \cdot f_{cd}$ = 0,1528· 0,2182 · 0,413 m · 1 m · 17.000 kN/m² = 234,1 kN/m

Stahlzugkraft

Die resultierende Stahldehnung der Bestandsbewehrung kann über die Druckzonenhöhe und die Carbondehnung wie folgt berechnet werden:

$$\varepsilon_s = \frac{(d_{sl} - (\xi \cdot d_{nm})) \cdot \varepsilon_{nm}}{d_{nm} - (\xi \cdot d_{nm})} = \frac{(0{,}377\text{m} - (0{,}2182 \cdot 0{,}413\text{ m})) \cdot 1{,}157\text{ ‰}}{0{,}413\text{ m} - (0{,}2182 \cdot 0{,}413\text{ m})} = +1{,}028\text{ ‰}$$

→ Stahl fließt, da ε_s = + 1,028 ‰ > + 0,915 ‰ = ε_{yd} (Fließdehnung)

$F_s = a_{sl} \cdot f_{yd}$ = 2,77 cm²/m · 18,3 kN/cm² = 50,7 kN/m

Zugkraft in der Carbonbewehrung

$F_{nm} = \varepsilon_{nm} \cdot a_{Kf,nm} \cdot E_{nm,m}$ = 1,157 ‰ · 140 mm²/m · 206.667 N/mm² = 33,5 kN/m

Überprüfung der Gleichgewichtsbedingungen

Kräftegleichgewicht

$F_s + F_{nm} - F_c \equiv n_{Ed}$

50,7 kN/m + 33,5 kN/m - 234,1 kN/m = -150 kN/m = n_{Ed} → Bedingung erfüllt!

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Momentengleichgewicht um Achse der Betondruckkraft

Abstand Schwerelinie – Angriffspunkt Betondruckkraft: $a_n = \frac{h}{2} - a = \frac{41{,}6\text{ cm}}{2} - 3{,}0\text{ cm} = 17{,}8\text{ m}$

$F_s \cdot z_s + F_{nm} \cdot z_{nm} - n_{Ed} \cdot a_n \equiv m_{Ed,LF2}$

$50{,}7\text{ kN/m} \cdot 0{,}347\text{ m} + 33{,}5\text{ kN/m} \cdot 0{,}383\text{ m} + 150\text{ kN/m} \cdot 0{,}178\text{ m} = 57\text{ kNm/m} = m_{Ed,LF2}$

→ Bedingung erfüllt!

Die anfänglichen Schätzwerte der Dehnungen erfüllen den Anspruch an die Gleichgewichtsbedingungen. Die Dehnungsverteilung muss demnach nicht neu iteriert werden.

Bestimmung des Grundwertes der Verankerungslänge

Zu verankernde Spannung im Carbongitter:

$$\sigma_{nm} = E_{nm} \cdot \varepsilon_{nm} = 206.667\text{ N/mm}^2 \cdot 1{,}157\text{ ‰} = 239\text{ N/mm}^2$$

Notwendige Verankerungslänge:

$$l_{b,nm,rqd} = \frac{\sigma_{nm} \cdot A_{nm,K}}{T_{nm,bd}} = \frac{239\text{ N/mm}^2 \cdot 1{,}80\text{ mm}^2}{0{,}6\text{ N/mm}} = 0{,}72\text{ m}$$

Zur Berücksichtigung der zusätzlichen Zugkraft ΔF_t infolge der Querkraft wird das Versatzmaß $a_l = d_{nm}$ bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Verankerungslänge berücksichtigt.

Bemessungswert der Verankerungslänge[5]

$$l_{bd} = l_{b,nm,rqd} + d_{nm} = 0{,}72 + 0{,}413\text{ m} = 1{,}13\text{ m} \geq 100\text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{l_{bd}}{l_{vorh}} = \frac{1{,}13\text{ m}}{1{,}30\text{ m}} = 0{,}87 \leq 1{,}0$$

Der Nachweis der Verankerung der Carbonbewehrung ist mit einer Auslastung von 87 % erfüllt.

Weiterhin ist hinsichtlich der Bewehrungs- und Konstruktionsregeln anzumerken, dass ein Einschneiden der Zugkraftdeckungslinie nicht zulässig ist.

10.2 Nachweis der Verankerung der Bestandsbewehrung am Endauflager

Der Nachweis zur Verankerung der Bestandsbewehrung am Endauflager ist identisch zu DIN EN 1992-1-1 [5] zu führen und wird an dieser Stelle nicht explizit aufgeführt.

10.3 Querbewehrung

Auch bei verstärkten Bauteilen sind bei einachsig gespannten Platten 20 % der Bestandsstahlbewehrung als Querbewehrung nachzuweisen. Fehlende Querbewehrung darf durch Carbonbewehrung ersetzt werden. Nachfolgend wird überprüft, ob ausreichend Querbewehrung im Bestand vorhanden ist.

$a_{sq,erf} = 0{,}2 \cdot a_{sl} = 0{,}2 \cdot 9{,}24\text{ cm}^2/\text{m} = 1{,}85\text{ cm}^2/\text{m} < 1{,}88\text{ cm}^2/\text{m} = a_{sq,vorh}$ → Bedingung erfüllt!

[5] Bedingung gemäß [1], Anlage 5, Abschnitt 8.4.4

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

10.4 Stöße und mechanische Verbindungen

Auf Grund der Flexibilität des vorliegenden Carbongitters, kann das Material als Rollenware für den Einbau geliefert werden. Die Mattenlänge kann daher an die Länge des Tragbogens angepasst werden, sodass in Längsrichtung (Kettrichtung) keine Übergreifungsstöße erforderlich werden.

In Querrichtung (Schussrichtung) wird konstruktiv eine Übergreifung der Carbongitter von 10 cm vorgesehen.

Bei dem Einbau und der Handhabung der Carbongitter ist darauf zu achten, dass der kleinste Biegedurchmesser von 30 mm nicht unterschritten wird.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

[2] DIN EN 1542 (1999-07): Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch

[3] Schnell, J.; Fischer, A.; Loch, M.: *Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf Bestandsbauten im Hochbau*, Fraunhofer IRB Verlag, 2009

[4] DIN EN 1991-1-1 (2010-12): Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau

[5] 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

[6] Curbach, M.; Schumann, A.; May, S.; Müller, E.; Schütze, E.; Wagner, J.: *Verstärken mit Carbonbeton* in: Betonkalender 2022, S. 761-804, Ernst & Sohn

[7] DIN EN 1990 (2021-10): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

ANHANG 3.01-2 BEISPIEL 2	Bemessung einer Carbonbetonverstärkung unter Anwendung eines CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitters

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521
Stand: 07.01.2025

Bei dem nachfolgenden Dokument handelt es sich um ein Beispiel, welches die Bemessung einer Carbonbetonverstärkungsschicht auf Basis der aktuell gültigen abZ/aBG Z-31.10-182 „CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“ [1] umfasst. Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

1 Ausgangssituation

In einem Bürogebäude soll ein ehemaliger Büroraum umgenutzt werden. Die Nutzlast wird durch diese neue Belastung signifikant gesteigert, wodurch die Decke nachträglich verstärkt werden muss. An der Unterseite der Decke soll eine Carbonbetonschicht angebracht werden. Die Ausführung und Bemessung erfolgt nach abZ/aBG Z-31.10-182 [1].

Bestandsunterlagen inklusive statischer Berechnungen liegen nur bedingt vor. Die Bestandsdecke ist als einachsig gespannte einfeldrige Platte ausgeführt. Die Belastungen im trockenen Innenraum sind als vorwiegend ruhend zu betrachten.

Die nachfolgenden Berechnungen werden auf einen Streifen von 1 m Breite bezogen.

2 Systemlängsschnitt und statisches System

In der nachfolgenden Abbildung sind der Längsschnitt durch die Decke sowie das statische System der Decke dargestellt.

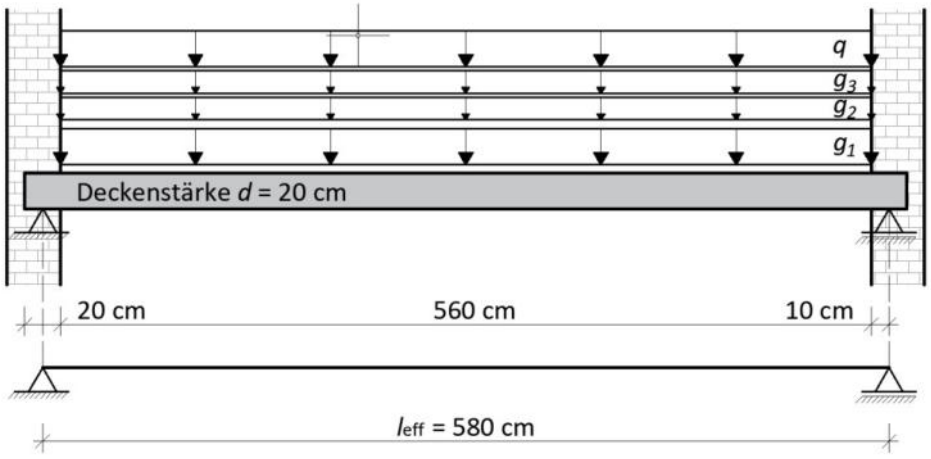


Abbildung 1: Oben: Längsschnitt durch die Decke mit einwirkenden Lasten, unten: statisches System der Decke in Längsrichtung

3 Effektive Stützweite

Die effektive Stützweite wird wie folgt bestimmt:

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2 = 5{,}60\ m + 0{,}10\ m + 0{,}10\ m = 5{,}80\ m$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

4 Baustoffe der Bestandskonstruktion

4.1 Beton

Oberflächenzugfestigkeit

Der Erwartungswert des Mittelwertes (95 % Zuverlässigkeit) der Oberflächenzugfestigkeit des Betons $f_{ctm,surf}$ muss nach Abschnitt 1.2 der abZ/aBG [1] größer sein als 1,0 N/mm². Aufschluss über die Oberflächenzugfestigkeit des Bestandsbetons geben Bauteilprüfungen gemäß DIN EN 1542 [2]. Die Einzelwerte der Prüfungen sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Einzelwerte der Oberflächenzugfestigkeit des Bestandsbetons aus der Prüfung am Bauteil

Anzahl der Prüfungen n	1	2	3	4	5
$f_{ctm,surf,i}$ [N/mm²]	2,70	2,10	2,20	2,50	2,50

Statistische Auswertung der Stichproben nach abZ/aBG [1], Anhang 6:

- Arithmetisches Mittel: $m_x = 2{,}40$ N/mm²
- Standardabweichung des Stichprobenumfangs: $s = 0{,}24$
- Faktor: $k_n\ (n = 5) = 0{,}953$
- Erwartungswert des Mittelwertes (95 % Zuverlässigkeit):

  $f_{ctm,surf} = m_x - k_n \cdot s = 2{,}40 \text{ N/mm²} - 0{,}953 \cdot 0{,}24 = 2{,}17 \text{ N/mm²} > 1{,}0 \text{ N/mm²}$

Betondruckfestigkeit

Aus den Bestandsunterlagen geht hervor, dass es sich bei dem Bestandsbeton um einen B35 nach DIN 1045 (1988-07) [3] handelt. Die Bauteilprüfung gemäß DIN EN 1542 [2] ergab die Einordnung des Betons in die heutige Festigkeitsklasse C30/37. Daraus ergeben sich folgende Eigenschaften:

Charakteristische Druckfestigkeit: $f_{ck} = 30$ N/mm²

Teilsicherheitsbeiwert (ständig und vorrübergehend): $\gamma_c = 1{,}5$

Bemessungsdruckfestigkeit: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85 \cdot \frac{30 \text{ N/mm}^2}{1{,}5} = 17$ N/mm²

E-Modul: $E_{cm} = 33.000$ N/mm²

4.2 Bestandsstahl

Nach DIN 1045 (1988-07) [3] bzw. DIN 488-2 (1986-06) [4] handelt es sich bei dem Bestandsstahl um einen BSt 500 S (IV S, nicht verwunden). Die Eigenschaften sind wie folgt definiert:

Charakteristische Streckgrenze: $f_{yk} = 500$ N/mm²

Teilsicherheitsbeiwert (ständig und vorrübergehend): $\gamma_s = 1{,}15$

Bemessungsfestigkeit: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ N/mm}^2}{1{,}15} = 435$ N/mm²

E-Modul: $E_{sm} = 200.000$ N/mm²

Bestandsuntersuchungen ergaben die folgende Bewehrungsmengen:

Längsbewehrung: $a_{sl} = 7{,}54$ cm²/m (Ø12-15)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Querbewehrung: a_{sq} = 1,88 cm²/m (Ø6-15)

Lage der vorhandenen Bewehrung:

Die Betondeckung der Längsbewehrung $c_{nom,l}$ ist in den Bestandsunterlagen mit 2,0 cm angegeben. Dieser Wert wurde vor Ort überprüft und bestätigt, sodass für die Bemessung Folgendes angesetzt wird:

Betondeckung Bestandsbewehrung (längs): $c_{nom,l}$ = 2,0 cm

Statische Nutzhöhe (längs): d_{sl} = 17,4 cm

Ein Ausschnitt des Bestandsquerschnitts ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

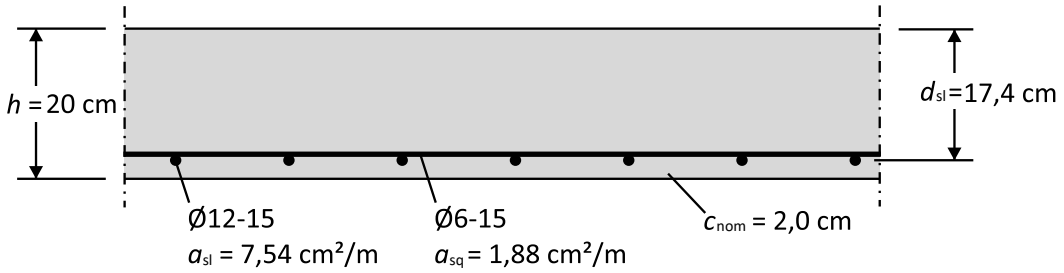


Abbildung 2: Ausschnitt des Bestandsquerschnitts der Decke

5 Verstärkungssystem

Für die Verstärkung der Deckenplatte wird der Verbundwerkstoff Carbonbeton gewählt. Da es sich bei der Decke um ein ebenes Bauteil handelt, wird die Verstärkung mit Carbongittern des CARBOrefit®-Typ 3 geplant. Die hohen mechanischen Eigenschaften und Bemessungswerte dieses Typs gewährleisten eine effiziente und wirtschaftliche Verstärkung. Zunächst wird angenommen, dass eine einlagige Verstärkungsschicht ausreichend ist, um die Tragfähigkeit der Decke unter der neuen Belastungssituation sicherzustellen. Gemäß abZ/aBG [1], Abschnitt 3.1 beträgt die erforderliche Mindestbetondeckung der CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter 5 mm. Daraus ergibt sich bei einer einlagigen Verstärkungsschicht eine Schichtdicke von 10 mm. Bei mittiger Lage der Carbonbewehrung beträgt die statische Nutzhöhe d_{nm} 20,5 cm. Die einlagige Carbonbetonverstärkungsschicht besteht aus einer Schicht Feinbeton, einer Lage Carbonbewehrung und einer zweiten Schicht Feinbeton. Das Verstärkungssystem ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Die nach abZ/aBG Z.31.10-182 [1] verwendeten Materialien werden in Abschnitt 5.1 und 5.2 genauer vorgestellt.

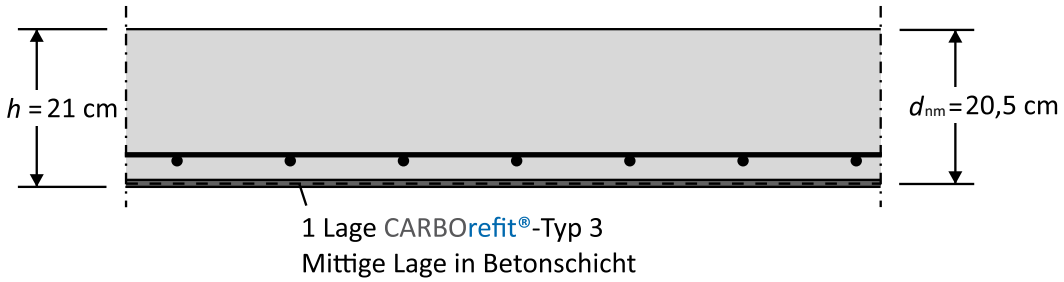


Abbildung 3: Ausschnitt des verstärkten Querschnitts mit unterseitiger, einlagiger Verstärkungsschicht

5.1 Feinbeton

Es wird der in der abZ/aBG [1], Abschnitt 2.1.3 geregelte CARBOrefit®-Feinbeton verwendet.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

5.2 Carbongitter

Für die Verstärkung werden die in der abZ/aBG [1] geregelten CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter in Regelausführung[1] verwendet. Es ist anzumerken, dass im Rahmen der abZ/aBG [1], Abschnitt 3.2 nur die Faserstränge des Carbongitters in Kettrichtung für die Bemessung der Verstärkungsschicht herangezogen werden dürfen. Die für die Bemessung wichtigen geometrischen Eigenschaften[2] der CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter in Regelausführung in Kettrichtung sind:

Querschnittsfläche Faserstrang Kettrichtung: $A_{Kf,nm}$ = 1,8 mm²

Querschnittsfläche Gitter Kettrichtung: $a_{Kf,nm}$ = 140 mm²/m

Weitere für die Bemessung relevante Eigenschaften[3] sind:

Charakteristische Zugfestigkeit: $f_{nm,k}$ = 2.250 N/mm²

Charakteristische Verbundfestigkeit: $T_{nm,b,k}$ = 10 N/mm

Teilsicherheitsbeiwert (ständig und vorübergehend): $\gamma_{nm,t}$ = 1,20 für Zug

$\gamma_{nm,b}$ = 1,50 für Verbund

E-Modul: $E_{nm,m}$ = 206.667 N/mm²

Die Ermittlung der Bemessungszugfestigkeit und der Bemessungsverbundfestigkeit der Carbongitter erfolgt über Abminderungsfaktoren. Diese variieren je nach Carbongitter-Typ und können der Tabelle 4 der abZ/aBG [1] entnommen werden. Für das in diesem Beispiel verwendete CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter sind die Abminderungsfaktoren für die Zug- und Verbundfestigkeit nachfolgend zusammengefasst.

Abminderungsbeiwerte für die Zugfestigkeit

$\alpha_{nm,T,t}$ = 1,00 $\alpha_{nm,t\infty,t}$ = 0,70 $\alpha_{nm,D,t}$ = 1,00

Mit $\alpha_{nm,T,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Temperatur

$\alpha_{nm,t\infty,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Dauerlast

$\alpha_{nm,D,t}$ Abminderungsfaktor der Zugfestigkeit infolge Dauerhaftigkeit

Abminderungsbeiwerte für die Verbundfestigkeit

$\alpha_{nm,T,b}$ = 1,00 $\alpha_{nm,t\infty,b}$ = 0,70 $\alpha_{nm,D,b}$ = 1,00

Mit $\alpha_{nm,T,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Temperatur

$\alpha_{nm,t\infty,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Dauerlast

$\alpha_{nm,D,b}$ Abminderungsfaktor der Verbundfestigkeit infolge Dauerhaftigkeit

Bemessungszugfestigkeit

$$f_{nm,d} = \alpha_{nm,T,t} \cdot \alpha_{nm,t\infty,t} \cdot \alpha_{nm,D,t} \cdot \frac{f_{nm,k}}{\gamma_{nm,t}} = 1{,}00 \cdot 0{,}70 \cdot 1{,}00 \cdot \frac{2.250\,\text{N/mm}^2}{1{,}20} = 1.300\ \text{N/mm}^2$$

[1] Eigenschaften gemäß [1], Abschnitt 2.1.1
[2] Siehe [1], Abschnitt 2.3.2
[3] Siehe [1], Tabelle 4

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Bemessungsverbundfestigkeit

$$T_{nm,b,d} = \alpha_{nm,T,b} \cdot \alpha_{nm,t\infty,b} \cdot \alpha_{nm,D,b} \cdot \frac{T_{nm,b,k}}{\gamma_{nm,b}} = 1{,}00 \cdot 0{,}70 \cdot 1{,}00 \cdot \frac{10\,N/mm^2}{1{,}50} = 4{,}70\ N/mm$$

6 Lastannahmen

6.1 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Unterschieden werden die folgenden Lastfälle:

- Lastfall 1 bildet die während der Herstellung der Verstärkung vorliegende Belastungssituation ab. Die Ausbaulasten werden vereinfachend zurückgebaut und wirken in diesem Lastfall nicht. Eine Verkehrslast tritt in diesem Lastfall nicht auf und wird nicht angesetzt.
- Lastfall 2 bildet die nach der Verstärkung vorliegende Belastungssituation unter der geplanten Nutzung mit der neuen Verkehrslast ab.

Die Einwirkungen in den jeweiligen Lastfällen setzen sich wie folgt zusammen.

Tabelle 2: In den jeweiligen Lastfällen zu berücksichtigende Einwirkungen

Lastfall		1	2
Eigengewicht der Decke $g_{k,1}$	[kN/m²]	5,00	5,00
Eigengewicht der Verstärkungsschicht $g_{k,2}$	[kN/m²]	0,24	0,24
Ausbaulast $g_{k,3}$	[kN/m²]	-	1,50
Verkehrslast vor / nach der Verstärkung q	[kN/m²]	-	7,00

Das Eigengewicht der Verstärkungsschicht resultiert aus einer einlagigen Carbonbetonschicht mit einer Schichtdicke von 1 cm, deren Wichte 24 kN/m³ beträgt.

6.2 Teilsicherheitsbeiwerte zur Ermittlung der Bemessungswerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte werden in der Schnittgrößenermittlung berücksichtigt:

Tabelle 3: Zusammenfassung der Teilsicherheitsbeiwerte zur Ermittlung der Schnittgrößen

Einwirkung	günstig	ungünstig
ständig	$\gamma_{G,inf} = 1{,}0$	$\gamma_{G,sup} = \mathbf{1{,}35}$
veränderlich	$\gamma_{Q,inf} = 0{,}0$	$\gamma_{Q,sup} = \mathbf{1{,}50}$

Zur Ermittlung der Schnittgrößen werden die Teilsicherheitsbeiwerte für ungünstige Einwirkungen angesetzt.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

7 Schnittgrößenermittlung

7.1 Bemessungsschnittgrößen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Die Schnittgrößen werden auf einen Plattenstreifen von 1 m bezogen.

Lastfall 1

$$m_{Ed,LF1} = \frac{\left(1{,}35 \cdot (5{,}00\,kN/m^2 + 0{,}24\,kN/m^2)\right) \cdot (5{,}80\,m)^2}{8 \cdot 1\,m} = 29{,}75\,kNm/m$$

$$v_{Ed,LF1} = \frac{4 \cdot 29{,}75\,kNm/m}{5{,}80\,m \cdot 1\,m} = 20{,}52\,kN/m$$

Lastfall 2

$$m_{Ed,LF2} = \frac{(1{,}35 \cdot (5{,}00\,kN/m + 0{,}24\ kN/m\ + 1{,}50\ kN/m) + 1{,}50 \cdot 7{,}00\,kN/m) \cdot (5{,}80\,m)^2}{8}$$

$$= 82{,}41\,kNm/m$$

$$v_{Ed,LF2} = \frac{4 \cdot 82{,}41\,kNm/m}{5{,}80\,m} = 56{,}84\,kN/m$$

Tabelle 4: Zusammenfassung der Schnittgrößen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Lastfall		1	2
Maximales Feldmoment m_{Ed}	[kNm/m]	29,75	82,41
Querkraft v_{Ed}	[kN/m]	20,52	56,84

7.2 Schnittgrößen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Die Schnittgrößen für Lastfall 1 und 2 in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit werden in der charakteristischen Einwirkungskombination gebildet.

Lastfall 1

$$m_{d,LF1} = \frac{(5{,}00\,kN/m + 0{,}24\,kN/m) \cdot (5{,}80\,m)^2}{8 \cdot 1\,m} = 22{,}03\,kNm/m$$

$$v_{d,LF1} = \frac{4 \cdot 22{,}03\,kNm}{5{,}80\,m \cdot 1\,m} = 15{,}20\,kN/m$$

Lastfall 2

$$m_{d,LF2} = \frac{(5{,}00\,kN/m + 0{,}24\,kN/m + 1{,}50\,kN/m + 7{,}00\,kN/m) \cdot (5{,}80\,m)^2}{8 \cdot 1\,m} = 57{,}78\,kNm/m$$

$$v_{d,LF2} = \frac{4 \cdot 57{,}78\,kNm}{5{,}80\,m \cdot 1\,m} = 39{,}85\,kN/m$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Schnittgrößen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Lastfall		1	2
Maximales Feldmoment m_d (charakt.)	[kNm/m]	22,03	57,78
Querkraft v_d (charakt.)	[kN/m]	15,20	39,85

8 Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

8.1 Ermittlung des Vordehnungszustandes

Der Vordehnungszustand des Bestandsquerschnitts wird zum Zeitpunkt der Verstärkung unter Berücksichtigung des Eigengewichts des Bestands sowie der Verstärkung unter der charakteristischen Belastung im GZG bestimmt. Die Ermittlung der Vordehnung kann auf unterschiedliche Art und Weise berechnet werden. Im Zuge dieses Beispiels wird die Ermittlung der Vordehnung über eine geschlossene Lösung dargestellt. Die geschlossene Lösung bietet die Möglichkeit, die Vordehnung ohne Iteration der Dehnungsebenen abzuschätzen. Zugrunde gelegt wird hier ein linearer Betonspannungsverlauf.

Verhältnis der Steifigkeiten Bestandsstahl zu Bestandsbeton

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000\ \text{N/mm}^2}{33.000\ \text{N/mm}^2} = 6{,}06$$

Bestimmung der Druckzonenhöhe

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d_s}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right)$$

Bewehrungsfläche: $A_{s1} = 7{,}54\ \text{cm}^2$

Bauteilbreite: $b = 100\ \text{cm}$

Statische Nutzhöhe: $d_{sl} = 17{,}4\ \text{cm}$

$$x = \frac{6{,}06 \cdot 7{,}54\ \text{cm}^2}{100\ \text{cm}} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100\ \text{cm} \cdot 17{,}4\ \text{cm}}{6{,}06 \cdot 7{,}54\ \text{cm}^2}} \right) = 3{,}56\ \text{cm}$$

Bestimmung des inneren Hebelarms

$$z = d_{sl} - \frac{x}{3} = 17{,}4\ \text{cm} - \frac{3{,}56\ \text{cm}}{3} = 16{,}21\ \text{cm}$$

Vordehnung Stahlbewehrung

$$\varepsilon_{s,0} = \frac{\frac{m_{d,LF1}}{E_s}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{\frac{22.030\ \text{Nm/m}}{200.000\ \text{N/mm}^2}}{16{,}21\ \text{cm} \cdot 7{,}54\ \text{cm}^2/\text{m}} = 0{,}901\ ‰$$

Vordehnung Betondruckzone:

$$\varepsilon_{c,0} = -\frac{2 \cdot \frac{m_{d,LF1}}{E_c}}{b \cdot x \cdot z} = -\frac{2 \cdot \frac{22.030\ \text{Nm/m}}{33.000\ \text{N/mm}^2}}{100\ \text{cm} \cdot 3{,}56\ \text{cm} \cdot 16{,}21\ \text{cm}} = -0{,}231\ ‰$$

Bestimmung der fiktiven Vordehnung der Carbonbewehrung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

$$\varepsilon_{nm,0} = \varepsilon_{s,0} + \frac{d_{nm} - d_{sl}}{d_{sl}} \cdot (\varepsilon_{s,0} - \varepsilon_{c,0}) = 0{,}901\ ‰ + \frac{205\ mm - 174\ mm}{174\ mm} \cdot (0{,}901\ ‰ + 0{,}231\ ‰) = 1{,}103\ ‰$$

8.2 Überschlägiger Nachweis der Biegetragfähigkeit im Bauzustand (Lastfall 1)

Um sicherzustellen, dass die im Bauzustand auftretenden Lasten durch den Bestand aufgenommen werden können, wird überschlägig der Nachweis der Biegetragfähigkeit im Lastfall 1 ohne Ansatz der Carbonbetonverstärkung geführt. Die Nachweisführung erfolgt ohne Berücksichtigung der Ausbaulasten, da diese zum Zeitpunkt der Herstellung der Verstärkungsschicht zurück gebaut sind.

Für die Beurteilung der Tragfähigkeit im Bauzustand wird überschlägig das maximal vom Bestand aufnehmbare Moment bestimmt.

Überschlägige Bestimmung des maximal vom Bestand aufnehmbaren Moments

$$z_s \approx 0{,}90 \cdot d_{sl} = 0{,}90 \cdot 0{,}174\ m = 0{,}157\ m$$

$$m_{Rd,LF1} \approx z_s \cdot F_s \approx z_s \cdot a_s \cdot \sigma_s \approx 0{,}157\ m \cdot 7{,}54\ cm^2/m \cdot 43{,}5\ kN/cm^2 \approx 51{,}28\ kNm/m$$

Das in Lastfall 2 maximal auftretende Moment beträgt 29,75 kNm/m.

Nachweis

$$\frac{m_{Ed,LF1}}{m_{Rd,LF1}} = \frac{29{,}75\ kNm/m}{51{,}28\ kNm/m} = 0{,}58 \leq 1{,}0$$

Der überschlägige Nachweis der Biegetragfähigkeit in Lastfall 1 ist mit einer Auslastung von 58 % erfüllt, sodass die Tragfähigkeit der Bestandskonstruktion im Bauzustand gegeben ist.

8.3 Nachweis der Biegetragfähigkeit der carbonbetonverstärkten Konstruktion (Lastfall 2)

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit der carbonbetonverstärkten Konstruktion erfolgt über die Iteration der Dehnungsebenen. Über die in Abschnitt 8.2 überschlägig ermittelte Biegetragfähigkeit der Bestandskonstruktion von 51,28 kNm/m kann eine erste Abschätzung über die erforderliche Carbonbewehrungsmenge erfolgen.

Aus dem maximal in diesem Lastfall auftretenden Moment von 82,41 kNm/m infolge der geplanten Umnutzung folgt ein Defizit von 31,13 kNm/m, welches durch die Carbonbetonverstärkung aufgenommen werden soll. Über den inneren Hebelarm z_{nm} der Carbonbewehrung ist ein Abschätzen der erforderlichen Carbonbewehrungsfläche möglich.

$$z_{nm} \approx 0{,}90 \cdot d_{nm} = 0{,}90 \cdot 0{,}205\ m = 0{,}185\ m$$

Abschätzen der erforderlichen Carbongitterfläche

$$a_{Kf,nm,erf} \approx \frac{m_{Defizit}}{z_{nm} \cdot f_{nm,d}} \approx \frac{31{,}13\ kNm/m}{0{,}185\ m \cdot 130{,}0\ kN/cm^2} \approx 1{,}29\ cm^2/m = 129\ mm^2/m$$

Nach dieser Überschlagsrechnung ist eine einlagige Carbonbetonschicht mit einem CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter mit einer Bewehrungsfläche in Kettrichtung $a_{Kf,nm}$ von 140 mm²/m ausreichend.

Mit dieser Bewehrungsfläche wird der Nachweis der Biegetragfähigkeit im verstärkten Zustand geführt, in dem die maximale Biegetragfähigkeit des verstärkten Querschnitts bestimmt wird. Die maximale Tragfähigkeit ist erreicht, wenn entweder die Grenzdehnung des Betons ε_{cu}, des Bestandsstahls ε_{su} oder der Carbonbewehrung $\varepsilon_{nm,u}$ erreicht ist.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Die nachfolgenden Formeln sind nur für Biegung ohne Längskraft anzuwenden. Im Falle, dass Biegung mit Längskraft auftritt und/oder eine Druckbewehrung im Bestand vorliegt, sind die Formeln um die entsprechenden Anteile zu erweitern. Für weitere Informationen wird auf [5] sowie das Beispiel 1 *„Bemessung und Anwendung eines CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitters“* verwiesen.

Schätzung der Dehnungsverteilung

$\varepsilon_{nm} = \varepsilon_{nm,u} = + 6{,}290$ ‰

$\varepsilon_{nm,0} = + 1{,}103$ ‰

$\varepsilon_c = - 2{,}048$ ‰

Bezogene Druckzonenhöhe

$$\xi = \frac{-\varepsilon_c}{-\varepsilon_c + \varepsilon_{nm,0} + \varepsilon_{nm}} = \frac{2{,}048}{2{,}048 + 1{,}103 + 6{,}290} = 0{,}217$$

Völligkeitsbeiwert

$$\alpha_R = \frac{|\varepsilon_c| \cdot (6 - |\varepsilon_c|)}{12} = \frac{2{,}048 \cdot (6 - 2{,}048)}{12} = 0{,}675$$

Höhenbeiwert

$$k_a = \frac{8 - |\varepsilon_c|}{4 \cdot (6 - |\varepsilon_c|)} = \frac{8 - 2{,}048}{4 \cdot (6 - 2{,}048)} = 0{,}377$$

Angriffspunkt Betondruckkraft

$$a = k_a \cdot \xi \cdot d_{nm} = 0{,}377 \cdot 0{,}217 \cdot 0{,}205 \text{ m} = 0{,}017 \text{ m}$$

Innerer Hebelarm der Bewehrungsebenen

Stahlbewehrung: $z_s = d_{sl} - a = 0{,}174 \text{ m} - 0{,}017 \text{ m} = 0{,}157 \text{ m}$

Carbonbewehrung: $z_{nm} = d_{nm} - a = 0{,}205 \text{ m} - 0{,}017 \text{ m} = 0{,}188 \text{ m}$

Betondruckkraft

$$F_c = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_{nm} \cdot b \cdot f_{cd} = 0{,}675 \cdot 0{,}217 \cdot 0{,}205 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 17.000 \text{ kN/m}^2 = 510 \text{ kN/m}$$

Stahlzugkraft

Die resultierende Stahldehnung der Bestandsbewehrung kann über die Druckzonenhöhe und die Carbondehnung wie folgt berechnet werden:

$$\varepsilon_s = \frac{(d_{sl} - (\xi \cdot d_{nm})) \cdot \varepsilon_{nm}}{d_{nm} - (\xi \cdot d_{nm})} = \frac{(0{,}174 \text{ m} - (0{,}217 \cdot 0{,}205 \text{ m})) \cdot 6{,}290 \text{ ‰}}{0{,}205 \text{ m} - (0{,}217 \cdot 0{,}205 \text{ m})} = + 5{,}076 \text{ ‰}$$

→ Stahl fließt, da $\varepsilon_s = + 5{,}076$ ‰ > $+ 2{,}175$ ‰ = ε_{yd} (Fließdehnung)

$$F_s = a_{sl} \cdot f_{yd} = 7{,}54 \text{ cm}^2/\text{m} \cdot 43{,}5 \text{ kN/cm}^2 = 328 \text{ kN/m}$$

Zugkraft in der Carbonbewehrung

$$F_{nm} = \varepsilon_{nm} \cdot a_{Kf,nm} \cdot E_{nm,m} = 6{,}290 \text{ ‰} \cdot 140 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 206.667 \text{ N/mm}^2 = 182 \text{ kN/m}$$

Überprüfung der inneren Gleichgewichtsbedingung (Kräftegleichgewicht)

$$F_s + F_{nm} \equiv F_c$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

328 kN/m + 182 kN/m = 510 kN/m = 510 kN/m = F_c → Bedingung erfüllt!

Die anfänglichen Schätzwerte der Dehnungen erfüllen den Anspruch an die innere Gleichgewichtsbedingung. Die Dehnungsverteilung muss demnach nicht neu iteriert werden.

Bestimmung der maximalen Biegetragfähigkeit des verstärkten Querschnitts

$$m_{Rd,LF2} = F_s \cdot z_s + F_{nm} \cdot z_{nm}$$

$$m_{Rd,LF2} = 328\ \text{kN/m} \cdot 0{,}157\ \text{m} + 182\ \text{kN/m} \cdot 0{,}188\ \text{m} = 85{,}71\ \text{kNm/m}$$

Nachweis

$$\frac{m_{Ed,LF2}}{m_{Rd,LF2}} = \frac{82{,}41\ \text{kNm/m}}{85{,}71\ \text{kNm/m}} = 0{,}96 \le 1{,}0$$

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit im Lastfall 2 ist mit einer Auslastung von 96 % erfüllt.

8.4 Nachweis der Biegetragfähigkeit im Brandfall

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit im Brandfall wird in diesem Beispiel nicht behandelt. Es wird an dieser Stelle auf das *Merkblatt – „Nachweis der Biegetragfähigkeit carbonbetonverstärkter Konstruktionen im Brandfall“ verwiesen*.

8.5 Nachweis der Querkrafttragfähigkeit ohne Ansatz der Carbonbetonverstärkung

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit erfolgt nach abZ/aBG [1] Anlage 5, Abschnitt 6.2.2 ohne Ansatz der Carbonbewehrung. Nach der DIN EN 1992-1-1 [6], Abschnitt 6.2.1 (8) darf bei einer direkten Lagerung und gleichmäßiger Belastung die Bemessungsquerkraft im Abstand d vom Auflagerrand nachgewiesen werden. Der Nachweis wird in diesem Beispiel an der Stelle $x = d_{sl} + 0{,}5 \cdot a = 0{,}174$ m (statische Nutzhöhe + halbe Auflagerbreite) geführt.

Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit des Bestandsquerschnitts

$$v_{Rd,c} = \left[\frac{0{,}15}{\gamma_c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\right)^{1/3}\right] \cdot d_{sl}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200\ \text{mm}}{d_{sl}}} = 1 + \sqrt{\frac{200\ \text{mm}}{174\ \text{mm}}} = 2{,}07 \le 2{,}0$$

$$\rho_l = \frac{a_{sl}}{d_{sl}} = \frac{0{,}0754\ \text{cm}^2/\text{cm}}{17{,}4\ \text{cm}} = 0{,}433\ \%$$

Mit
- $v_{Rd,c}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit
- k Beiwert für den Einfluss der statischen Nutzhöhe
- ρ_l Längsbewehrungsgrad
- a_{sl} Querschnittsfläche der Längsbewehrung
- f_{ck} Charakteristische Betondruckfestigkeit
- d_{sl} Statische Nutzhöhe Stahlbewehrung

$$v_{Rd,c} = \left[\frac{0{,}15}{1{,}5} \cdot 2{,}00 \cdot (100 \cdot 0{,}433\ \% \cdot 30\ \text{N/mm}^2)^{1/3}\right] \cdot 174\ \text{mm} = 81{,}8\ \text{kN/m}$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Mindestquerkrafttragfähigkeit

$$v_{Rdc,min} = \frac{0{,}0525}{\gamma_c} \cdot \left(k^3 \cdot f_{ck}\right)^{0{,}5} \cdot d_s = \frac{0{,}0525}{1{,}5} \cdot \left(2{,}00^3 \cdot 30\,\text{N/mm}^2\right)^{0{,}5} \cdot 174\,\text{mm} = 94{,}3\,\text{kN/m}$$

Abgeminderte Bemessungsquerkraft aufgrund direkter Lagerung und gleichmäßiger Belastung

Mit v_{max} = 56,84 kN/m (Wert aus Lastfall 2)

$$v_{Ed} = v_{max} \cdot \left(1 - \frac{0{,}5 \cdot a + d_s}{\frac{l_{eff}}{2}}\right) = 56{,}84\,\text{kN/m} \cdot \left(1 - \frac{0{,}1\,\text{m} + 0{,}174\,\text{m}}{\frac{5{,}80\,\text{m}}{2}}\right) = 51{,}5\,\text{kN/m}$$

Nachweis

$$\frac{v_{Ed,LF2}}{v_{Rd}} = \frac{51{,}5\,\text{kN/m}}{94{,}3\,\text{kN/m}} = 0{,}55 \le 1{,}0$$

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit ohne Ansatz der Carbonbetonverstärkung ist für die neue Belastungssituation im Lastfall 2 mit einer Auslastung von 55 % erfüllt.

8.6 Nachweis der Schubfugentragfähigkeit

Die Einwirkungen auf die Schubfuge sind maßgeblich von der Querkraft abhängig. Jedoch kommt es erst ab dem Fließen der Bestandsbewehrung zur überproportionalen Zunahme der Zugkraft innerhalb des Carbongitters. Auf der sicheren Seite liegend, wird der Nachweis der Schubfugentragfähigkeit daher für die Einwirkungskombination $m_{Ed,Feld,LF2}$ und $v_{Ed,LF2}$ im Lastfall 2 geführt. Dieser Nachweis stellt den oberen Grenzwert der Einwirkung dar. Sofern dieser Nachweis nicht erfüllt wird, ist es notwendig, die Schubfugentragfähigkeit an den maßgebenden Stellen zu führen. Nach abZ/aBG [1] muss die Fuge zwischen Altbeton und Verstärkung rau ausgeführt werden. Dementsprechend wird für die Ermittlung der Schubfugentragfähigkeit der Beiwert *c* mit einem Wert von 0,4 verwendet. Die grundlegende Nachweisführung ähnelt dem in DIN EN 1992-1-1 [6], Abschnitt 6.2.5 beschriebenen Vorgehen.

Ermittlung der Schubfugentragfähigkeit

Aus den in Abschnitt 4.1 aufgeführten Messwerten zur Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit kann nach DIN EN 1990 [7], Tabelle D.1 (V_x unbekannt) der charakteristische Wert der Haftzugfestigkeit $f_{ctk;0,05}$ bestimmt werden. Die Messwerte sind der Übersichtlichkeit halber nachfolgend noch einmal dargestellt.

Tabelle 6: Einzelwerte der Prüfungen am Bauteil zur Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit (s. Tabelle 1)

Anzahl der Prüfungen *n*	1	2	3	4	5
$f_{ctm,surf,i}$ [N/mm²]	2,70	2,10	2,20	2,50	2,50

Statistische Auswertung der Stichproben nach DIN EN 1990 [7], Tabelle D.1 (V_x unbekannt)

- Arithmetisches Mittel: $m_x = 2{,}40$ N/mm²
- Standardabweichung des Stichprobenumfangs: s = 0,24
- Faktor: k_n (n = 5) = 2,33
- Charakteristischer Wert der Haftzugfestigkeit (5 %-Fraktil)

  $f_{ctk;0,05} = m_x - k \cdot s = 2{,}40$ N/mm² - 2,33 · 0,24 = 1,84 N/mm²

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Die Schubfugentragfähigkeit ergibt sich wie folgt:

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} = c \cdot \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 0{,}4 \cdot 0{,}85 \cdot \frac{1{,}84\ \text{N/mm}^2}{1{,}50} = 0{,}417\ \text{N/mm}^2$$

Bestimmung der Bemessungsschubspannung

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{z_{ges}}$$

$$\beta = \frac{F_{nm}}{F_s + F_{nm}} = \frac{165\ \text{kN/m}}{328\ \text{kN/m} + 165\ \text{kN/m}} = 0{,}335$$

$V_{Ed} = v_{Ed,LF2} = 51{,}5$ kN/m (Abgeminderte Bemessungsquerkraft)

$$z_{ges} = z_s \cdot \frac{F_s}{F_s + F_{nm}} + z_{nm} \cdot \frac{F_{nm}}{F_s + F_{nm}}$$

$$= 0{,}157\ \text{m} \cdot \frac{328\ \text{kN/m}}{(328\ \text{kN/m} + 165\ \text{kN/m})} + 0{,}188\ \text{m} \cdot \frac{165\ \text{kN/m}}{(328\ \text{kN/m} + 165\ \text{kN/m})} = 0{,}167\ \text{m}$$

Mit β Verhältnis der Zugkraft in der Verstärkungsschicht zu der Gesamtzugkraft in der Zugzone

V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

z_{ges} Innerer Hebelarm des Gesamtquerschnitts

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot v_{Ed,LF2}}{z_{ges}} = \frac{0{,}335 \cdot 51{,}5\ \text{kN/m}}{0{,}167\ \text{m}} = 0{,}103\ \text{N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{v_{Edi}}{v_{Rdi}} = \frac{0{,}103\ \text{N/mm}^2}{0{,}417\ \text{N/mm}^2} = 0{,}25 \le 1{,}0$$

Der Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge ist mit einer Auslastung von 25 % erfüllt.

8.7 Nachweis gegen Versatzbruch

Nach Anlage 5, Abschnitt 5.12 der abZ/aBG [1] muss die senkrecht zur Ebene der Carbonbetonschicht wirkende Zugspannung am Ende der Verstärkungsschicht in der Bemessung berücksichtigt werden. In diesem Bereich kann es andernfalls infolge dieser abhebenden Kräfte zur Ausbildung eines Versatzbruchs kommen, bei dem sich der Beton von der Bestandsbewehrung ablöst.

Ermittlung des Widerstandes gegen Versatzbruch[4]

$$v_{Rd,c,nm} = 0{,}75 \cdot \left(1 + 19{,}6 \cdot \frac{(100 \cdot \rho_l)^{0,15}}{a_{nm}^{0,36}}\right) \cdot v_{Rd,c}$$

Mit ρ_l Längsbewehrungsgrad der Bestandsbewehrung, d. h. ohne Anrechnung der Carbonbewehrungsfläche

a_{nm} Abstand des Endes der Carbonbewehrung von der Mitte des Endauflagers (Hier: halbe Auflagerbreite)

[4] Ermittlung gemäß [1], Anlage 5, Gleichung aBG 6.121

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

$$v_{Rd,c,nm} = 0{,}75 \cdot \left(1 + 19{,}6 \cdot \frac{(100 \cdot 0{,}433\ \%)^{0{,}15}}{(100\ \text{mm})^{0{,}36}}\right) \cdot 94{,}3\ \text{kN/m} = 303{,}9\ \text{kN/m}$$

Nachweis

$$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,c,nm}} = \frac{51{,}5\ \text{kN/m}}{303{,}9\ \text{kN/m}} = 0{,}17 \leq 1{,}0$$

Der Nachweis gegen Versatzbruch ist mit einer Auslastung von 17 % erfüllt.

9 Bemessung in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

9.1 Nachweis der Begrenzung der Verformungen

Der Nachweis der Begrenzung der Verformungen ist erfüllt und wird in diesem Beispiel nicht weiter betrachtet.

9.2 Begrenzung der Stahlspannungen

Exemplarisch für die Bemessung in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit wird an dieser Stelle des Beispiels der Nachweis zur Begrenzung der Stahlspannungen geführt. Durch die abZ/aBG [1], Anlage 5, Absatz 7.2 ist die Dehnung des Bestandsstahls unter der seltenen Einwirkungskombination auf folgenden Wert zu begrenzen:

$$\varepsilon_s \leq \frac{f_{yk}}{E_s}$$

Die Ermittlung der Dehnung erfolgt analog zu Abschnitt 8.1 dieses Beispiels für die Einwirkung $m_{d,LF2}$ von 57,78 kNm/m.

$$\varepsilon_s = \frac{\frac{m_{d,LF2}}{E_s}}{z \cdot a_{sl}} = \frac{\frac{57.780\ \text{Nm/m}}{200.000\ \text{N/mm}^2}}{16{,}21\ \text{cm} \cdot 7{,}54\ \text{cm}^2\text{/m}} = 2{,}364\ ‰ \leq \frac{500\ \text{N/mm}^2}{200.000\ \text{N/mm}^2} = 2{,}500\ ‰$$

10 Allgemeine Bewehrungs- und Konstruktionsregeln

10.1 Nachweis der Verankerung der Längsbewehrung

Die Verankerung der Carbonbewehrung erfolgt ab jenem Punkt *x*, ab welchem keine zusätzliche Carbonbewehrung mehr zur Aufnahme des vorhandenen Biegemomentes benötigt wird. Ausgehend von der maximalen Biegetragfähigkeit des Bestandsquerschnittes von 51,28 kNm/m (siehe Abschnitt 8.2) erfolgt anhand der Parabelgleichung des Biegemoments die Bestimmung des Punktes *x*, ab dem keine Carbonbewehrung mehr notwendig ist.

Die Parabelgleichung des Momentenverlaufs lautet:

$$y(x) = -9{,}799x^2 + 56{,}834x$$

Daraus ergibt sich, dass der Punkt *x,* an dem das Moment von 51,28 kNm/m auftritt, 112 cm entfernt vom idealisierten Auflagerpunkt der Deckenplatte liegt (siehe Abbildung 4).

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

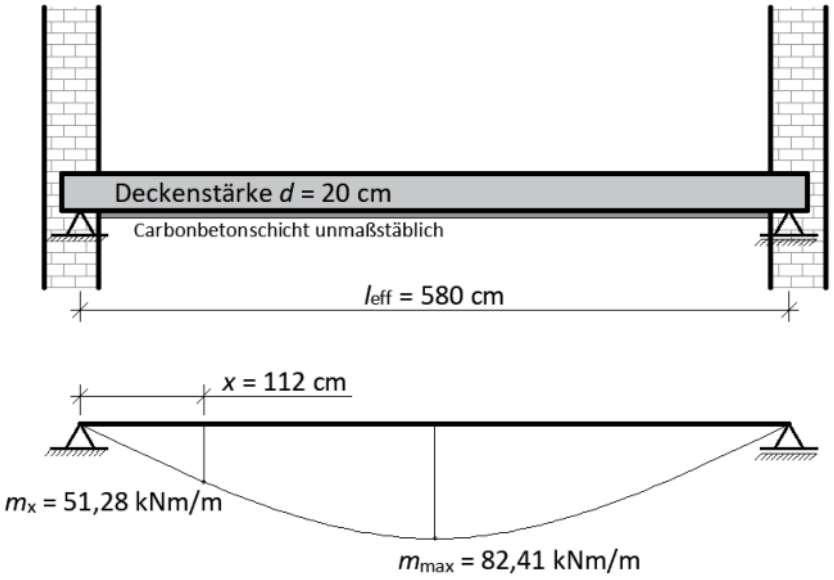


Abbildung 4: Darstellung des Punktes *x*, ab dem die Verankerung der Carbonbewehrung erfolgt

Zur Berücksichtigung der zusätzlichen Zugkraft ΔF_t infolge der Querkraft wird das Moment an der Stelle x zuzüglich des Versatzmaßes a_l bestimmt.

Versatzmaß nach DIN EN 1992-1-1 [6] für Vollplatten

$$a_l = d_{nm} = 0{,}205 \text{ m}$$

Stelle, an der die Spannung bestimmt wird

$$x + d_{nm} = 1{,}12 \text{ m} + 0{,}205 \text{ m} = 1{,}325 \text{ m}$$

Über die Parabelgleichung wird das an dieser Stelle einwirkende Moment zu 58,10 kNm/m bestimmt. Durch die Iteration der Dehnungsebenen wird anschließend die Spannung im Carbongitter ermittelt, welche durch den Bestand verankert werden muss.

Schätzung der Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_c = -0{,}901 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{nm} = +2{,}434 \text{ ‰}$$

Bezogene Druckzonenhöhe

$$\xi = \frac{-\varepsilon_c}{-\varepsilon_c + \varepsilon_{nm}} = \frac{0{,}901}{0{,}901 + 2{,}434} = 0{,}270$$

Völligkeitsbeiwert

$$\alpha_R = \frac{|\varepsilon_c| \cdot (6 - |\varepsilon_c|)}{12} = \frac{0{,}901 \cdot (6 - 0{,}901)}{12} = 0{,}383$$

Höhenbeiwert

$$k_a = \frac{8 - |\varepsilon_c|}{4 \cdot (6 - |\varepsilon_c|)} = \frac{8 - 0{,}901}{4 \cdot (6 - 0{,}901)} = 0{,}348$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Angriffspunkt Betondruckkraft

$$a = k_a \cdot \xi \cdot d_{nm} = 0{,}348 \cdot 0{,}270 \cdot 0{,}205 \text{ m} = 0{,}019 \text{ m}$$

Innerer Hebelarm der beiden Bewehrungsebenen

Stahlbewehrung: $z_s = d_{sl} - a = 0{,}174 \text{ m} - 0{,}019 \text{ m} = 0{,}155 \text{ m}$

Carbonbewehrung: $z_{nm} = d_{nm} - a = 0{,}205 \text{ m} - 0{,}019 \text{ m} = 0{,}186 \text{ m}$

Betondruckkraft

$$F_c = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = \alpha_R \cdot \xi \cdot d_{nm} \cdot b \cdot f_{cd} = 0{,}383 \cdot 0{,}270 \cdot 0{,}205 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 17.000 \text{ kN/m}^2 = 360 \text{ kN/m}$$

Stahlzugkraft

Die resultierende Stahldehnung der Bestandsbewehrung kann über die Druckzonenhöhe und die Carbondehnung wie folgt berechnet werden:

$$\varepsilon_s = \frac{(d_{sl} - (\xi \cdot d_{nm})) \cdot \varepsilon_{nm}}{d_{nm} - (\xi \cdot d_{nm})} = \frac{(0{,}155 \text{ m} - (0{,}270 \cdot 0{,}205 \text{ m})) \cdot 2{,}434 ‰}{0{,}205 \text{ m} - (0{,}270 \cdot 0{,}205 \text{ m})} = + 1{,}930 ‰$$

$$F_s = E_s \cdot \varepsilon_s \cdot a_{sl} = 20.000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1{,}930 ‰ \cdot 7{,}54 \text{ cm}^2/\text{m} = 291 \text{ kN/m}$$

Zugkraft in der Verstärkung

$$F_{nm} = E_{nm} \cdot \varepsilon_{nm} \cdot a_{Kf,nm} = 206.667 \text{ N/mm}^2 \cdot 2{,}434 ‰ \cdot 140 \text{ mm}^2/\text{m} = 70 \text{ kN/m}$$

Überprüfung der Gleichgewichtsbedingungen

Kräftegleichgewicht

$$F_s + F_{nm} \equiv F_c$$

$291 \text{ kN/m} + 70 \text{ kN/m} = 361 \text{ kN/m} \approx 360 \text{kN/m} = F_c \rightarrow$ Bedingung erfüllt!

Momentengleichgewicht

$$F_s \cdot z_s + F_{nm} \cdot z_{nm} \equiv m_x$$

$291 \text{ kN/m} \cdot 0{,}155 \text{ m} + 70 \text{ kN/m} \cdot 0{,}186 \text{ m} = 58{,}12 \text{ kNm/m} \approx 58{,}10 \text{ kNm/m} = m_{x+d}$

$\rightarrow$ Bedingung erfüllt!

Die anfänglichen Schätzwerte der Dehnungen erfüllen den Anspruch an die Gleichgewichtsbedingungen. Die Dehnungsverteilung muss demnach nicht neu iteriert werden.

Bestimmung des Grundwertes der Verankerungslänge

Zu verankernde Spannung im Carbongitter:

$$\sigma_{nm} = E_{nm} \cdot \varepsilon_{nm} = 206.667 \text{ N/mm}^2 \cdot 2{,}434 ‰ = 503 \text{ N/mm}^2$$

Notwendige Verankerungslänge:

$$l_{b,nm,rqd} = \frac{\sigma_{nm} \cdot A_{nm,K}}{T_{nm,bd}} = \frac{503 \text{ N/mm}^2 \cdot 1{,}80 \text{ mm}^2}{4{,}7 \text{ N/mm}} = 0{,}19 \text{ m}$$

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Bemessungswert der Verankerungslänge[5]

$$l_{bd} = l_{b,nm,rqd} = 0{,}19 \geq 100 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{l_{bd}}{l_{vorh}} = \frac{l_{bd}}{x - \frac{a}{2}} = \frac{0{,}19 \text{ m}}{1{,}12 \text{ m} - 0{,}10 \text{ m}} = 0{,}19 \leq 1{,}0$$

Der Nachweis der Verankerung der Carbonbewehrung ist mit einer Auslastung von 19 % erfüllt.

Weiterhin ist hinsichtlich der Bewehrungs- und Konstruktionsregeln anzumerken, dass ein Einschneiden der Zugkraftdeckungslinie nicht zulässig ist.

10.2 Nachweis der Verankerung der Bestandsbewehrung am Endauflager

Der Nachweis zur Verankerung der Bestandsbewehrung am Endauflager ist identisch zu DIN EN 1992-1-1 [6] zu führen und wird an dieser Stelle nicht explizit aufgeführt.

10.3 Querbewehrung

Auch bei verstärkten Bauteilen sind bei einachsig gespannten Platten 20 % der Bestandsstahlbewehrung als Querbewehrung ausreichend. Fehlende Querbewehrung darf durch Carbonbewehrung ersetzt werden. Nachfolgend wird überprüft, ob ausreichend Querbewehrung im Bestand vorhanden ist.

$$a_{sq,erf} = 0{,}2 \cdot a_{sl} = 0{,}2 \cdot 7{,}54 \text{ cm}^2/\text{m} = 1{,}51 \text{ cm}^2/\text{m} < 1{,}88 \text{ cm}^2/\text{m} = a_{sq,vorh} \rightarrow \text{Bedingung erfüllt!}$$

10.4 Stöße und mechanische Verbindungen

Es wird an dieser Stelle eine Mattenlänge von mindestens 6 Metern verwendet, sodass in Längsrichtung (Kettrichtung) kein Übergreifungsstoß benötigt wird. Im Allgemeinen ist hier die Absprache mit den Gitterherstellern erforderlich. Des Weiteren ist es notwendig, zu überprüfen, ob die gewählte Mattenlänge im konkreten Beispiel gehandelt werden kann.

In Querrichtung (Schussrichtung) wird konstruktiv eine Übergreifung der Carbongitter von 10 cm vorgesehen.

Bei dem Einbau und der Handhabung der Carbongitter ist darauf zu achten, dass der kleinste Biegedurchmesser von 150 mm nicht unterschritten wird.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

[2] DIN EN 1542 (1999-07): Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch

[3] DIN 1045 (1988-07): Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung

[4] DIN 488-2 (1986-06): Betonstahl, Betonstabstahl; Maße und Gewichte

[5] Bedingung gemäß [1], Anlage 5, Abschnitt 8.4.4

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

[5] Curbach, M.; Schumann, A.; May, S.; Müller, E.; Schütze, E.; Wagner, J.: *Verstärken mit Carbonbeton* in: Betonkalender 2022, S. 761-804, Ernst & Sohn

[6] 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

[7] DIN EN 1990 (2021-10): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 3.03	Mustertexte für die Ausschreibung der CARBOrefit® Anwendung

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

Bei den hier vorliegenden Mustertexten handelt es sich um Beispieltexte der Baumaßnahme. Bei Unklarheiten ist der Bauherr/Planer oder alternativ der Zulassungsinhaber zu kontaktieren.

Hinweis: Es wird keine Gewährleistung auf Vollständigkeit oder Fehler gegeben.

Maßnahmen zur Betoninstandsetzung sowie der Risssanierung sind nicht Bestandteil dieses Merkblattes. Diese sind an entsprechender Stelle in Abhängigkeit der Gegebenheiten des Bauvorhabens einzufügen.

Für die Durchführung der Instandsetzungs- und Verstärkungsarbeiten sind alle einschlägigen Normen, Richtlinien, Regelwerke und anerkannte Regeln der Technik zu beachten.
Unter anderem mitgeltende Normen und Regeln:

- DIN EN 1992-1-1 2011-01 Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
  Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau

- DIN EN 1992-1-1/NA Nationaler Anhang; National festgelegter Parameter; Eurocode 2

- DAfStb RL SIB: 2001-10 Instandsetzungsrichtlinie 2001-10, Teil 1-4: Schutz und Instandsetzung von Bauteilen
  Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze
  Teil 2: Bauprodukte und Anwendung
  Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung
  Teil 4: Prüfverfahren

- Technische Regel (DIBt) Instandhaltung von Betonbauwerken (TR Instandhaltung): 2020-05
  Teil 1 - Anwendungsbereich und Planung der Instandhaltung
  Teil 2 - Merkmale von Produkten oder Systemen für die Instandsetzung und Regelungen für deren Verwendung

- DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen – Oktober 2001
- DIN EN 1542:1999-07: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch
- DIN EN 1504 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Güteüberwachung und Beurteilung der Konformität, Teil 1-10

- Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen – Mai 2022
- Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen (PÜZ-Verzeichnis) – Januar 2023

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

OZ	Menge	ME	Kurztext	EP	GB
01			**Allgemein**		.....
01.0010	0,000	Psch	**Werksplanung für das Bauvorhaben** Anfertigen der erforderlichen Ausführungs- und Werksplanung für die vollständige Leistung unter Berücksichtigung der gestalterischen, technischen, wirtschaftlichen, hydraulischen und statischen Anforderungen. Ausführungsplanung in Anlehnung an Leistungsbild der HOAI. Grundlage bildet die vorliegende Planung einschl. der hydraulischen und statischen Berechnungen, sowie derbeiliegenden Zeichnungen, Pläne, Baubeschreibung sowie der Festlegungen in diesem Leistungsverzeichnis. Anfertigen der Werksplanung für alle LV-Teile der Gesamtleistung zur Herstellung der Brücke. Erstellung der statischen Nachweise ist gesondert erfasst. Berücksichtigung und Verwendung der Beiträge aller am Bau beteiligten Gewerke. Erstellen einer zeichnerischen Darstellung mit allen für die Ausführung notwendigen Einzelangaben und Details. Abstimmung mit den zuständigen Behörden, soweit erforderlich, ist eigenverantwortlich durchführen. Die Unterlagen sind zur Prüfung bei einem zugelassenen Prüfingenieur einzureichen. Die Prüfgebühren trägt der Auftragnehmer, Prüfauflagen sind einzuarbeiten. Werkszeichnungen sind als Ergänzung bzw. Fortschreibung der Ausführungsplanung zu erstellen und werden nicht gesondert vergütet. Erstellung von Werkszeichnungen einschl. Material- und Stücklisten. Lieferung der geprüften Ausführungs- und Werkszeichnungen in 2-facher Ausfertigung in Papierform und 1-fach digital auf Datenträger im DWG-Format und PDF-Format, einschließlich Prüfbericht.	.....	.....
02			**Grundlagen Carbonbetonverstärkung** Grundlage dieser Ausschreibung ist das CARBOrefit®-System gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 des DIBt. Die in der abZ/aBG festgelegten Anforderungen und Regelungen sind jederzeit zu berücksichtigen und zwingend anzuwenden. Sämtliche relevanten Nachweise wurden gemäß der abZ/aBG geführt. Anfallende Kosten für die Erstellung der Statik, sowie deren Prüfung durch einen Prüfingenieur:innen müssen vom Auftragnehmer getragen werden. Liegt keine geprüfte Statik vor, so ist diese durch den Auftraggeber zu erbringen. Alle in der abZ/aBG festgeschriebenen Materialien, Abläufe und Arbeitsschritte sind zwingend und alternativlos umzusetzen. Das vorliegende Angebot muss dieses genauso beinhalten. Nachforderungen daraus können nicht geltend gemacht werden. Die abZ/aBG und die Verwendbarkeitszeichen der Materialien und alle weiteren Nachweise müssen auf der Baustelle vorliegen und sind zu beachten. Andere Systeme als das gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 sind zulässig, wenn die Gleichwertigkeit durch entsprechende Verwendbarkeitsnachweise z.B. abZ/aBG nachgewiesen werden und zur Angebotsabgabe eine geprüfte Statik mit dem gewählten System vorliegt. Wird eine Komponente des zugelassenen Systems	.....	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

geändert oder nicht gemäß abZ/aBG ausgeführt, entfällt jegliche Haftung. Angebote ohne einen prüffähigen, statischen Nachweis werden nicht gewertet.

Der AN muss über eine qualifizierte Führungskraft und über Baustellenfachpersonal gemäß „Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton mit Bausätzen nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen“ verfügen. Es muss mindestens 1 Baustellenfachpersonal wären der Carbonbetonverstärkung ständig auf der Baustelle Vor Ort sein. Das ausführende Unternehmen muss seine Eignung zur bestimmungsgemäßen Herstellung von Verstärkungen von Betonbauteilen mit Carbonbeton durch eine geltende Bescheinigung nachweisen. Die Eignung des ausführenden Unternehmens muss gegenüber der hierfür anerkannten Prüf- und Überwachungsstelle entsprechend dem Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen-Verzeichnis (PÜZ-Verzeichnis) erbracht werden. Der Eignungsnachweis ist dem Angebot beizulegen.
Die verwendeten Baustoffe (Carbongitter und Feinbeton) müssen auf der Baustelle trocken gelagert und vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Das Carbongitter muss zusätzlich gegen UV-Strahlung während der Lagerung geschützt werden und ist während der Zwischenlagerung ebenfalls vor Verschmutzung zu schützen. Zudem ist ein Betreten der Carbongitter zu jedem Zeitpunkt verboten.
Die Verlegung der Carbonbewehrung erfolgt nach statischem Erfordernis. Beim Verarbeiten muss sichergestellt werden, dass die Gitter höhenmäßig ausgerichtet sind und nicht verrutschen können. Carbonbewehrung und Stahlbewehrung / Stahleinbauteile müssen einen entsprechenden Abstand zueinander einhalten, da es andernfalls zur Kontaktkorrosion des Stahls kommen kann. Befestigungen dürfen nicht mittels Röteldraht erfolgen.
Die statischen Randbedingungen wie die Übergreifungslängen etc. müssen eingehalten werden

02.0010	0,000	Psch	**Überwachungsleistung – Eigenüberwachung**	.....	.....
02.0020	0,000	Psch	**Überwachung der gelieferten Materialien** Die für die Anwendung gelieferten Materialien (Gitter, Feinbeton) sind auf ihre Verwendbarkeit zu prüfen und beigefügte Unterlagen zu dokumentieren. Die Materialien müssen mit einem Ü-Zeichen unter Angabe der Zulassungsnummer gekennzeichnet sein (Beipackzettel oder Gebindeaufdruck) und mit dem ausgeschrieben Produkt übereinstimmen.	.....	.....
02.0030	0,000	Psch	**Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons** Bei der Herstellung des Frischbetons ist bei jeder Mischung durch Sichtprüfung sicherzustellen, dass kein Bluten oder Separieren des Betons erkennbar ist. Überprüfung der Frischbetonkonsistenz gemäß DIN EN 1015-3 mit dem Ausbreitmaß bei t = 10 min und den einzuhaltenden Anforderungen nach abZ/aBG Z-31.10-182. Das Ausbreitmaß muss jede zehnte Charge, alle 50 t, mindestens einmal je Produktionstag geprüft werden und zwischen 17-21 cm liege und wird mit einem Hägermann-Tisch geprüft. Je 100 m² Verstärkungsfläche, jedoch mindestens einmal täglich, ist die Frischmörtel-Rohdichte nach DIN EN 1015-6 zu bestimmen. Die Frischmörtel-Rohdichte muss zwischen 2,07 und 2,27 kg/dm³ liegen.	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

02.0040	0,000	Stk	**Herstellung und Prüfung von Betonprismen** Herstellung von Betonprismen Der erhärtete Feinbeton muss die in der abZ/aBG Z-31.10-182 beschriebenen Anforderungen erfüllen. Der erhärtete Feinbeton muss je 250 m² verstärkter Fläche oder mindestens 3 Prismensätzen je Projekt, auf Biegezug- und Druckfestigkeit nach DIN EN 196-1 getestet werden. Die Lagerung ist gemäßDIN EN 12390-2 NA durchzuführen. Die Anforderung an die Biegezugfestigkeit beträgt nach 7 d mindestens 5 N/mm² und nach 28 d mindestens 5,5 N/mm². Die Anforderung an die Druckfestigkeit beträgt nach 7 d mindestens 40 N/mm² und nach 28 d mindestens 72 N/mm². Die Anforderungen beziehen sich auf den Mittelwert eines Prismensatzes von mindestens 3 Prismen. An den Prismen ist die Rohdichte des erhärteten Feinbetons gemäß DIN 1015-10 zu bestimmen. Diese muss zwischen 1,95 und 2,15 kg/dm³ liegen. 1 Stk. = 1 Prismensatz á 3 Prismen	.....	.....
02.0050	0,000	Stk	**Herstellung und Prüfung begleitender Prüfplatten gemäß abZ/aBG Z-31.10-182** Kontrolle der Verbundeigenschaften anhand begleitender Prüfplatten mittels Verbundversuchen. Die Verbundversuche sind hinsichtlich Geometrie der Prüfplatten, Versuchsaufbau und -durchführung gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 auszuführen. Der AN muss eine nachvollziehbare Dokumentation der Platten sicherstellen und jederzeit vorweisen können. Es muss mindestens ein Prüfplatte je angefangene 250 m² Verstärkungsfläche oder mindestens 3 Prüfplatten für das gesamte Projekt hergestellt werden. Die Prüfplatten sind bauteilnah zu lagern, um die Vergleichbarkeit zum verstärkten Bauteil zu gewährleisten.	.....	.....
02.0060	0,000	Psch	**Überprüfung der Ebenheit der Carbongitterlagen** Überprüfung der Ebenheit der Carbongitterlage in der „frischen“ Feinbetonschicht. Die Überprüfung ist nach dem Einarbeiten des Carbongitters und vor dem Auftrag der nächsten Feinbetonschicht durchzuführen. Dabei darf auf einer Prüfstrecke von 30 cm die Abweichung von einer ebenen Fläche nicht mehr als h = 1 mm betragen.	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

02.0070	0,000	Stk	**Prüfung der Haftzugfestigkeit vor Belastung des Bauwerks gemäß abZ/aBG Z-31.10-182** Die Haftzugfestigkeit am Bauwerk muss den Anforderungen gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 entsprechen (Versagen in der Altbetonschicht). Ausnahmen sind zulässig, wenn das Versagen in der Verstärkungsschicht auftritt, dann muss die Haftzugfestigkeit im Mittel über 3 N/mm² und der kleinste Wert über 2 N/mm² betragen. Die Auswertung hat gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 zu erfolgen. Die Haftzugprüfung sollte an denselben Bauteilen erfolgen, an denen zuvor die Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit durchgeführt wurde. Es erfolgen drei Prüfungen je angefangene 250 m² und mindestens 5 Prüfungen im Projekt. Dies betrifft nur Flächen, die mit Carbonbeton verstärkt werden. Die Stellen der Probeentnahme werden in Absprache mit dem Planer festgelegt. Bauteile, die nicht verstärkt werden, sind nicht Bestandteil der abZ/aBG. Eine Prüfung umfasst mindestens 3 Proben. Verschließen gemäß Pos. 04.__.0240 1 Stk. = 1 Prüfung á 3 Proben	.....	.....
02.0080	0,000	Psch	**Überwachungsleistung - Fremdüberwachung gemäß abZ/aBG Z-31.10-182** Fremdüberwachung der Bauausführung nach abZ/aBG Z-31.10-182 durch eine anerkannte Überwachungsstelle nach PÜZ-Verzeichnis.	.....	.....
03			**Vorbereitende Arbeiten Carbonbetonverstärkung** Grundlage aller Leistungen ist die nach den Vorgaben der abZ/aBG Z-31.10-182 instandgesetzte, aufgeraute und reprofilierte Betonoberfläche. Risse usw. im Beton im Bereich der Verstärkung, die zur Korrosion der Bewehrung führen können oder Risse mit Flüssigkeitsdurchtritt sind gemäß TR-Instandhaltung zu behandeln.		
03.0010	0,000	Psch	**Prüfen des Untergrunds vor Beginn der Arbeiten gemäß abZ/aBG Z-31.10-182** Vor Beginn der Arbeiten sind die Untergründe gemeinsam mit der BÜ des AG entsprechend auf Übereinstimmung mit den Anforderungen der abZ/aBG Z-31.10-182 abzugleichen und gegebenenfalls durch den Auftraggeber nachzuarbeiten. Überprüfung der zu bearbeitenden Betonoberfläche auf Hohlstellen oder minderfesten Untergrund mit geeignetem Verfahren und Werkzeug. Anschließend markieren der festgestellten Hohlstellen, Risse und Betonmängel.	.....	.....
03.0020	0,000	m²	**Reinigen des Betonuntergrunds** Abtragen und Entfernen von artfremden Stoffen und Bewuchs Durch Abwaschen bis 250 bar oder kehren Stoffart: ..... Dicke: ..... inkl. Entsorgung	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

03.0030	0,000	Stk	**Prüfen der Oberflächenzugfestigkeit des Bestandsbetons gemäß abZ/aBG Z-31.10-182** Prüfen der Oberflächenzugfestigkeit gemäß DIN EN 1542 des Bestandsbetons vor der Untergrundvorbehandlung. Der Erwartungswert des Mittelwertes der Oberflächenzugfestigkeit (95-%-Quantil) mit Auswertung nach abZ/aBG Z-31.10-182 des Betonuntergrunds oder der reprofilierten Oberfläche muss mindestens 1,0 N/mm² betragen. Sofern in der Statik höhere Werte gefordert sind, sind diese entsprechend nachzuweisen. Es erfolgen drei Prüfungen je angefangene 250 m² und mindestens 5 Prüfungen je Projekt. Dies betrifft nur Flächen, die mit Carbonbeton verstärkt werden. Die Stellen der Probenentnahme werden in Absprache mit dem Planer abgestimmt. Bauteile, die nicht verstärkt werden, sind nicht Bestandteil der abZ/ aBG Z-31.10-182. Eine Prüfung umfasst mindestens 3 Proben. Die Ergebnisse sind zu protokollieren. Die Messprotokolle sind dem AG vorzulegen. 1 Stk. = 1 Prüfung á 3 Proben	.....	.....
03.0040	0,000	m²	**Abtragen von geschädigtem Beton und entfernen loser Bestandteile** Die zu verstärkende Altbetonoberfläche muss vor dem Aufbringen der Verstärkungsschicht mit einem geeigneten Strahlverfahren (Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln, Kugelstrahlen, Bearbeitung mit einer Nadelpistole, Hochdruckwasserstrahlen o.glw. Verfahren) entsprechend vorbereitet werden: • Freilegen der Gesteinskörnung bis zu einem Durchmesser > 4 mm • Mittlere Rautiefe ≥ 1 mm Die Wahl des Verfahrens obliegt dem Auftragnehmer. gewähltes Verfahren: ..... Strahlwasser/Strahlgut und Betonabtrag sind durch entsprechende Auffangvorrichtungen schadensfrei zu sammeln. Entsprechende Saug- und Filteranlagen sind so einzusetzen, dass eine kontrollierte und umweltgerechte Entsorgung erfolgen kann. Die Entsorgungsmaßnahmen inklusive der Deponiegebühren sind mit einzukalkulieren. Kontrolle der Rautiefe durch entsprechende Verfahren zur Einhaltung der Rautiefe **Hinweis: diese Position entspricht nicht einer Betoninstandsetzung**	.....	.....
03.0050	0,000	Stk.	**Reprofilierung nach abZ/aBG Z-31.10-182 bis 0,25 m²** Die Reprofilierung hat gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 zu erfolgen. Die Reprofilierung hat mit dem nach abZ/aBG Z-31.10-182 zugelassenen System oder gleichwertigen Materialien zu erfolgen. Wird die Reprofilierung mit Material außerhalb des	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

			Systems durchgeführt, muss sichergestellt werden, dass das Material mit dem System kompatibel ist. Der Auftrag des Feinbetons oder Reparaturmörtel erfolgt durch ein maschinelles Spritzverfahren oder Handauftrag. Der Feinbeton ist frisch in frisch (d.h. innerhalb der Verarbeitungszeit), je nach Ausbruchtiefe und Herstelleranweisung, einzuarbeiten und planzuziehen. Punktuelle Fehlstellen im Beton (Betonabplatzungen, Kiesnester sind fachgerecht freizulegen und mit dem CARBOrefit®-Feinbeton oder gleichwertig) zu reprofilieren (nur für lokale Einzelbereiche). Die Bereiche der Reprofilierung sind vor dem Überschreiten der Verarbeitungszeit des Feinbetons durch Besenstrich aufzurauen bzw. ist eine ausreichende **Rautiefe von mind. 1 mm** oder alternativ den Vorgaben der Tragwerksplanung sicherzustellen. Fläche bis 0,25 m² Dicke bis ..... cm inkl. Entsorgung		
03.0060	0,000	Stk.	**Reprofilierung nach abZ/aBG Z-31.10-182 bis 0,5 m²** Die Reprofilierung hat gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 zu erfolgen. Die Reprofilierung hat mit dem nach abZ/aBG Z-31.10-182 zugelassenen System oder gleichwertigen Materialien zu erfolgen. Wird die Reprofilierung mit Material außerhalb des Systems durchgeführt, muss sichergestellt werden, dass das Material mit dem System kompatibel ist. Der Auftrag des Feinbetons oder Reparaturmörtel erfolgt durch ein maschinelles Spritzverfahren oder Handauftrag. Der Feinbeton ist frisch in frisch (d.h. innerhalb der Verarbeitungszeit), je nach Ausbruchtiefe und Herstelleranweisung, einzuarbeiten und planzuziehen. Punktuelle Fehlstellen im Beton (Betonabplatzungen, Kiesnester sind fachgerecht freizulegen und mit dem CARBOrefit®-Feinbeton oder gleichwertig) zu reprofilieren (nur für lokale Einzelbereiche). Die Bereiche der Reprofilierung sind vor dem Überschreiten der Verarbeitungszeit des Feinbetons durch Besenstrich aufzurauen bzw. ist eine ausreichende **Rautiefe von mind. 1 mm** oder alternativ den Vorgaben der Tragwerksplanung sicherzustellen. Fläche bis 0,5 m² Dicke bis ..... cm inkl. Entsorgung	.....	.....
03.0070	0,000	Stk.	**Reprofilierung nach abZ/aBG Z-31.10-182 bis 2,5 m²** Die Reprofilierung hat gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 zu erfolgen. Die Reprofilierung hat mit dem nach abZ/aBG Z-31.10-182 zugelassenen System oder gleichwertigen Materialien zu erfolgen. Wird die Reprofilierung mit Material außerhalb des Systems durchgeführt, muss sichergestellt werden, dass das Material mit dem System kompatibel ist. Der Auftrag des Feinbetons oder Reparaturmörtel erfolgt durch ein maschinelles Spritzverfahren oder Handauftrag. Der Feinbeton ist frisch in frisch (d.h. innerhalb der Verarbeitungszeit), je nach Ausbruchtiefe und Herstelleranweisung, einzuarbeiten und planzuziehen. Punktuelle Fehlstellen im Beton (Betonabplatzungen,	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

			Kiesnester sind fachgerecht freizulegen und mit dem CARBO-refit®-Feinbeton oder gleichwertig) zu reprofilieren (nur für lokale Einzelbereiche). Die Bereiche der Reprofilierung sind vor dem Überschreiten der Verarbeitungszeit des Feinbetons durch Besenstrich aufzurauen bzw. ist eine ausreichende **Rautiefe von mind. 1 mm** oder alternativ den Vorgaben der Tragwerksplanung sicherzustellen. Fläche bis 2,5 m² Dicke bis ..... cm inkl. Entsorgung		
03.0080	0,000	Psch	**Prüfung der Rautiefe der Altbetonschicht und den reprofilierten Flächen gemäß abZ/aBG Z-31.10-182** Nach den Strahlarbeiten und vor den Verstärkungsarbeiten ist die mittlere Rautiefe der Betonfläche **des Altbetons und der reprofilierten Flächen** gemäß der abZ/aBG Z-31.10-182 zu prüfen. Die mittlere Rautiefe muss mindestens 1 mm betragen, sofern durch die Statik keine höheren Anforderungen bestehen. Kontrolle der Rautiefe durch entsprechende Verfahren zur Einhaltung der Rautiefe. (Bsp.: Verfahren nach Kaufmann) Die gemessenen Rautiefen sind zu dokumentieren und dem Fremdüberwacher vorzulegen.	.....	.....
03.0090	0,000	Psch	**Vornässen der zu verstärkenden Oberflächen gemäß abZ/aBG Z-31.10-182** Vornässen der zu verstärkenden Oberfläche gemäß abZ/aBG Z-31.10-182. 24 Stunden vor den Verstärkungsarbeiten muss der Untergrund „feucht“ im Sinne der TR-Instandhaltung sein und in einem Abstand von 2 Stunden nachgenässt werden. Letztmalig 20 Minuten vor Verstärkungsbeginn.	.....	.....
04			**Carbonbetonverstärkung** Ausführungshinweise: Der AN muss über eine qualifizierte Führungskraft und über Baustellenfachpersonal gemäß „Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton mit Bausätzen nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen“ verfügen. Mindestens eine Führungskraft und das Baustellenfachpersonal müssen während der Arbeiten vor Ort sein. Die Carbongitter sind den örtlichen Gegebenheiten anzupassen. Beim Verlegen der Carbongitter ist darauf zu achten, das Gitter so zu verteilen, dass die Übergreifungsstöße in Kett- und Schussrichtung entsprechend den statischen Vorgaben einzuhalten sind. Die Bewehrung darf, während der Verstärkungsarbeiten nicht abgekantet oder starken Querpressungen ausgesetzt werden. Das Carbongitter darf nicht übermäßig gebogen werden, da dies zu Beschädigungen am Material führen kann. Das Betreten der Carbongitter ist untersagt. Der Mindestbiegerollendurchmesser gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 ist einzuhalten. Die Carbongitter müssen frei von Verunreinigungen aller Art sowie von Staub und Schmutz sein. Weiterhin müssen die Gitter vor Sonneneinstrahlung geschützt gelagert werden. Das Verlegen der Carbongitter erfolgt frisch in frisch. Dies bedeutet, dass das Gitter in Beton eingearbeitet sein muss, bevor die Verarbeitungszeit des Betons überschritten ist. Während der Ausführungsarbeiten dürfen die Gitter keinen Erschütterungen o. ä. ausgesetzt werden. Vor Aufbringen der Verstärkungsschicht muss der Altbetonuntergrund und reprofilierte	.....	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Flächen vorbereitet und gesäubert werden, um einen ausreichenden Haftverbund zwischen Bestandsbeton und Verstärkungsschicht gewährleisten zu können. Das Spritzen des Betons erfolgt im Nassspritzverfahren. Des Weiteren ist beim Spritzen die zur Verstärkung mit Carbonbeton zulässige Spritzdüse (MAWO-Düse) mit dem definierten Spritzdruck zu verwenden. Die Gesamtdicke der Verstärkungsschicht ist entsprechend der statischen Vorgaben einzuhalten. Es muss beim Verlegen sichergestellt werden, dass die Gitter höhenmäßig ausgerichtet sind und nicht verrutschen können.
Vorhandene Durchbrüche sind im Bereich der Arbeiten entsprechend auszusparen. Der Mehraufwand im Zuschnitt ist durch das Übermessen abgegolten. Der Rückprall des Applikationsmaterials ist arbeitstäglich von der Baumaßnahme zu entfernen und fachgerecht zu entsorgen. Nach den Verstärkungsarbeiten ist eine 7-tägige sorgfältige Nachbehandlung durchzuführen. Während der Nachbehandlung muss sichergestellt werden, das die Bereiche konstant feucht gehalten werden. Das Bauteil ist nach der Verstärkung bis zum Abbinden des Feinbetons für mind. 28 Tage (sofern keine anderen Angaben durch die Statik vorliegen) für jeglichen Personen- und Materialverkehr zu sperren und von Materiallagerung freizustellen! Bei Belastung zu einem früheren Zeitpunkt muss dies statisch nachgewiesen sein. Die Belastung darf erst nach Freigabe erfolgen. Das Einhalten des Arbeitsschutzes ist vorausgesetzt (keine glänzende Oberfläche).

Ausführungsbeschreibung

- **Vorbehandeln:**
  Der Untergrund wird am Vortag der Verstärkungsarbeiten gesäubert und anschließend stark befeuchtet, sodass die Kapillarsättigung des Altbetons einsetzt. Die zu verstärkende Fläche ist bis zum Beginn der Arbeiten konstant feucht zuhalten.
- **Vorbehandlung vor Ausführungsstart:**
  Bevor mit den Verstärkungsarbeiten begonnen werden kann, sind 20 Minuten vor Ausführungsbeginn die zu verstärkenden Bereiche letztmalig mattfeucht zu befeuchten.
- **Feinbeton mischen:**
  Herstellen des Feinbeton nach Herstellerangaben.Während der Ausführung ist je 100 m² oder wenn die zu verstärkende Fläche kleiner als 100 m² ist, mindestens einmal am Tag die Frischmörtel-Rohdichte zu bestimmen. Alle 250 m² oder wenn die zu verstärkende Fläche kleiner als 750 m² ist, jedoch mindestens 3-mal im Projekt, erfolgt die Prüfung der Frischbetonkonsistenz (Ausbreitmaß) mit Hilfe eines Hägermann-Tisches.
- **Aufbringen der 1. CARBOrefit®-Feinbetonschicht:**
  Aufbringen der ersten Schicht TF10 CARBOrefit® Feinbeton. Das Aufbringen des Feinbetons erfolgt im Nassspritzverfahren und ist mit einer MAWO-Düse auszuführen, alternativ ist auch das Handlaminieren erlaubt . Während jedes Spritzvorganges ist eine Schichtstärkenkontrolle zu empfehlen. Die Schicht muss je nach Gittertyp (CARBOrefit®-Typ 1 oder CARBOrefit®-Typ 3) eine Schichtstärke von 3 - 5 mm aufweisen. Es empfiehlt sich die erste Schicht mit geringfügigem Übermaß (+1 bis 2 mm) mehr aufzutragen, damit das Carbongitter nach dem Eindrücken mittig zwischen zwei Feinbetonschichten liegt.
- **Einarbeiten einer Lage Carbongitter:**
  Einlegen der Carbongitter in die frische Feinbetonschicht. Das

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

CARBOrefit®-Carbongitter wird bei diesem Schritt mit Hilfe einer Glättkelle leicht in den frischen Feinbeton eingedrückt. Es ist darauf zu achten das zwischen der Feinbetonschicht und dem Carbongitter keine Hohlräume entstehen, da diese später negative Auswirkungen auf die Verstärkungsschicht haben.

- **Aufbringen der 2. CARBOrefit®-Feinbetonschicht:**
  Aufbringen der zweiten Schicht TF10 CARBOrefit® Feinbeton mit dem Nassspritzverfahren. Die zweite Schicht (Stärke der Gitter wird vernachlässigt) muss 3 - 5 mm aufweisen. Wenn der Verstärkungsprozess unterbrochen werden muss und nicht mehr frisch in frisch gearbeitet werden kann, muss die letzte aufgetragene Feinbetonschicht mit Hilfe eines Besens aufgeraut werden, um eine Rauhe Arbeitsfuge (Rautiefe > 1mm) zu erzeugen. Werden die Arbeiten wieder aufgenommen, muss der Bereich des Besenstrichs abgebürstet und genässt werden. Je nach Angaben der Ausführungsplanung, kann der Schritt 5 und 6 wiederholt werden. Die Position der Carbongitter sowie Stöße, Übergreifungslängen, etc. sind aus der Planung zu entnehmen.
- **Behandlung der Deckschicht:**
  Glätten oder Reiben der letzten Feinbetonschicht (Deckschicht). Das Glätten oder Reiben der Deckschicht kann optional durchgeführt werden. Die Gestaltung der Oberflächebeschaffenheit erfolgt nach den Vorgaben des Planer:innen. Ein Verschieben der Carbongitterlagen und des Feinbetons ist zu verhindern

04.0010 0,000 t **Liefern CARBOrefit®-Feinbeton** ....

Liefern des CARBOrefit®-Feinbetons für die Verstärkung. Verwendbarkeitsnachweis des Feinbeton entsprechend der abZ/aBG des DIBt zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton mit der Zulassungsnummer Z-31.10-182.

Spritzmörtel
Schichtdicke 3-30 mm
Druckfestigkeit nach 1 d ≥ 15 N/mm²
Druckfestigkeit nach 28 d ≥ 80 N/mm²
Biegezugfestigkeit nach 1 d ≥ 3 N/mm²
Biegezugfestigkeit nach 28 d ≥ 6 N/mm²
E-Modul nach 28 d ≥ 25.000 N/mm²
geprüfte Baustoffklasse A1 (DIN EN 13501-1)
im Trinkwasserbereich, geprüft nach DVGW Technische Regeln Arbeitsblatt W 270, W 300, W 347
Feuchtigkeitsklassen WO, WF, WA, WS
Expositionsklassen XO, XC1-XC4, XD1-XD3, XS1-XS3, XF1-XF4*, XA1-XA2**, XM1, XWW1-XWW3
XF4 Nachweis über ein Prüfzeugnis CDF-Verfahren (DIN CEN/TS 12390-9)
** XA2 bei Sulfatangriff bis 600 mg/l SO4

Verbrauch ca. 1,9 kg/m²/mm (ohne Rückprall)
Aufbringen im Nassspritzverfahren

Die Herstellvorschriften und Verarbeitungsrichtlinien des Materialherstellers sind zu beachten und einzuhalten.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

04.0020	0,000	m²	**Liefern der CARBOrefit®-Carbonbewehrung Typ 1, Regelausführung** Liefern der nach statischen Vorgaben vorgeschriebenen CARBOrefit®-Carbongitter. Die Carbongitter müssen den Vorgaben der abZ/aBG Z-31.10-182 entsprechend oder gleichwertige Eigenschaften aufweisen. Verwendbarkeitsnachweis der Carbonbewehrung entsprechen der abZ/aBG des DIBt zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton mit der Zulassungsnummer Z-31.10-182. Gittertyp: CARBOrefit® Typ 1 Regelausführung. Ungleiche Gittertragfähigkeit in Längs- und Querrichtung. Ausführung als ebenes Gitter. Carbongitter CARBOrefit® Typ 1 Regelausführung nach abZ/aBG Z-31.10-182. Eigenschaften der getränkten Faserstränge nach abZ/aBG Z-31.10-182, Tabelle 2.1: • Mittelwert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs: ≥ 1.700 N/mm² • Mittelwert des Elastizitätsmodul des getränkten Faserstrangs: ≥ 170.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 1.550 N/mm² • Charakteristischer Wert der Bruchdehnung des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 0,75 % • Einzelwert des Elastizitätsmoduls des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 160.000 N/mm² und ≤ 260.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der auf die Faserstranglängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Faserstrangs: 4,0 N/mm Richtungen der Faserstränge (Längs-/Querrichtung): 0°/90° Bewehrungsquerschnitt (Längs-/Querrichtung): 142/28 mm²/m Gitterweite (Längs-/Querrichtung): 12,7 | 16 +0/-2 mm Lieferabmessungen: auf Anfrage bei Hersteller, bauseits zuschneidbar. Lieferung und Lagerung nach Angaben des Planers. Die aktuellen technischen Unterlagen des Herstellers sowie die abZ/aBG Z-31.10-182 sind zu beachten. Eine direkte Begehung der Bewehrung im Zuge der Ausführungsarbeiten ist zu vermeiden. Zusatzaufwand für die Herstellung und Vorhaltung von Laufwegen z.B. aus Schaltafeln sind einzukalkulieren. Direkter Kontakt zwischen metallischen Komponenten und der Carbonfaserbewehrung ist zwingend auszuschließen. Die Flächenangabe bezieht sich auf die reine Ansichtsfläche des Bauteils - ohne Berücksichtigung von Übergreifungslängen, Verschnitt und Gitter für begleitende Prüfungen. Diese Menge ist in Pos. 04.__.0100 vergütet. Die statisch erforderliche Lagenanzahl wird bei der Flächenangabe berücksichtigt.	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

04.0030	0,000	m²	**Liefern der CARBOrefit®-Carbonbewehrung Typ 1, Sonderausführung** Liefern der nach statischen Vorgaben vorgeschriebenen CARBOrefit®-Carbongitter. Die Carbongitter müssen den Vorgaben der abZ/aBG Z-31.10-182 entsprechend oder gleichwertige Eigenschaften aufweisen. Verwendbarkeitsnachweis der Carbonbewehrung entsprechen der abZ/aBG des DIBt zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton mit der Zulassungsnummer Z-31.10-182. Gittertyp: CARBOrefit® Typ 1 Sonderausführung. Ungleiche Gittertragfähigkeit in Längs- und Querrichtung. Ausführung als ebenes Gitter. Carbongitter CARBOrefit® Typ 1 Sonderausführung nach abZ/aBG Z-31.10-182. Eigenschaften der getränkten Faserstränge nach abZ/aBG Z-31.10-182, Tabelle 2.1: • Mittelwert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs: ≥ 1.700 N/mm² • Mittelwert des Elastizitätsmodul des getränkten Faserstrangs: ≥ 170.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 1.550 N/mm² • Charakteristischer Wert der Bruchdehnung des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 0,75 % • Einzelwert des Elastizitätsmoduls des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 160.000 N/mm² und ≤ 260.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der auf die Faserstranglängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Faserstrangs: 4,0 N/mm Richtungen der Faserstränge (Längs-/Querrichtung): 0°/90° Längsrichtung = Kettrichtung Querrichtung = Schussrichtung Bewehrungsquerschnitt: $n_K = \frac{1.000}{a_K\,[mm]} \cdot \frac{1}{m}$, $a_{Kf,nm} = n_K \cdot A_{Kf,nm}$, $A_{Kf,nm} = 1{,}8$ mm² a_K Gitterweite der Faserstränge in Kettrichtung Längsrichtung min. 140 mm²/m $n_S = \frac{1.000}{a_S\,[mm]} \cdot \frac{1}{m}$, $a_{Sf,nm} = n_S \cdot A_{Sf,nm}$, $A_{Sf,nm}$ = 0,45 mm² für 12 K-Fasern, $A_{Sf,nm}$ = 1,8 mm² für 48 K / 50 K-Fasern und a_S Gitterweite der Faserstränge in Schussrichtung Querrichtung min. 20% der Längsrichtung, max. Längsrichtung Gitterweite (Längs-/Querrichtung): ..... mm Lieferabmessungen: auf Anfrage bei Hersteller, bauseits zuschneidbar. Lieferung und Lagerung nach Angaben des Planers. Die aktuellen technischen Unterlagen des Herstellers sowie die abZ/aBG Z-31.10-182 sind zu beachten. Eine direkte Begehung der Bewehrung im Zuge der Ausführungsarbeiten ist zu vermeiden. Zusatzaufwand für die Herstellung und Vorhaltung von Laufwegen z.B. aus Schaltafeln sind einzukalkulieren.	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

			Direkter Kontakt zwischen metallischen Komponenten und der Carbonfaserbewehrung ist zwingend auszuschließen. Die Flächenangabe bezieht sich auf die reine Ansichtsfläche des Bauteils - ohne Berücksichtigung von Übergreifungslängen, Verschnitt und Gitter für begleitende Prüfungen. Diese Menge ist in Pos. 04.__.0100 vergütet. Die statisch erforderliche Lagenanzahl wird bei der Flächenangabe berücksichtigt.		
04.0040	0,000	m²	**Liefern CARBOrefit®-Carbonbewehrung Typ 3, Regelausführung** Liefern der nach statischen Vorgaben vorgeschriebenen CARBOrefit®-Carbongitter. Die Carbongitter müssen den Vorgaben der abZ/aBG Z-31.10-182 entsprechen oder gleichwertige Eigenschaften aufweisen. Verwendbarkeitsnachweis der Carbonbewehrung entsprechend der abZ/aBG des DIBt zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton mit der Zulassungsnummer Z-31.10-182. Gittertyp: CARBOrefit® Typ 3 Regelausführung. Ungleiche Gittertragfähigkeit in Längs- und Querrichtung. Ausführung als ebenes Gitter. Carbongitter CARBOrefit® Typ 3 Regelausführung nach abZ/aBG Z-31.10-182. Eigenschaften der getränkten Faserstränge nach abZ/aBG Z-31.10-182, Tabelle 2.1: • Mittelwert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs:≥ 2.700 N/mm² • Mittelwert des Elastizitätsmodul des getränkten Faserstrangs: ≥ 170.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 2.250 N/mm² • Charakteristischer Wert der Bruchdehnung des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 1,1 % • Einzelwert des Elastizitätsmoduls des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 160.000 N/mm² und ≤ 260.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der auf die Faserstranglängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Faserstrangs: ≥ 10,0 N/mm Richtungen der Faserstränge (Längs-/Querrichtung): 0°/90° Bewehrungsquerschnitt (Längs-/Querrichtung): 142/28 mm²/m Gitterweite (Längs-/Querrichtung): 12,7 | 16 +0/-2 mm Lieferabmessungen: auf Anfrage bei Hersteller, bauseits zuschneidbar Lieferung und Lagerung nach Angaben des Planers. Die aktuellen technischen Unterlagen des Herstellers sowie die abZ/aBG Z-31.10-182 sind zu beachten. Eine direkte Begehung der Bewehrung im Zuge der Ausführungsarbeiten ist zu vermeiden. Zusatzaufwand für die Herstellung und Vorhaltung von Laufwegen z.B. aus Schaltafeln sind einzukalkulieren.	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Direkter Kontakt zwischen metallischen Komponenten und der Carbonfaserbewehrung ist zwingend auszuschließen.

Die Flächenangabe bezieht sich auf die reine Ansichtsfläche des Bauteils - ohne Berücksichtigung von Übergreifungslängen, Verschnitt und Gitter für begleitende Prüfungen. Diese Menge ist in Pos. 04.__.0100 vergütet.
Die statisch erforderlich Lagenanzahl wird bei der Flächenangabe berücksichtigte.

04.0050	0,000	m²	**Liefern CARBOrefit®-Carbonbewehrung Typ 3, Sonderausführung** Liefern der nach statischen Vorgaben vorgeschriebenen CARBOrefit®-Carbongitter. Die Carbongitter müssen den Vorgaben der abZ/aBG Z-31.10-182 entsprechen oder gleichwertige Eigenschaften aufweisen. Verwendbarkeitsnachweis der Carbonbewehrung entsprechend der abZ/aBG des DIBt zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton mit der Zulassungsnummer Z-31.10-182. Gittertyp: CARBOrefit® Typ 3 Sonderausführung. Ungleiche Gittertragfähigkeit in Längs- und Querrichtung. Ausführung als ebenes Gitter. Carbongitter CARBOrefit® Typ 3 Sonderausführung nach abZ/aBG Z-31.10-182. Eigenschaften der getränkten Faserstränge nach abZ/aBG Z-31.10-182, Tabelle 2.1: • Mittelwert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs: ≥ 2.700 N/mm² Mittelwert des Elastizitätsmodul des Mittelwert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs: ≥ 2.700 N/mm² • Mittelwert des Elastizitätsmoduls des getränkten Faserstrangs: ≥ 170.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 2.250 N/mm² • Charakteristischer Wert der Bruchdehnung des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 1,1 % • Einzelwert des Elastizitätsmoduls des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton: ≥ 160.000 N/mm² und ≤ 260.000 N/mm² • Charakteristischer Wert der auf die Faserstranglängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Faserstrangs: ≥ 10,0 N/mm Richtungen der Faserstränge (Längs-/Querrichtung): 0°/90° Längsrichtung = Kettrichtung Querrichtung = Schussrichtung Bewehrungsquerschnitt: $n_K = \frac{1.000}{a_K\,[mm]} \cdot \frac{1}{m}$, $a_{Kf,nm} = n_K \cdot A_{Kf,nm}$, $A_{Kf,nm} = 1{,}8$ mm² a_K Gitterweite der Faserstränge in Kettrichtung Längsrichtung min. 35,4 mm²/m	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

$n_S = \frac{1.000}{a_S\,[mm]} \cdot \frac{1}{m}$, $a_{Sf,nm} = n_S \cdot A_{Sf,nm}$, $A_{Sf,nm}$ = 0,45 mm² für 24 K-Fasern, $A_{Sf,nm}$ = 1,8 mm² für 48 K / 50 K-Fasern und
a_S Gitterweite der Faserstränge in Schussrichtung
Querrichtung min. 20% der Längsrichtung, max. Längsrichtung
Gitterweite (Längs-/Querrichtung): ..... mm
Lieferabmessungen: auf Anfrage bei Hersteller, bauseits zuschneidba
Lieferung und Lagerung nach Angaben des Planers. Die aktuellen technischen Unterlagen des Herstellers sowie die abZ/aBG Z-31.10-182 sind zu beachten.
Eine direkte Begehung der Bewehrung im Zuge der Ausführungsarbeiten ist zu vermeiden. Zusatzaufwand für die Herstellung und Vorhaltung von Laufwegen z.B. aus Schaltafeln sind einzukalkulieren.
Direkter Kontakt zwischen metallischen Komponenten und der Carbonfaserbewehrung ist zwingend auszuschließen.

Die Flächenangabe bezieht sich auf die reine Ansichtsfläche des Bauteils - ohne Berücksichtigung von Übergreifungslängen, Verschnitt und Gitter für begleitende Prüfungen. Diese Menge ist in Pos. 04.__.0100 vergütet.
Die statisch erforderlich Lagenanzahl wird bei der Flächenangabe berücksichtigte.

04.0060 0,000 m² **Umformen und Liefern nichtmetallischer CARBOrefit®-Formbewehrung Profilform: L** ....
CARBOrefit®-Formbewehrung aus dauerhaftem und medienbeständigem, carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) aus der ebenen Bewehrung der Pos. 04.0020 / 30 / 40 / 50 umformen.
Ausführung als Formgitter.

Bewehrungspositionen gemäß Planunterlagen:
Pos. …: Konstruktive Bewehrung

Liefer-Abmessungen:
Profilform: L
Abmessungen entsprechend den Angaben des Planers in der finalen Ausführungsplanung.
Voraussichtliche Abmessungen:
Schenkellänge B1 = … cm,
Öffnungswinkel α = … °,
Schenkellänge B2 = … cm,
Einzellänge der Profile L = … m,
Biegerollendurchmesser D_{br} = … mm,
bauseits zuschneidbar.

04.0070 0,000 m² **Umformen und Liefern nichtmetallischer CARBOrefit®-Formbewehrung Profilform: U** ....
CARBOrefit®-Formbewehrung aus dauerhaftem und medienbeständigem, carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) aus der ebenen Bewehrung der Pos. 04.0020 / 30 / 40 / 50 umformen.
Ausführung als Formgitter.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

			Bewehrungspositionen gemäß Planunterlagen: Pos. …: Konstruktive Bewehrung Liefer-Abmessungen: Profilform: U Abmessungen entsprechend den Angaben des Planers in der finalen Ausführungsplanung. Schenkellänge B1 = … cm, Öffnungswinkel α1/2 = … °, Schenkellänge B2 = … cm, Öffnungswinkel α2/3 = … °, Schenkellänge B3 = … cm, Einzellänge der Profile L = … m, Biegerollendurchmesser D_{br} = … mm, bauseits zuschneidbar.		
04.0080	0,000	m²	**Umformen und Liefern nichtmetallischer CARBOrefit®-Formbewehrung Profilform: Z** CARBOrefit®-Formbewehrung aus dauerhaftem und medienbeständigem, carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) aus der ebenen Bewehrung der Pos. 04.0020 / 30 / 40 / 50 umformen. Ausführung als Formgitter. Bewehrungspositionen gemäß Planunterlagen: Pos. …: Konstruktive Bewehrung Liefer-Abmessungen: Profilform: Z Abmessungen entsprechend den Angaben des Planers in der finalen Ausführungsplanung. Voraussichtliche Abmessungen: Schenkellänge B1 = … cm, Öffnungswinkel α1/2 = … °, Schenkellänge B2 = … cm, Öffnungswinkel α2/3 = … °, Schenkellänge B3 = … cm, Einzellänge der Profile L = … m, Biegerollendurchmesser D_{br} = … mm, bauseits zuschneidbar.	.....	.....
04.0090	0,000	m²	**Umformen und Liefern nichtmetallischer CARBOrefit®-Formbewehrung Profilform: Freiform** CARBOrefit®-Formbewehrung aus dauerhaftem und medienbeständigem, carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) aus der ebenen Bewehrung der Pos. 04.0020 / 30 / 40 / 50 umformen. Ausführung als Formgitter. Bewehrungspositionen gemäß Planunterlagen: Pos. …: Konstruktive Bewehrung Liefer-Abmessungen: Profilform: Freiform	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

			Abmessungen entsprechend den Angaben des Planers in der finalen Ausführungsplanung. Bauseits zuschneidbar.		
04.0100	0,000	Psch	**Aufmaß/Zuschnitt** Aufmaß, Zu-, Ausschnitte, sowie Verankerungs- und Übergreifungslängen der CARBOrefit®-Carbongitter erfolgen unter vorheriger Prüfung der Maße am Bestand und sind entsprechend der Herstellerangaben, der abZ/aBG Z-31.10-182 bzw. der Ausführungsplanung im Positionspreis einzukalkulieren. Es erfolgt keine gesonderte Vergütung.	.....	.....
04.0110	0,000	m²	**Auftrag der ersten Feinbetonschicht** Auftrag im Nassspritzverfahren oder im Handlaminieren Schichtdicke: 3 - 5 mm Inkl. der zu berücksichtigenden Arbeitsunterbrechungen und Ausbildung von Arbeitsfugen Prüfung, Dokumentation der Schichtdicke, der Düseneinstellung, der verarbeitenden Feinbetonmenge und das mischen des Betons. Rückprall und Betonreste sind zu entsorgen	.....	.....
04.0120	0,000	m²	**mehrlagige Verstärkung gem. Pos. 04.0110** Wiederholung gem. Pos. 04.0110 je nach statischem Erfordernis bzw. Ausführungsplanung	.....	.....
04.0130	0,000	m²	**Zulage zu Pos. 04.0110** Zulage für das Auftragen des Feinbeton überkopf gem. Pos. 04.0110	.....	.....
04.0140	0,000	m²	**Einbringen und Einarbeiten der Gitter** Einbringen und Einarbeiten der Gitter unter Berücksichtigung der Vorgaben (Übergreifungslängen, Haupttragrichtung, etc.) der Ausführungsplanung. Prüfung und Dokumentation der geforderten Übergreifungslängen und der verarbeitenden Gitter. Abrechunung erfolgt nach der Ansichtsfläche, Überprüfungslängen werden nicht berücksichtigt. Prüfung der Lagengenauigkeit.	.....	.....
04.0150	0,000	m²	**mehrlagige Verstärkung gem. Pos. 04.0140** Wiederholung gem. Pos. 04.0140 je nach statischem Erfordernis bzw. Ausführungsplanung	.....	.....
04.0160	0,000	m²	**Zulage zu Pos. 04.0140** Zulage für das Einarbeiten der Gitter überkopf gem. Pos. 04.0140 inkl. notwendiger temporärer Unterstützungen	.....	.....
04.0170	0,000	m²	**Zulage Anwendung von CARBOrefit®-Formbewehrung** Einbringen und Einarbeiten der CARBOrefit®-Formgitter unter Berücksichtigung der Vorgaben (Übergreifungslängen, Haupttragrichtung,	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

			etc.) der Ausführungsplanung. Prüfung und Dokumentation der geforderten Übergreifungslängen und der verarbeiteten Gitter. Abrechnung erfolgt nach der Ansichtsfläche. Prüfung der Lagengenauigkeit.		
04.0180	0,000	m²	**Auftrag der Feinbetonabschlussschicht** Auftrag im Nassspritzverfahren oder im Handlaminieren Schichtdicke: 3 - 5 mm Inkl. der zu berücksichtigenden Arbeitsunterbrechungen und Ausbildung von Arbeitsfugen Prüfung, Dokumentation der Schichtdicke, der Düseneinstellung, der verarbeitenden Feinbetonmenge und das mischen des Betons. Rückprall und Betonreste sind zu entsorgen.	.....	.....
04.0190	0,000	m²	**Zulage zu Pos. 04.0180** Zulage für das Auftragen des Feinbeton Überkopf gem. Pos. 04.0180	.....	.....
04.0200	0,000	lfm	**Zulage Gratausbildung** Die Gratausbildung umfasst die präzise Gestaltung von scharfkantigen Graten unter Einbeziehung von Hilfsschalungen. Hierbei wird auf eine sorgfältige Ausbildung der Grate Wert gelegt, um eine glatte und gleichmäßige Oberfläche gemäß den vorgegebenen Anforderungen zu gewährleisten. Als Teil dieser Tätigkeit ist die Erstellung und Installation von temporären Kantenschalungen vorgesehen, um die Arbeit an den Graten zu erleichtern und ihre Integrität während des Prozesses zu sichern. Der Leistungsumfang erstreckt sich auch auf die Beschaffung des benötigten Materials, das präzise Zuschneiden der Schalungskomponenten sowie den fachgerechten Einbau entlang der scharfkantigen Grate. Nach Abschluss der Arbeiten wird die ordnungsgemäße Entfernung der Hilfsschalungen durchgeführt, wobei darauf geachtet wird, keine Schäden zu verursachen.	.....	.....
04.0210	0,000	lfm	**Zulage Kehlausbildung** Die Kehlausbildung umfasst die präzise Ausgestaltung von Eckkehlen unter Einbeziehung von geeignetem Hilfsmittel. Hierbei wird besonderer Wert auf eine akkurate Formgebung der Ecken gelegt, um eine ebenmäßige und ansprechende Oberfläche gemäß den festgelegten Standards zu gewährleisten.	.....	.....
04.0220	0,000	m²	**Nachbehandlung** Mindestens 7-tägige sorgfältige Nachbehandlung mit feuchten Jutebahnen, Planen o.ä., je nach Witterung auch mit Folien oder wärmedämmenden Maßnahmen zum Schutz vor Witterungseinflüssen und vorzeitigem Austrocknen der Verstärkungsfläche. Während der Nachbehandlung muss sichergestellt werden, dass die Jutebahnen o.ä. konstant feucht gehalten werden.	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

04.0230	0,000	m²	**Zulage zu Pos. 04.0220** Zulage für die Nachbehandlung des Feinbeton überkopf gem. Pos. 04.0220	.....	.....
04.0240	0,000	Stk	**Verschließen der Löcher von den Haftzugprüfungen** Verschluss der Löcher der erfolgten Haftzugversuche oberflächengleich zur Umgebung.	.....	.....
04.0250	0,000	Psch	**Bauüberwachung der Carbonbeton-Verstärkung** Die Bauüberwachung umfasst eine Vielzahl von essenziellen Aufgaben. Die Aufgabenstellung beinhaltet die kontinuierliche Überwachung und exakte Steuerung des Baufortschritts, der strikt in Übereinstimmung mit dem vorab etablierten Zeitplan voranzutreiben ist. Im Falle potenzieller Verzögerungen oder absehbarer Engpässe soll eine proaktive Vorgehensweise ergriffen werden. Hierbei werden derartige Situationen identifiziert und entsprechend wirkungsvolle Gegenmaßnahmen konzipiert, um das Projekt wieder auf den vorgesehenen Kurs zu bringen. Gleichzeitig erfährt die akribische Einhaltung sämtlicher geltender UV- und behördlichen Vorschriften während des gesamten Bauprozesses höchste Priorität. Dies schließt die Koordination von notwendigen Genehmigungen und Prüfungen mit ein. Die Gewährleistung der präzisen Ausführung der Carbonbeton-Verstärkungsmaßnahmen gemäß der abZ/aBG Z-31.10-182 stellt einen weiteren wesentlichen Bestandteil dieser Tätigkeit dar. In enger Zusammenarbeit mit branchenspezifischen Experten werden umfassende Qualitätskontrollen und -prüfungen durchgeführt, um die einwandfreie Umsetzung zu garantieren. Neben diesen Hauptaufgaben ist es äußerst wichtig, eine umfassende Projektdokumentation sorgfältig zu führen. Dazu gehören detaillierte Berichte, Protokolle und auch Fotos, die den gesamten Ablauf des Projekts auf klare und verständliche Weise dokumentieren. Am Ende werden umfassende Abschlussberichte erstellt und die abschließende Dokumentation wird in bestmöglichem Zustand dem Auftraggeber übergeben	.....	.....
04.0260	0,000	Psch	**Entsorgung Verschnitt Carbongitter** Die Abfälle aus der Konfektionierung oder Anpassungsarbeiten des Carbongitters sind ordnungsgemäß zu entsorgen. Die Abfälle gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV, Stand 2020) gekennzeichnet werde. Hier bietet sich der Schlüssel „07 02 13 Kunststoffabfälle“ (enthält Carbonfasern) oder "170107 mineralische Bauabfälle" an. Dieser Abfallschlüssel sollte für ausgehärtete CFK-Abfälle angewendet werden.	.....	.....

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

4 Ausführung von CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkungen

© CARBOCON GMBH

4 Ausführung von CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkungen

4.1 Allgemeines

Die fachgerechte Ausführung von CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkungen stellt eine komplexe und verantwortungsvolle Aufgabe dar. Durch die ausführenden Unternehmen werden vor Ort auf der Baustelle die Einzelkomponenten – also der CARBOrefit®-Feinbeton sowie die CARBOrefit®-Carbongitter – zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Dies erfordert ein tiefergehendes Verständnis für die materialspezifischen Eigenschaften des Baustoffs Carbonbeton und die Funktionsweise des CARBOrefit®-Verfahrens. Durch die abZ/aBG [1] werden ausführungsspezifische Randbedingungen an das Bauwerk als auch an den Instandsetzungsbetrieb genannt. In diesem Kapitel der Planungsmappe sind unterstützend dazu, zahlreiche Merkblätter mit Zusammenfassungen relevanter Inhalte und Hilfestellungen für die Ausführung erhältlich. Dazu zählen z. B. Übersichtsblätter zum Verfahren, zur Schulung und zur Ausführung sowie eine Checkliste zur Baustelleneinrichtung, Begleitblätter zu den durchzuführenden Prüfungen sowie eine Liste mit allen Firmen, die aktuell den CARBOrefit®-Eignungsnachweis führen.

Für Fragen rund um das Thema Ausführung können Sie sich gerne an folgenden Kontakt wenden, wir helfen Ihne schnellstmöglich weiter:

Kontakt:

Frau Miriam Melzer

+49 351 48205 521

info@carborefit.de

4.2 Anforderungen an das Bauwerk und die Verstärkungsschicht

Im Rahmen der Erfassung des Ist-Zustandes sind Schäden (z. B. Risse, Abplatzungen, Korrosion) aufzunehmen und bei Bedarf durch einen Sachkundigen Planer zu bewerten. Des Weiteren ist die Karbonatisierungstiefe, die Art der Bewehrung und deren Lage sowie Erhaltungszustand zu ermitteln. Neben der Bestimmung der Betondruckfestigkeit [3] ist die Oberflächenzugfestigkeit $f_{ctm,surf}$ nach [4] zu prüfen und ein Erwartungswert von 1,0 N/mm² nachzuweisen.

Vor Aufbringung des CARBOrefit®-Verstärkungssystems muss eine raue Oberfläche hergestellt werden. Die raue Fuge gewährleistet die Kraftübertragung zwischen der Verstärkungsschicht und dem Bestand. Als Anforderung aus der abZ/aBG [1] wird die Freilegung einer Gesteinskörnung ≥ 4 mm sowie eine mittlere Rautiefe von 1 mm definiert. Wird im Rahmen der Verstärkungsmaßnahme eine Betonsanierung ausgeführt und eine Reprofilierungsschicht aufgebracht, so muss die Oberflächenzugfestigkeit ebenfalls geprüft und eine raue Fuge hergestellt werden. Die Betonoberfläche kann mittels konventioneller Verfahren, wie beispielsweise das Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln oder dem Hochdruckwasserstrahlen vorbereitet werden. Im Zuge der Betonsanierung kann eine raue Fuge z. B. durch Besenstrich realisiert werden. Die Betondeckung der Bestandsbewehrung muss mindestens 10 mm betragen und die Altbetonoberfläche möglichst eben sein. Lokale Unebenheiten im Bereich 3 mm bis 30 mm können mit dem CARBOrefit®-Feinbeton reprofiliert werden. Das Verstärken von gekrümmten Flächen, wie sie bei Bogen- und Schalenkonstruktionen auftreten, ist entsprechend der abZ/aBG [1] möglich. Für einsinnig-konkave Krümmungen, bei denen die Verstärkungsschicht unter Belastung vom Altbeton weggezogen wird, ist ein Nachweis durch den Tragwerksplanenden zuführen.

Unmittelbar vor der Ausführung ist die Betonoberfläche zu reinigen und spätestens 24 Stunden vor dem Beginn der Verstärkungsarbeiten eine Befeuchtung nach den Vorgaben der TR Instandhaltung

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

durchzuführen. 20 Minuten vor Beginn des Materialauftrages ist die Oberfläche letztmalig mattfeucht zu nässen. Der Auftrag des Verstärkungssystem erfolgt im Handlaminier- oder Nassspritzverfahren mit der MAWO-Düse. Die Anwendung mit der MAWO-Düse ist in Anlage 4 der abZ/aBG [1] ausführlich beschrieben. Bei beiden Applikationsverfahren werden die CARBOrefit®-Komponenten lagenweise aufgetragen. Beginnend mit einer ersten CARBOrefit®-Feinbetonschicht wird das System auf die vorbereitete Betonoberfläche aufgetragen. In die frische Schicht wird eine Bewehrungslage CARBOrefit®-Gitter eingeglätet und eine weitere Feinbetonschicht aufgetragen. Sind weitere Bewehrungslagen vorgesehen, so wird dieser Prozess wiederholt und eine abschließende Deckschicht aus dem Feinbeton hergestellt. Bei einer mehrlagig-bewehrten Verstärkungsschicht sind die jeweiligen Feinbetonschichten mit gleicher Schichtstärke aufzubringen. In Haupttragrichtung sind die Gitter einer jeden Bewehrungslage mit einem Übergreifungsstoß des jeweiligen CARBOrefit®-Typs auszuführen. In Querrichtung ist ein konstruktives Mindestmaß von 10 cm als Übergreifung anzuordnen.

Tabelle 2: Anforderungen an die Ausführung der CARBOrefit®-Typen [1]

Anforderung	**CARBOrefit®-Typ 1**	**CARBOrefit®-Typ 3**
Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge in Tragrichtung l_{brqd}	2.450 mm*	500 mm*
Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge in Nebentragrichtung l_{br}	100 mm	100 mm
Mindestmaß der Betondeckung in Bezug auf den Gitterschwerpunkt	3 mm	5 mm

* bei statischer Ausnutzung des Bemessungswerts der Zugfestigkeit

Im Zuge der Verstärkungsarbeiten kann es beispielsweise durch Schichtwechsel oder Überschreitung der Verarbeitungszeit zu einer Unterbrechung der Verstärkungsarbeiten kommen. Dabei kann es vorkommen, dass die Unterbrechung innerhalb einer Gitterlage an der Übergreifung oder zwischen zwei Gitterlagen in der Feinbetonschicht erfolgt. In beiden Fällen ist durch das Baustellenpersonal eine fachmännische Arbeitsfuge herzustellen. Die Arbeitsfuge in der Feinbetonschicht kann durch Besenstrich rau abgezogen werden und ist bei Wiederaufnahme der Verstärkungsarbeiten zu reinigen und befeuchten. Kommt es zur Unterbrechung in der Gitterlage, können die Gitterenden in der Übergreifung entweder abgestellt oder eine dünne Deckschicht mit Besenstrich appliziert werden. Bei der Ausführung ist darauf zu achten, dass die Verarbeitungs- sowie die Bauteiltemperatur im Bereich von 5 °C bis 30 °C liegt. Eine leitende Verbindung zwischen der Bestandsbewehrung und den Carbongittern ist aus Gründen einer möglichen Kontaktkorrosion auszuschließen.

Hinweis: Die Betonsanierung ist nicht Bestandteil der Tragwerksverstärkung und durch einen Sachkundigen Planer auszuarbeiten. Sind aus Sicht der statischen Ertüchtigung abweichende Anforderungen nötig, sind diese durch den Tragwerksplanenden vorzugeben.

4.3 Anforderungen an die ausführende Firma und deren Personal

Für die Ausführung des CARBOrefit®-Verfahrens kommen Fachbetriebe aus dem Bereich der Bauwerkserhaltung mit tiefergehenden Qualifikationen in der Betoninstandsetzung in Frage. Wie bei den konventionellen Sanierungslösungen müssen das Baustellenfachpersonal und die qualifizierten Führungskräfte der ausführenden Firmen Fachkenntnisse in den anerkannten Regeln der Technik im Bereich der Bauwerkserhaltung aufweisen. Dies betrifft unter anderem:

- Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauteilen“ (TR Instandhaltung) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- DAfStb-Richtlinie – Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie) des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton e. V.
- „Sachkundiger Planer für die Instandhaltung von Betonbauteilen“ beim Deutschen Institut für Prüfung und Überwachung e. V.

Für das Baustellenfachpersonal ist eine Fortbildung mit Nachweis zum SIVV-Schein (Schützen, Instandsetzen, Verbinden und Verstärken von Betonbauteilen) des Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein e. V. verpflichtend. Wird das CARBOrefit®-Verfahren im Nasssprizverfahren angewendet, wird im Rahmen der ZTV-Ing (Brückenbau) und ZTV-W (Wasserbau) ein Düsenführerschein für den Düsenanwender vorausgesetzt. Für die Ausführung im Hochbau wird dieser Nachweis ebenfalls empfohlen.

Um die Qualität und Sicherheit von CARBOrefit®-Carbonbetonverstärkungen sicherzustellen, ist eine zusätzliche Teilnahme an einer Schulung durch die CARBOCON GMBH und eine Zertifizierung durch eine anerkannte Prüfstelle eine verpflichtende Voraussetzung für ausführende Unternehmen [1].

Die Ausführung des CARBOrefit®-Verfahrens setzt das Führen des Eignungsnachweises zum Verstärken mit Carbonbeton voraus, welcher durch die Gemeinschaft für Überwachung im Bauwesen e.V. (GÜB) für jeweils 3 Jahre erteilt wird [2]. Die GÜB ist ebenfalls als Fremdüberwachungsstelle für die Verstärkungsarbeiten in Anwendung des CARBOrefit®-Verfahrens anerkannt und eizuschalten [5].

4.4 Schulung und Zertifizierung

Damit sich ein Unternehmen für das CARBOrefit®-Verfahren zertifizieren lassen kann, werden durch das DIBt im Rahmen der abZ/aBG [1] und der Grundsätze des Eignungsnachweises [2] Voraussetzungen an das Baustellenfachpersonal sowie die qualifizierten Führungskräfte gestellt, welche in Abschnitt 4.3 genannt sind. Die Voraussetzungen sind notwendig, um eine Ausführung nach den höchsten Ansprüchen an Qualität und Sicherheit zu gewährleisten. Im Schulungs- und Zertifizierungsprozess werden zentrale Kenntnisse für die Ausführung der Verstärkungsarbeiten übermittelt. Der Ablauf der 2- bis 3-tägigen Schulung ist der Folgende:

1. Obligatorische Theorieschulung und -prüfung
2. Fakultative Praxisschulung
3. Obligatorische Demonstrationsprüfung

In der Theorieschulung werden durch die CARBOCON GMBH als Antragsteller der abZ/aBG die Grundlagen zum Werkstoff Carbonbeton, die Grundlagen zum Verstärken mit Carbonbeton, die Inhalte und der Regelungsgegenstand der abZ/aBG sowie Arbeitsvorbereitung und Ausführung der Verstärkungsarbeiten mit den durchzuführenden Eigen- und Fremdüberwachungsleistungen vermittelt. Der Tageskurs schließt mit einer Multiple-Choice-Prüfung und einem Teilnahmenachweis ab.

Gemeinsam mit den Konsortialpartnern bietet die CARBOCON GMBH ebenfalls die Praxisschulung in Vorbereitung auf die zertifizierende Demonstrationsprüfung an. Neben der praktischen Anwendung des Verstärkungsverfahrens, den materialspezifischen Kenntnissen und der Herstellung von kleinteiligen Probekörpern aus Carbonbeton wird die Vorbereitung und Durchführung einer Carbonbetonverstärkung gezeigt. Bei der fakultativen Praxisschulung handelt es sich wie bei der Theorieschulung um einen Tageskurs.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Die Befugnis zur Vergabe von Eignungsnachweisen für Carbonbetonverstärkungsarbeiten liegt bei der GÜB [5]. Unternehmen werden von der GÜB nach einer Theorieschulung und einer erforderlichen Praxisprüfung zertifiziert. Folgende Inhalte werden im Rahmen der praktischen Demonstrationsprüfung bewertet:

- Vorführung und Abnahme der erforderlichen Vorrichtungen zum Ausführen der Verstärkungsmaßnamen
- die Überprüfung der Bauprodukte auf Konformität, Vorbereitung der Carbongitter und das Vorbereiten der Betonoberfläche im Zuge der Vorbereitung der Verstärkungsmaßnahme
- Anwendung des MAWO-Dichtstromverfahrens zur Verstärkung der Demonstrationsplatten
- Herstellung kleinteiliger Prüfkörper zur Überprüfung der Ausführungsqualität (Carbonbetonplatte für Verbundversuche und Feinbetonprismen)
- Ermittlung mechanischer Kennwerte zur Überwachung der Verstärkungsmaßnahme (z. B. Feinbetonroh- und Feinbetondichte, Ausbreitmaß, Druck- und Biegezugfestigkeit sowie Charakterisierung der Verbund- und Haftzugfestigkeit)
- Überprüfung der Lagegenauigkeit der Carbongitter durch kreuzweises Schlitzen der Verstärkungsschicht sowie Dokumentation aller Verstärkungsarbeiten

Im Abschnitt 2.6 wird ein Überblick über das Überwachungs- und Zertifizierungssystem für das CARBOrefit®-Verfahren gegeben. Weitere Informationen finden Sie im Tagungsbeitrag [6], welcher ebenfalls mit den Grundsätzen zum Eignungsnachweis [2] dem Kapitel 5 angehängt ist. Auf Basis der Zulassung [1], der Planungsmappe und der Schulung können zertifizierte Firmen mit einem gültigen Eignungsnachweis Verstärkungen nach dem CARBOrefit®-Verfahren selbstständig ausführen. Im Merkblatt 4.06 sind die zertifizierten Firmen mit aktuell gültigem Eignungsnachweis aufgelistet.

Quellen:

[1] DIBt (2023) Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182 „CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.

[2] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen: Berlin, Mai 2022

[3] DIN EN 13791 (2020-02): Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen;

[4] DIN EN 1542 (1999-07): Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch

[5] Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen (PÜZ-Verzeichnis), Ausgabe 2023 (Stand 1. Januar 2023). Deutsches Institut für Bautechnik

[6] Krauße, L.; May, M.; Schumann, A.: Überwachung und Zertifizierung von CARBOrefit® - die bauaufsichtliche Regelung für Hersteller und ausführende Firmen. In: Tagungsband Carbon- und Textilbetontage 2022, Dresden.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 4.01	Handlungsempfehlung für die Ausführung des CARBOrefit®-Verfahren

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

In diesem Merkblatt wird der Prozess des Verstärkens vorgestellt und eine detaillierte Dokumentation, mit Hilfe von Bildern, über die einzelnen Arbeitsschritte gegeben.

1 Ablauf der Ausführungsarbeiten

Die Verstärkungsarbeiten können im Wesentlichen in drei Abschnitte unterteilt werden:

- 1. Vorbehandlung
- 2. Verstärkungsarbeiten
- 3. Nachbehandlung.

Bevor mit der Vorbehandlung begonnen werden kann, muss die Oberflächenzugfestigkeit geprüft und gegebenenfalls noch eine Betoninstandsetztung durchgeführt werden. Die Vorbehandlung umfasst das Säubern der gestrahlten Altbetonoberfläche mit Hilfe eines Besens oder ähnliches und das anschließende Wässern der Oberfläche. Die Oberfläche des Altbeton muss optimalerweise 24 h vor Beginn der Arbeiten, dann alle 2 h, letztmals 2 h vor Beginn der Arbeiten genässt und nass gehalten (mattfeucht) werden, damit die Kapillarporen des Betons der zu verstärkenden Fläche mit Wasser gesättigt sind. Anschließend kann mit der Verstärkungsmaßnahme begonnen werden.

Vor dem Beginn der Spritzarbeiten müssen, insofern die CARBOrefit®-Gitter nicht vorkonfektioniert sind, die Gitter entsprechen der Ausführungsplanung zugeschnitten werden. Weiterhin muss auch der Betonmischer und die Betonpumpe für die Verstärkungsarbeiten vorbereitet werden. Neben der Vorbereitung der Materialien ist die Rautiefe des Altbetons und der reprofilierten Flächen nochmals zu prüfen. Vor Beginn der Ausführung ist die Übergreifungslänge, als auch die Ausrichtung der Gitter aus den Ausführungsplänen zu entnehmen. Nach den vorbereitenden Maßnahmen wird eine Lage Feinbeton aufgebracht. Diese unterscheidet sich in ihrer Dicke je Gittertyp der verbaut werden soll. Während des Aufbringen der ersten Feinbetonschicht, ist die Ebenheit der Gitter und Schichtstärke, mit Hilfe eines Gliedermaßstabes o. ä. zu prüfen, bevor im Anschluss das Carbongitter auf den Feinbeton aufgebracht und leicht eingedrückt wird, sodass das gesamte Gitter im frischen Feinbeton ohne Hohlstellen/Schatten eingearbeitet ist. Anschließend wird eine weitere Schicht Feinbeton aufgetragen. Die Arbeiten müssen frisch in frisch durchgeführt werden, damit sich die Feinbetonschichten verbinden. Die Verarbeitungszeit beträgt max. 60 min., bei Überschreitung dieser Zeit sind Arbeitsfugen vorzusehen. Ist wiederum die zweite Lage aufgebracht, kann die nächste Lage Gitter eingelegt werden. Sobald die letzte Schicht Carbonbewehrung eingebracht wurde, wird anschließend die Deckschicht in der geforderten Stärke aufgebracht.

Nachdem der Feinbeton aufgetragen ist, wird zügig mit der Nachbehandlung begonnen. Die Nachbehandlung ist äußerst wichtig, da die Verstärkungsschicht sehr dünn und großflächig und infolgedessen anfällig gegen Schwinden ist. Für die Nachbehandlung bieten sich Jutebahnen oder Folien an, die über die Verstärkungsschicht gelegt und in den nachfolgenden Tagen fortlaufend feucht gehalten werden müssen, um das Schwinden zu minimieren und die Festigkeitsentwicklung des Feinbetons zu gewährleisten. Die Maßnahmen für die Nachbehandlung sind immer auf das Objekt abzustimmen und können von den genannten verwendeten Materialien und Methoden abweichen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2 Besonderheiten

Im Zuge der Verstärkungsarbeiten ist darauf zu achten, dass die Vor- und Nachbehandlung sorgfältig ausgeführt wird. Aufgrund des sehr dünnen Schichtaufbaus können in Folge einer mangelhaften Nachbehandlung Schäden entstehen. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Carbongitter geschützt gelagert und nicht betreten werden. Eine Beschädigung hat Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Carbongitter und der Qualität der Verstärkungsschicht. Wurden die Gitter beschädigt, sind sie auszusortieren und nicht mehr zu verwenden.

Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Verstärkungsschicht keine Erschütterungen ausgesetzt ist und dass keine Lasten auf der Verstärkungsschicht abgestellt werden, bis Sie ausreichend ausgehärtet ist.

Vor Beginn der Arbeiten ist entsprechend den baubehördlichen Vorgaben eine anerkannte Prüfstelle gemäß dem PÜZ-Verzeichnis [1] für die Fremdüberwachung zu kontaktieren. Vor und während der Ausführungsarbeiten sind laut der CARBOrefit®-Zulassung [2] begleitende Prüfungen durchzuführen, Prüfkörper herzustellen und zu dokumentieren (siehe Anlage 3 Seite 1 & 2).

3 Handlungsempfehlung

Vorbereitende Arbeiten:		
1	 (©CARBOCON GMBH)	Der Untergrund wird am Vortag der Verstärkungsarbeiten gesäubert und anschließend stark befeuchtet, sodass die Kapillarsättigung des Altbetons einsetzt. Die zu verstärkende Fläche ist bis zum Beginn der Arbeiten konstant feucht zuhalten.
2	 (©CARBOCON GMBH)	Bevor mit den Verstärkungsarbeiten begonnen werden kann, sind 20 Minuten vor Ausführungsbeginn die zu verstärkenden Bereiche letztmalig mattfeucht zu befeuchten.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

3	(©CARBOCON GMBH)	Die 25 kg Sackware des TF10 CARBOrefit® Feinbeton wird mit max. 3,5 l Trinkwasser angemischt. Die vorgeschriebene Wassermenge wird bis auf eine Restmenge von 0,5 l in ein sauberes und geeignetes Mischgerät eingefüllt. Die Trockenmischung wird mit hinzugegeben und min. 3 Minuten gemischt. Anschließend wird das restliche Wasser zugeben und weitere 2 Minuten bis zur homogenen Materialkonsistenz gemischt.
Verstärkungsarbeiten:		
4	(©CARBOCON GMBH)	Aufbringen der ersten Schicht TF-10 CARBOrefit® Feinbeton. Das Aufbringen des Feinbetons erfolgt immer im Nassspritzverfahren und ist mit einer MaWo-Düse auszuführen. Während jedem Spritzvorgang ist eine Schichtstärkenkontrolle zu empfehlen. Die erste Schicht muss je nach Gittertyp (CARBOrefit®-Typ 1 oder CARBOrefit®-Typ 3) mindestens eine Schichtstärke von 3 bis 5 mm aufweisen. Es empfiehlt sich die erste Schicht mit geringfügigem Übermaß (+ 1 bis 2 mm) mehr aufzutragen, damit das Carbongitter nach dem Eindrücken mittig in der Verstärkungsschicht liegt.
5	(©CARBOCON GMBH)	Einlegen der Carbongitter in die frische Feinbetonschicht. Das CARBOrefit®- Carbongitter wird bei diesem Schritt mit Hilfe einer Glättkelle leicht in den frischen Feinbeton eingedrückt. Es ist darauf zu achten, dass zwischen der Feinbetonschicht und dem Carbongitter keine Hohlräume entstehen, da diese später negative Auswirkungen auf die Verstärkungsschicht haben.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

6	 (©CARBOCON GMBH)	Aufbringen der zweiten Schicht TF-10 CARBOrefit®-Feinbeton mit dem Nassspritzverfahren Die zweite Feinbetonschicht muss mindestens 3 bzw. 5 mm aufweisen. Wenn der Verstärkungsprozess unterbrochen werden muss und nicht mehr frisch in frisch gearbeitet werden kann, muss die letzte aufgetragene Feinbetonschicht mit Hilfe eines Besens aufgeraut werden, um eine Arbeitsfuge zu erzeugen. Werden die Arbeiten wieder aufgenommen, muss der Bereich des Besenstrichs abgebürstet und genässt werden. Je nach Angaben der Ausführungsplanung, kann der Schritt 5 und 6 wiederholt werden. Die Position der Carbongitter sowie Stöße, Übergreifungslängen, etc. sind aus der Planung zu entnehmen.
7	 (©CARBOCON GMBH)	Glätten der letzten Feinbetonschicht (Deckschicht) Das Glätten der Deckschicht kann optional durchgeführt werden. An dieser Stelle gibt der Architekt*in / Planer*in vor, mit welcher Oberflächenbeschaffenheit die Verstärkungsschicht ausgebildet werden soll.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Nachbehandlung:		
8	 (©CARBOCON GMBH)	Nachbehandlung der Verstärkungsschicht Für die Nachbehandlung empfehlen sich Jutebahnen oder ähnliches. Für eine gute Qualität der Verstärkungsschicht ist es elementar, dass min. 3 bis zu 7 Tage, je nach Projekt, nach dem Fertigstellungstermin die Jutebahnen konstant nass gehalten werden. Aufgrund des sehr dünnen Schichtaufbaues kann es sonst sehr schnell zum Schwinden des Betons kommt.
Das Einhalten des Arbeitsschutzes wird vorausgesetzt!		

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): PÜZ-Verzeichnis: https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P4/LBO/PUEZ-Verzeichnis.pdf, Ausgabe 2023

[2] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

ANHANG 4.01-1	Checkliste Baustelleneinrichtung für das CARBOrefit®- Verfahren

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

In dem hier vorliegenden Anhang zum Merkblatt 4.01 „Handlungsempfehlung für die Ausführung des CARBOrefit®-Verfahren“ ist eine Checkliste aufgeführt, in dem die benötigten Medien, Materialien, Gerätschaften sowie Prüf- und Arbeitsmittel für den Verstärkungsprozess aufgelistet sind.

Hinweis: Die Checkliste bezieht sich ausschließlich auf die Tätigkeiten, welche im Rahmen der Ausführungsarbeitens des CARBOrefit®-Verfahren notwendig sind, die allgemeine Baustelleneinrichtung ist zusätzlich vorzuhalten.

Medien	vorhanden
• Strom • Frischwasser • Schmutzwasser	

Materialien	vorhanden
• CARBOrefit®- Carbongitter • TF10 CARBOrefit®-Feinbeton • Ü-Zeichen	

Geräte/Prüfmittel	vorhanden
• Zwangsmischer oder Ähnliches • Betonpumpe/Putzpumpe • MAWO-Mantelluftstromdüse, fein • Schneidgerät zum Bsp.: Akku-Blechschere o.ä. (zur Konfektionierung der Carbongitter) • Haftzugmessgerät • Hägermann-Ausbreittisch • Waage • Messzylinder (Betonrohdichte) • Betonprismen-Schalung • Kaufmann-Verfahren (Rauigkeit-Beton) • Thermometer (zum Messen Bauteiltemperatur)	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Arbeitsmittel	vorhanden
• Eimer	
• Wasserschlauch (zum Nässen des Altbetons)	
• Quast	
• Malerrolle + Stab	
• Maurerkelle	
• Glättkelle/Glättbrett o.ä.	
• Besen	
• Gliedermaßstab	
• Arbeitsschutzbekleidung	
• Schalung für begleitende Prüfplatten	
• Einhausung bei schlechtem Wetter	
• Schichtstärkenmesser	
• Uhr (zur Mischzeitenbestimmung)	
• Kabeltrommel	
• Müllcontainer	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 4.02	Dokumentation der Ausführungsarbeiten im Rahmen der Verstärkung mit Carbonbeton

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

Vorlage für die tägliche Dokumentation der Verstärkungsarbeiten.

1 Allgemeine Angaben nach [1]

Angaben zu den Verstärkungsmaßnahmen

Name und Art des Bauobjekts	
Standort des Bauobjekts	
Beschreibung des zu verstärkenden Bauteils des Bauobjekt	
Datum und Zeit der Verstärkungsarbeiten	

Angaben zu den ausführenden Personen und dem Betrieb

Baubetrieb	
Qualifizierte Führungskraft (siehe Eignungsnachweis [2])	
Baustellenfachpersonal (siehe Eignungsnachweis [2])	

Erfassen des Ist Zustandes des zu verstärkenden Bauteils

Oberflächenzugfestigkeit **vor** der Verstärkung erreicht (Erwartungswert (Mittelwert) min. 1,0 N/mm²)	Ja ☐ nein ☐

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Gemessene Rautiefe der Beton-oberfläche des Altbetons und der reprofilierten Flächen (min. 1,0 mm)	

Betondruckfestigkeitsklasse nach DIN EN 13791	
Stahlart Lage Erhaltungszustand Betondeckung Karbonatisierungstiefe	
Lage, Verlauf und Breite von Rissen	
relevante Schadstoffe im Beton vorhanden?	

Dokumentationen im Rahmen der Verstärkungsausführung

Beginn der Vorbehandlung	
Einstellung Mantelluft-Druck	
Beginn der Verstärkungsarbeiten	
Lufttemperatur beim Einbau	
Bauteiltemperatur beim Einbau	
Relative Luftfeuchte beim Einbau	
Ebenheit der Carbongitter im Beton	
Lagenanzahl der Carbongitter	
ausgeführte Übergreifungslänge	
Schichtdicke des aufgetragenen Feinbetons	
Ende der Verstärkungsarbeiten	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2 Kontrolle der Eigenschaften der Verstärkungsmaterialien auf der Baustelle nach [1]

Verwendete Carbonbewehrung: - Gittertyp - Abmaße - Ausführungstyp - Hersteller - Herstelldatum - Übereinstimmung mit der in der abZ/aBG geregelten Systembezeichnung prüfen (bei jeder Lieferung)	☐
Für die Verstärkung verbrauchte Carbonbewehrung in m²	
Verwendeter Feinbeton - Bezeichnung - Herstelldatum - Übereinstimmung mit der in der abZ/aBG geregelten Systembezeichnung prüfen (bei jeder Lieferung)	☐
Für die Verstärkung verbrauchte Feinbetonmenge in kg	
Überprüfung des Zugabewassers: - Sicherstellen, dass das Zugabewasser frei von schädlichen Bestandteilen ist, sofern es sich nicht um Trinkwasser handelt oder wenn eine neue Quelle erstmalig verwendet wird - Messen der Temperatur des Zugabewassers, die Temperatur darf zwischen 5 - 30°C betragen	☐ **gemessene Temperatur:**
Überprüfung der Frischbetoneigenschaften: (jede zehnte Charge, alle 50t, min. je Produktionstag) - Sichtprüfung für jede Mischung: kein Bluten oder Separieren erkennbar - Überprüfung der Frischbetonkonsistenz bei der Herstellung der Probekörper: das Ausbreitmaß nach 10 Minuten muss zwischen 17 und 21 cm liegen - Überprüfung der Frischmörtelrohdichte, diese muss zwischen 2,07 und 2,27 kg/dm³ (≙ kg/l) liegen	☐ **gemessenes Ausbreitmaß:** **gemessene Dichte:**

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Überprüfung der Eigenschaften am erhärteten Feinbeton: - Bestimmung der Rohdichte, diese muss zwischen 1,95 und 2,15 kg/dm³ (≙ kg/l) liegen Bestimmung der Biegezugfestigkeit, diese muss nach 7 d min. 5,0 N/mm² oder nach 28 d min. 5,5 N/mm² betragen - Bestimmung der Druckfestigkeit, diese muss nach 7 d min. 40,0 N/mm² oder nach 28 d min. 72,0 N/mm² betragen, - Prüfung der Haftzugfestigkeit, ein Versagen muss in der Altbeton-schicht auftreten	**gemessene Dichte:** **Biegezugfestigkeit:** **Tage:** **Druckfestigkeit:** **Tage:** **Versagensort:**
Bestimmung des Verbundtragverhaltens an begleitend hergestellten Carbonbeton-Prüfkörpern (Herstellung Probekörper siehe Merkblatt 4.04) - Versuchsart: - Verbundfestigkeit:	

Hinweis: Die Bauteil- und Lufttemperatur für die Verarbeitung des CARBOrefit®-Feinbetons muss im Bereich von **5 °C bis 30 °C liegen**. Entsprechende Vorkehrungen sind durch das ausführende Unternehmen zu treffen.

Eine ausführliche Nachbehandlung der fertiggestellten Carbonbeton-Verstärkungsschicht ist elementar für eine optimale Verbundeigenschaften.

Relevante Hilfsmittel und Gerätschaften sind aus der Zulassung zu entnehmen [1]

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31.August 2023 bis 31.August 2028)

[2] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen: Berlin, Mai 2022

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 4.03	**Umfang der In-House-Schulung für den CARBOrefit®-Eignungsnachweis**

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521 Stand: 07.01.2025

In diesem Merkblatt werden der Inhalt und der Ablauf der In-House-Schulung für den Eignungsnachweises der auszuführenden Unternehmen im Rahmen der CARBOrefit®-Zulassungen vorgestellt.

Pos.	Titel	Leistungsumfang
1	Theorieschulung (1.Tag)	• Vorbereitung der Schulungsinhalte • Schulungsdurchführung (8h) • Theorieprüfung • Handout-Materialien • Teilnehmerzertifikate • Nachbereitung
2	Praxisschulung (2. Tag)	• Vorbereitung und Absprache notwendiger Eigenleistungen für die Durchführung • Schulung der Ausführungsarbeiten (4h) • Handout-Materialien • Applikation unter Anleitung eines Anwendungstechniker • Nachbereitung
3	Demonstrationsprüfung (3. Tag)	• Unterstützung bei der Vorbereitung der Demonstrationsprüfung • Anwesenheit bei der Demonstrationsprüfung
4	Organisation Materialien	• Organisation der notwendigen CARBOrefit®-Materialien für die Praxisschulung und Demonstrationsprüfung • CARBOrefit®-Feinbeton und CARBOrefit®-Carbongitter für 2 Verstärkungsplatten • Versand der CARBOrefit®-Materialen an Schulungsort

Hinweis: Notwendige Präsentation- und Baustellentechnik sowie Demonstrationsplatte für die Verstärkungsschulung wird durch den Auftraggeber gestellt (siehe Anhang 4.03-2 „Merkliste für die ausführenden Firmen in Vorbereitung auf die In-House-Schulung“), anfallende Unkosten im Rahmen der Eigenüberwachung sind nicht in begriffen.

Eine Auskunft über die Kosten des Eignungsnachweises [1] für auszuführende Unternehmen erfolgt nach Anfrage.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen: Berlin, Mai 2022

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

ANHANG 4.03-1	Ablauf der In-House Schulung für den CARBOrefit®-Eignungs-nachweis

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

1. Tag: Theorieschulung und Prüfung

Beginn: Begrüßung	8:00 Uhr
Block I: Teil 1 - Grundlagen zum Textil-/ Carbonbeton	8:00 - 9:15 Uhr
Frühstückspause	9:15 - 09:35 Uhr
Block II: Teil 2 - Grundlagen zum Textil-/ Carbonbeton	9:35 - 10:50 Uhr
Kurze Pause	10:50 - 11:00 Uhr
Block III Teil 1 - Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung zum Verstärken mit Carbonbeton	11:00 - 12:30 Uhr
Mittagspause	12:30 - 13:00 Uhr
Block IV: Teil 2 - Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung zum Verstärken mit Carbonbeton	13:00 - 14:30 Uhr
Fragen/Diskussion	14:30 - 15:00 Uhr
Kurze Pause	15:00 - 15:15 Uhr
Prüfung (Multiple Choice Test)	15:15 - 15:45 Uhr
voraussichtliches Ende:	ca. 15:45 Uhr

Hinweis:

1. Der Beginn der Schulung dient als Richtwert und kann in Absprache verändert werden.
2. Die Auswertung der Prüfung erfolgt gesondert.
3. Die Teilnahmezertifikate werden im Nachgang zugesendet.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2. Tag: Praxisschulung / 3. Tag Demonstrationsprüfung (GÜB-Zertifizierung)

Allgemeine Vorbereitungen vor Schulungsbeginn [1][2][3]:

- Demonstrationsplatte für Verstärkungsarbeiten in 2 m Höhe lagern
- Werkzeuge vorbereiten, prüfen und einstellen
- Untergrund vornässen
- Vorbereitung der Schalungen für begleitende Probekörper

Beginn: Begrüßung	8:00 Uhr
Block I – Durchführung der Verstärkungsarbeiten[2)3)]	8:00 – 12:30 Uhr
- Fehlstelle freilegen und reprofilieren	
- Vorbereitung und Zuschnitt Carbongitter	
- Feinbeton anmischen und Kontrolle der Eigenschaften	
- Herstellung Prismen für Betonprüfungen	
- Herstellung Probekörper für Verbundprüfung	
- Verstärken der Demonstrationsplatte	
- Erste Feinbetonschicht	
- Carbonbewehrung einarbeiten	
- Zweite Feinbetonschicht	
- Gelege mit Übergreifung einarbeiten	
- Abschließende Feinbetonschicht auftragen und glätten	
- Nachbehandlung der Verstärkungsschicht	
Mittagspause	12:30 – 13:00 Uhr
voraussichtliches Ende:	ca. 13:00 Uhr

Hinweis: Der Beginn der Schulung dient als Richtwert und kann in Absprache verändert werden.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Anhang 4.03-2 „Merkliste für die ausführenden Firmen in Vorbereitung auf die In-House-Schulung“

[2] Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbautei mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen

[3] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31.August 2023 bis 31.August 2028)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

ANHANG 4.03-2	Merkliste für die ausführenden Firmen in Vorbereitung auf die In-House-Schulung

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521 Stand: 07.01.2025

In diesem Merkblatt werden die für die In-House-Schulung benötigten Materialien, Geräte und Prüfmittel aufgelistet

1. Tag -Theorieschulung und -prüfung	Kontrolle
Besprechungsraum entsprechend der Teilnehmeranzahl mit Präsentationstechnik	

2./3. Tag - Praxisschulung und Demonstrationsprüfung	Kontrolle
• Stahlbetonplatte gemäß Dokument (beidseitig aufgeraut) • Zwangsmischer • Schneckenpumpe • Druckluft-Kompressor (5m³/min) • MAWO-Mantelluftstromdüse (fein) • Messbecher für Wasserzugabe • Werkzeug zur Bestimmung der Frischbeton-Rohdichte (nach DIN EN 1015-6) • Werkzeug zur Bestimmung des Frischbeton-Ausbreitmaß (nach DIN EN 1015-3) • CARBOrefit®-Feinbeton und CARBOrefit®-Carbongitter gemäß Ausführungsplan (nur bei Eigenbeschaffung, entfällt bei der Buchung der Pos. 4) • Textilschere oder Winkelschleifer • 1 Satz Prismenschalung (16 x 4 x 4 cm) • Schalung für begleitende Verbund- oder Übergreifungsplatte (siehe Ausführungsplan) • Hägermann-Tisch zur Bestimmung des Ausbreitmaßes des Frischbetons • Messgerät für Schichtdickenmessung (Messschieber, Nagel, o. ä.) • Strom, Licht und Wasser • Geräte zum Nässen und Nachbehandeln der Oberfläche • Planen zum Abdecken und Tücher zum Feuchthalten • Stemmgerät für Fehlstellenherstellung • übliche Baustellenwerkzeuge (verschiedene Kellen, Richtscheit, Kartätsche, Eimer, …) • mobiles Gerüst für Arbeiten an der Demonstrationsplatte • ggf. Heizstrahler und mobile Einhausung (Zelt) bei extremen Wetterlagen	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Hinweis: Die Auflistung der Gerätschaften und Werkzeuge stellt eine Auswahl dar, die Verantwortung für die notwendige Ausstattung für die Verstärkungsdurchführung obliegt den ausführenden Unternehmen. Das Tragen von entsprechender Schutzbekleidung wird vorausgesetzt und durch die ausführende Firma gewährleistet.

Kennwerte im Rahmen der Eigenüberwachung gemäß [2] für Zertifizierung durch Prüfstelle:

- Frischbetondichte und Ausbreitmaß
- Rohdichte des erhärteten Feinbetons
- Biegezug- und Druckfestigkeit an einem Satz Prismen nach 7 d oder 28 d
- 5 Haftzugversuche an Verstärkungsschicht nach 7 d oder 28 d
- 5 Verbundversuche an begleitender Platte aus Carbonbeton

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen

[2] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028), Anlage 3

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 4.04	Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

In diesem Merkblatt wird die Herstellung großformatiger Platten beschrieben, welche bauteilbegleitend im Rahmen der Eigenüberwachung der Verstärkungsarbeiten auf der Baustelle hergestellt werden müssen. Aus diesen Platten werden in den Prüflaboren die Probekörper für die Durchführung der Verbundversuche entnommen. Gemäß Anlage 1 der abZ/aBG [1] können die Verbundeigenschaften mittels Ausziehversuchen (SPO-Versuchen) oder Übergreifungsversuchen ermittelt werden. Je nach durchzuführendem Versuch unterscheiden sich die Anforderungen an die herzustellende Platte. In Abhängigkeit des CARBOrefit®-Gittertyps wird Folgendes empfohlen:

- Ausziehversuch (SPO-Versuch): für CARBOrefit®-Typ 1 Gitter in Regelausführung
- Übergreifungsversuch: für CARBOrefit®-Typ 3 Gitter in Regel- und Sonderausführung

Hinweis: Die Empfehlung für die Herstellung und Prüfung von Platten mit CARBOrefit®-Typ 1 Gittern in Sonderausführung befindet sich derzeit in Bearbeitung.

1 Herstellung von Prüfplatten für die Durchführung von Ausziehversuchen

- Die Durchführung von Ausziehversuchen (SPO-Versuchen) wird für CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter in **Regelausführung** empfohlen.
- Die Herstellung der rechteckigen Carbonbetonplatten erfolgt im Handlaminier- oder Spritzverfahren **genau einer** Carbonbewehrungslage auf glatten, nicht saugfähigen Schalungen. Es ist das gleiche Herstellungsverfahren für die Prüfplatten wie zur Herstellung der Verstärkung auf der Baustelle anzuwenden.
- Herzustellende Anzahl an Prüfplatten (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):
  - mind. 3 Platten für zu verstärkende Flächen bis 750 m²
  - Flächen > 750 m²: eine Platte je angefangen 250 m²
- Die Herstellung der Platten sollte zu Beginn, Mitte und Ende der Verstärkungsarbeiten oder entsprechend der Vorgaben des Planers erfolgen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- **Mindestmaße** der Platten in **Regelausführung:**

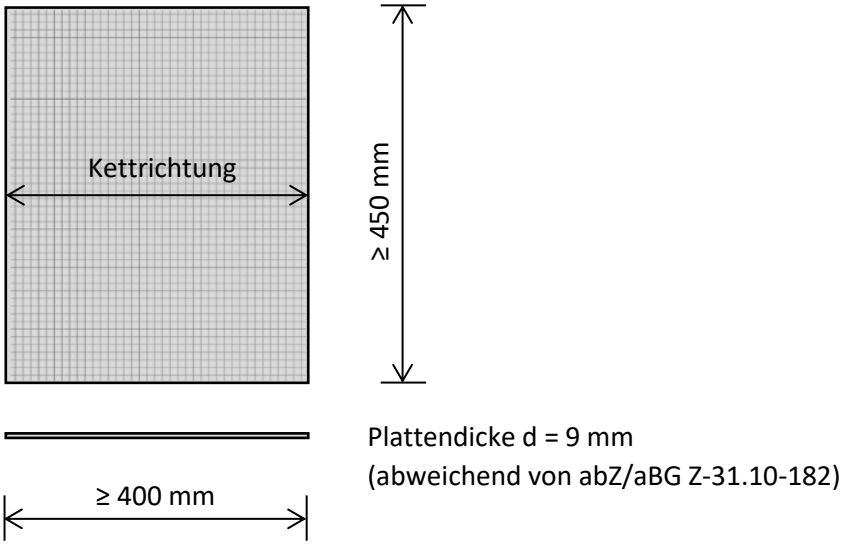


Abbildung 1: Empfohlene Mindestmaße für die Herstellung der Platten für die Durchführung von SPO-Versuchen für die Prüfung von CARBOrefit®-Typ 1 Carbongittern in Regelausführung

- Nach dem Aufbringen der ersten Feinbetonschicht von 5 mm Dicke werden die Carbongitter leicht in den Feinbeton eingeglättet. Es ist darauf zu achten, dass die Gitter nicht in Kontakt mit dem Schalöl kommen.
- Die Carbongitter werden so ausgerichtet, dass die Kettfäden parallel zur Platenlänge verlaufen. Die Gitter sind mittig in Probenlänge, -breite du -dicke anzuordnen.
- Nach dem Aufbringen der zweiten und abschließenden Feinbetonschicht wird der Beton glatt abgezogen.
- Nach der Herstellung verbleiben die Platten 3 Tage in der Schalung.
- Während der ersten sieben Tage muss die bauteilbegleitende Nachbehandlung durch ständiges Feuchthalten der Platten erfolgen. **Nach Erhärten des Betons ist die Kettrichtung auf den Platten anzuzeichnen!**
- Anschließend werden die Platten bis zum Tag der Prüfung gelagert. Es wird empfohlen die Lagerung bauteilbegleitend durchzuführen. Der Transport der Prüfplatten zum jeweiligen Prüflabor kann ab dem achten Tag nach der Herstellung bis spätestens fünf Tage vor der Prüfung erfolgen. Im konkreten Fall ist eine Absprache mit dem zuständigen Prüflabor erforderlich.
- Es wird empfohlen, die Prüfung nach 28 Tagen durchzuführen. Eine Prüfung vor dem 28. Tag ist möglich, wenn die in der abZ/aBG [1] geforderten Kennwerte eingehalten werden. Generell muss die Prüfung vor Belastung des Bauwerks erfolgen.
- Dem *Anhang 05.1 – „Begleitblatt der Prüfplatten für die Ermittlung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Eigenüberwachung der Verstärkungsarbeiten mit CARBOrefit®“* kann eine Vorlage zur Beschriftung der Platten entnommen werden.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

2 Herstellung von Prüfplatten für die Durchführung von Übergreifungsversuchen

- Die Durchführung von Übergreifungsversuchen wird für CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter in **Regel- und Sonderausführung** empfohlen.
- Die Herstellung der rechteckigen Carbonbetonplatten erfolgt im Handlaminier- oder Spritzverfahren mit **genau einer (aus zwei sich überlappenden Abschnitten bestehenden)** Carbonbewehrungslage auf glatten, nicht saugfähigen Schalungen. Es ist das gleiche Herstellungsverfahren für die Prüfplatten wie zur Herstellung der Verstärkung auf der Baustelle anzuwenden.
- Herzustellende Anzahl an Prüfplatten (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):
  - mind. 3 Platten für zu verstärkende Flächen bis 750 m²
  - Flächen > 750 m²: eine Platte je angefangen 250 m²
- Die Herstellung der Platten sollte zu Beginn, Mitte und Ende der Verstärkungsarbeiten oder entsprechend der Vorgaben des Planers erfolgen.
- **Mindestmaße** der Platten in **Regel- und Sonderausführung**
  Bei der Sonderausführung ist Folgendes zu beachten:
  - Kettfadenabstand: $a_{Kf} < 25{,}4$ mm → Herstellung der Platten analog zu Regelausführung
  - Kettfadenabstand: $a_{Kf} \geq 25{,}4$ mm → Herstellung der Platten nach Angaben Sonderausführung

Tabelle 1: Empfohlene Mindestmaße für die Herstellung von Prüfplatten für die Durchführung von Übergreifungsversuchen für CARBOrefit®-Typ 3 Gitter in Regel- und Sonderausführung

Carbongittertyp	CARBOrefit®-Typ 3 in Regelausführung	CARBOrefit®-Typ 3 in Sonderausführung
Zuschnittbreite der Gitter $b_{Zuschnitt}$ [mm]	400	$18 \cdot a_{Kf}$
Plattenbreite [mm]	$b_{Zuschnitt}$ + 2 cm (beidseitig)	
Zuschnittlänge der überlappenden Gitter [mm]	725	
Plattenlänge [mm]	1250 (inklusive 50 mm Verlegetoleranz)	
Plattendicke [mm]	10	

- Die in der Tabelle beschriebenen Maße sowie ein Detail zur Schalung können dem Plan *„Mindestmaße für die Herstellung von Prüfplatten für die Durchführung von Übergreifungsversuchen“* (Dokumentenbezeichnung: *„CARBOrefit®-Planermappe-Schalung-Prüfplatten-A3.pdf“*) entnommen werden.
- Bei Prüfung der **Regelausführung und Sonderausführungen mit $a_{Kf} < 25{,}4$ mm** ist vor dem Einbau der Carbongitter jeder 5. Faserstrang in Kettrichtung entfernen. Bei **Sonderausführungen mit $a_{Kf} \geq 25{,}4$ mm** ist das Entfernen jeder 5. Faserstrang nicht erforderlich. Nach dem Aufbringen der ersten Feinbetonschicht von 5 mm Dicke wird die erste Lage Carbonbewehrung vollständig in den Feinbeton eingeglättet. Anschließend wird das zweite Gitter mit der erforderlichen Übergreifungslänge überlappend angeordnet und ebenfalls außerhalb des Übergreifungsbereichs in den Feinbeton eingeglättet. Es ist darauf zu achten, dass die Gitter nicht in Kontakt mit dem Schalöl kommen dürfen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- Die Carbongitter werden so ausgerichtet, dass die Kettfäden parallel zur Platenlänge verlaufen (siehe Abbildung 2). Der Übergreifungsstoß ist symmetrisch zu der Probenlänge und in Probenmitte anzuordnen. Die Carbongitter und Maschen müssen im Übergreifungsbereich exakt übereinander liegen, sodass sich die Faserstränge direkt überlappen (siehe nachfolgende Abbildung 2, keine Feinbetonschicht zwischen den Carbongittern)

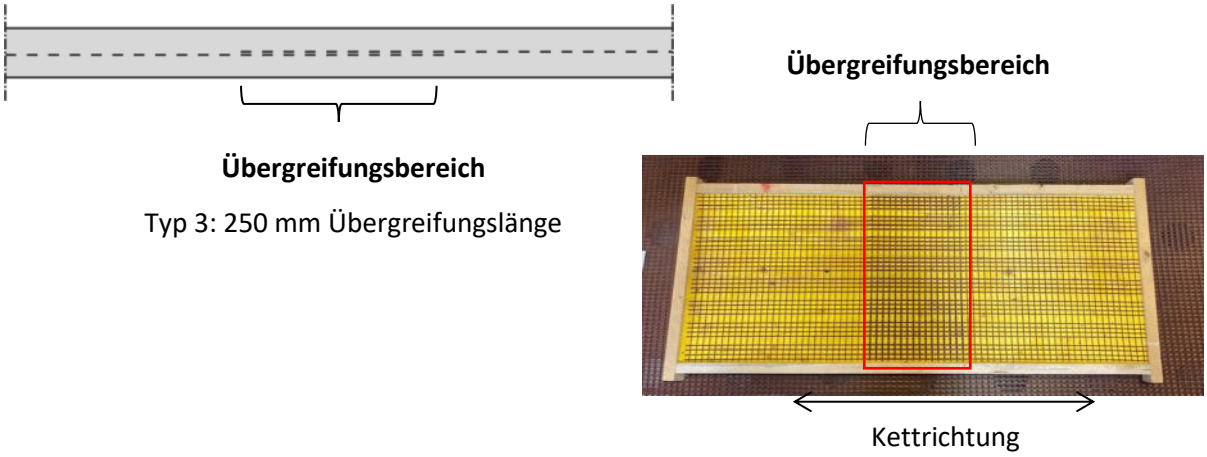


Abbildung 2: Links: Längsschnitt eines Übergreifungsbereichs, rechts: Draufsicht auf den Übergreifungsbereich in Regelausführung mit Sägegasse (extrahierter Faserstrang)

- Nach dem Aufbringen der zweiten und abschließenden Feinbetonschicht wird der Beton glatt abgezogen.
- Nach der Herstellung verbleiben die Platten 3 Tage in der Schalung.
- Während der ersten sieben Tage muss die bauteilbegleitende Nachbehandlung durch ständiges Feuchthalten der Platten erfolgen. **Nach Erhärten des Betons ist die Kettrichtung auf den Platten anzuzeichnen!**
- Anschließend werden die Platten bis zum Tag der Prüfung gelagert. Es wird empfohlen die Lagerung bauteilbegleitend durchzuführen. Der Transport der Prüfplatten zum jeweiligen Prüflabor kann ab dem achten Tag nach der Herstellung bis spätestens fünf Tage vor der Prüfung erfolgen. Im konkreten Fall ist eine Absprache mit dem zuständigen Prüflabor erforderlich.
- Es wird empfohlen, die Prüfung nach 28 Tagen durchzuführen. Eine Prüfung vor dem 28. Tag ist möglich, wenn die in der abZ/aBG [1] geforderten Kennwerte eingehalten werden. Generell muss die Prüfung vor Belastung des Bauwerks erfolgen.
- Dem *Anhang 04-1 – „Begleitblatt der Prüfplatten für die Ermittlung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Eigenüberwachung der Verstärkungsarbeiten mit CARBOrefit®“* kann eine Vorlage zur Beschriftung der Platten entnommen werden.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

ANHANG 4.04-1	Mindestmaße für die Herstellung von Prüfplatte für die Durchführung von Übergreifungsversuchen:

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

In diesem Merkblatt werden die Mindestmaße für die Herstellung von Prüfplatte für die Durchführung von Übergreifungsversuchen vorgestellt.

1 Vorbereitung der Schalung für die Betonage der Prüfplatte

Die Schalung für die Prüfplatte muss ausreichend steif sein, um Verformungen zu vermeiden. Es wird empfohlen eine Schalung aus nicht saugfähigem Holz mit folgenden Abmaßen herzustellen:

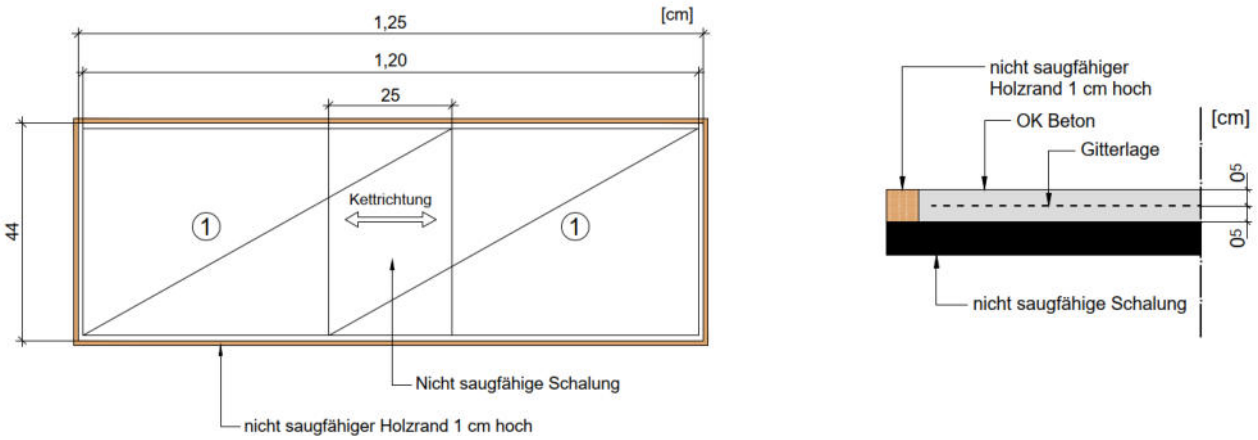


Abbildung 1: Schalung für die Herstellung der Prüfplatte

2 Zuschnitt der CARBOrefit®-Gitter

Die beiden CARBOrefit®-Gitter sind auf 72,5 cm x 40 cm zuzuschneiden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Kettrichtung entlang der 72,5 cm verläuft. Es wird empfohlen bei der Regelausführung jeden 5. Faserstrang zu entfernen. Dies dient später als Sägegasse bei der Probekörperpräparation und verhindert eine Schädigung der zu prüfenden Faserstränge. Die 1 in der Abbildung 1 und 2 stellt das Carbongitter dar.

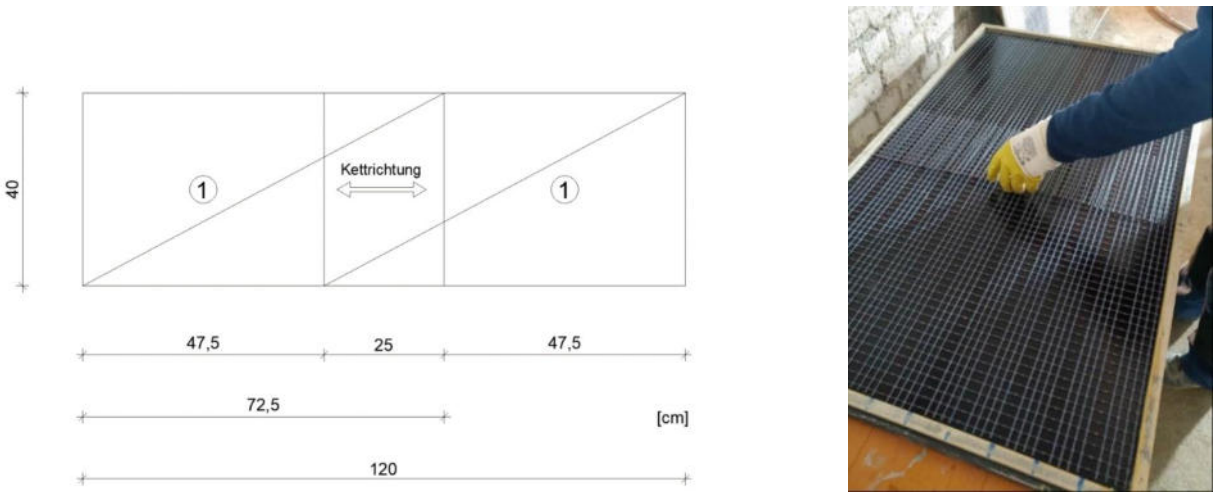


Abbildung 2: Zuschnitt Carbongitter für die Herstellung der Prüfplatten mit Übergreifung

<u>Hinweis</u>: Ausführungshinweise können aus dem Merkblatt 4.04 entnommen werden!

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

ANHANG 4.04-2	**Begleitblatt der Prüfplatten für die Ermittlung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Eigenüberwachung der Verstärkungsarbeiten mit CARBOrefit®**

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren: E-Mail: info@carborefit.de Telefon: +49351 48205 521

Stand: 07.01.2025

Allgemeine Angaben

Ausführendes Unternehmen: _____

Projektbezeichnung: _____ Ausführungsort: _____

Herstelldatum der Prüfplatte: _____ Temperatur bei der Herstellung: _____

Versuchsart: ☐ Ausziehversuch (SPO-Versuch) ☐ Übergreifungsversuch

Lagerungsbedingungen: ☐ Nach Zulassung (3 d in Schalung, 7 d Nachbehandlung, Lagerung bei 20°C und 65 % Luftfeuchte)

☐ Bauteilbegleitend ☐ Sonstiges: _____

Angaben zum verbauten Carbongitter

Hersteller: _____ Produktbezeichnung (Hersteller): _____

Gittertyp und Material der Faserstränge:

☐ CARBOrefit®-Typ 1

☐ C1T1 ☐ C2T1 ☐ C3T1

☐ C4T1

☐ CARBOrefit®-Typ 3

☐ C2T2 ☐ C3T2 ☐ C4T2

☐ C2T3 ☐ C3T3 ☐ C4T3

Chargennummer des Carbongitters: _____ Produktionstag: _____

Ausführung: ☐ Regelausführung ☐ Sonderausführung

Achsmaß Kettfäden: _____ Achsmaß Schussfäden: _____

Querschnitt Kettfäden je m: _____ Querschnitt Schussfäden je m: _____

Angaben zum verbauten Feinbeton

Produktionstag: _____ Chargennummer: _____

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 4.05	**Zertifizierte Firmen zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton**

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren:
E-Mail: info@carborefit.de
Telefon: +49351 48205 521
Stand: 07.01.2025

In diesem Merkblatt werden die ausführenden Firmen genannt, welche im Rahmen der CARBOrefit®-Schulung und durch die anerkannte Prüfstelle [2] GÜB (Gemeinschaft für Überwachung im Bauwesen e.V.) zertifiziert sind. Mit dem Nachweis der Eignung dürfen die zertifizierten Firmen Verstärkungsarbeiten mit Carbonbeton gemäß der abZ/aBG [3] durchführen und das CARBOrefit®-Verfahren anwenden.

Liste und Kontaktdaten der zertifizierten Unternehmen

Name der Firma	**Kontaktdaten**
Bauschutz GmbH & Co. KG	Neckarstraße 2, 71679 Asperg Tel.: +49 7141 2680 E-Mail: zentrale@bauschutz.de Zertifizierung umfasst die Standorte: Asperg, Hamburg, Bobenheim-Roxheim, Völklingen, Allershausen, Rednitzhembach (Nürnberg)
Bauwerkssanierung Ringenberger GmbH & Co. KG	Bahnhofstraße 16a, 82152 Planegg Tel.: +49 89 85609590 E-Mail: ringenberger@bauwerksanierung.eu
Dipl.-Ing. H. Bendl Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG Sebnitz	Schulgasse 6, 01848 Hohnstein/OT Ulbersdorf Tel.: +49 359715040 E-Mail: info@bendl-hts.de
EUROVIA Infrastructure GmbH	Hessenstraße 23, 65719 Hofheim-Wallau Tel.: +49 6122 50430 E-Mail: bwi@eurovia.de
Greve & Greve GmbH Breiholz	Am Sportplatz 11, 24797 Breiholz Tel.: +49 4332 99770 E-Mail: info@greve-breiholz.de
HWP Massenberg GmbH	Ringstraße 15,01468 Moritzburg/Boxdorf Tel.: +49 351 839500 E-Mail: moritzburg@massenberg.de
Karrié Bauwerkserhaltung GmbH (Geschäftsstelle Erfurt)	Am Roten Berg 13, 99086 Erfurt Tel.: +49 361 21696410 E-Mail: erfurt@karrie.de
POMMER Spezialbetonbau GmbH Leipzig	Saarländer Str. 40, 04179 Leipzig Tel.: +49 341 913680 E-Mail: info@pommer-spezialbetonbau.de

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

Laumer Bautechnik GmbH	Bahnhofstraße 8, 84323 Massing/Rott Tel.: +49 8724 880 E-Mail: info@laumer.de
Laumer Leipzig Bausanierung GmbH	Fritz-Zalisz-Straße 38a, 04288 Leipzig Tel.: +49 342 9748400 E-Mail: Laumer.Leipzig@laumer.de
LEONHARD WEISS GmbH & Co. KG	Monzastraße 2, 63225 Langen (Rhein-Main) Tel.: +49 6103 301270 E-Mail: bau-de@leonard-weiss.com
otto scheuerer bautenschutz gmbh	Hafenstraße 67, 34125 Kassel Tel.: +49 561 8619590 E-Mail: info@otto-scheuerer.de
Reaku Spezialbau GmbH	Berliner Chaussee 100, 39114 Magdeburg Tel.: +49 391 81046184 E-Mail: info@reaku.com
TORKRET GmbH (Geschäftsstelle Essen)	Langemarckstraße 39, 45141 Essen Tel.: +49 0201 2943122 E-Mail: essen@torkret.de
Fritz Wiedemann & Sohn GmbH (Geschäftsstelle Wiesbaden)	Weidenbornstraße 7-9, 65189 Wiesbaden Tel.: +49 611 79080 E-Mail: zentrale@wiedemann-gmbh.com
Weiss Oberflächentechnik GmbH (Büro Weiss Bauwerkserhaltung)	Carnaperhof 7, 45329 Essen Tel.: +49 203 44014750 E-Mail: info@weiss-bauwerkserhaltung.de

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton mit Bausätzen nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen. Berlin, Stand: 9. Mai 2022

[2] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen (PÜZ-Verzeichnis), Ausgabe 2023. Berlin, Stand: 1. Januar 2023

[3] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, 31. August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2021 bis 31. August 2028)

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

MERKBLATT 4.06	Liste der geeigneten Prüfstellen/ Institute für die Ermittlung der Verbundeigenschaften auf der Baustelle

Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren:
E-Mail: info@carborefit.de
Telefon: +49351 48205 521
Stand: 07.01.2025

Im Rahmen der Eigenüberwachung sind gemäß der abZ/aBG Z-31.10-182 [1] carbonbetonspezifische Verbundversuche (Auszug- bzw. Übergreifungsversuche) durchzuführen und geforderte Eigenschaften nachzuweisen. Die Eigenüberwachungspflicht besteht für ausführende Unternehmen. Können ausführende Firmen Leistungen im Rahmen der Eigenüberwachung nicht selbstständig durchführen, so können Prüfinstitute für die Durchführung und Auswertung carbonbetonspezfischer Versuche unterbeauftragt werden. In diesem Merkblatt werden Prüfstellen genannt, die im Rahmen der Eigenüberwachung geeignet sind, carbonbetonspezfischer Versuche durchzuführen und auszuwerten. Das DiBt führt in dem Eignungsnachweis [2] ebenfalls eine Liste mit den geeigneten Prüfstellen.

Anschrift der geeigneten Prüfstellen

Name der Prüfstellen/Institute	Anschrift
IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH *	Wilhelmine-Reichard-Ring 4 01109 Dresden
MFPA Leipzig GmbH * Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH	Hans-Weigel Straße 2B 04319 Leipzig
Technische Universität Dresden Institut für Massivbau	August-Bebel-Straße 30/30A 01219 Dresden
Technische Universität Dresden Institut für Baustoffe	Georg-Schumann-Straße 7 01187 Dresden
RWTH Aachen Lehrstuhl und Institut für Massivbau	Mies-van-der-Rohe-Straße 1 52074 Aachen
RWTH Aachen Das Institut für Baustoffforschung	Schinkelstraße 3 52062 Aachen
Technische Universität Dortmund Lehrstuhl Werkstoffe des Bauwesens	August-Schmidt-Straße 8 44227 Dortmund

* durch das DiBt anerkannte PÜZ-Stelle [3] für die Fremdüberwachung der CARBOrefit®-Materialien

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, 31. August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2021 bis 31. August 2028)

[2] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton mit Bausätzen nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen. Berlin, Stand: 9. Mai 2022

[3] Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen, Stand Januar 2023

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

5 Weiterführende informationen

Mitteilung des DIBt
Grundsätze

Referat I 1
Beton- und Stahlbetonbau
Spannbetonbau

Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen

Stand: 9. Mai 2022

Deutsches Institut für Bautechnik
DIBt
Kolonnenstraße 30 B
D-10829 Berlin
www.dibt.de

1 Allgemeine Anforderungen

(1) Jedes Unternehmen, das Verstärkungsarbeiten mit carbonbewehrtem Beton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen ausführt (im Weiteren: ausführendes Unternehmen), muss über Fachkräfte mit der erforderlichen Sachkunde und Erfahrung sowie über die erforderlichen Vorrichtungen verfügen und den Nachweis gegenüber einer hierfür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle[1] (im Weiteren: Prüfstelle[1]) gemäß Abschnitt 3 erbringen.

(2) Entsprechende Bescheinigungen über die Eignung werden durch die Prüfstelle[1] nach den nachfolgenden Vorgaben erteilt.

(3) Voraussetzung für die Durchführung der Demonstrationsprüfung sind:

- Das Fachpersonal des ausführenden Unternehmens erfüllt die Voraussetzungen nach der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 3, Abschnitt 1.2 (Bauleiter als von der Prüfstelle bestätigte qualifizierte Führungskraft und Baustellenfachpersonal mit aktuell gültigem SIVV-Schein)
- Das Fachpersonal des ausführenden Unternehmens hat die theoretische Prüfung nach Abschnitt 2 abgelegt, welche durch den Antragsteller einer vom ausführenden Unternehmen ausgewählten gültigen allgemeinen Bauartgenehmigung für Carbonbetonverstärkungen (im Weiteren: Antragsteller der allgemeinen Bauartgenehmigung) durchgeführt wird.

(4) Der Eignungsnachweis umfasst die erstmalige Überprüfung des ausführenden Unternehmens hinsichtlich der erforderlichen Sachkunde und Erfahrung seines Fachpersonals sowie der erforderlichen Vorrichtungen als auch die Demonstrationsprüfung nach Abschnitt 3. Der Eignungsnachweis gilt als erbracht, wenn die Prüfstelle[1] dem ausführenden Unternehmen die Bescheinigung über seine Eignung zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton erteilt hat. Die Geltungsdauer der Bescheinigung über die Eignung kann gemäß Abschnitt 4 verlängert werden.

2 Theoretische Prüfung

Die Prüfstelle[1] überprüft, ob das Baustellenfachpersonal und die qualifizierten Führungskräfte des ausführenden Unternehmens an einer Schulung des Antragstellers zum Verstärken von Betonbauteilen mit Carbonbeton teilgenommen und die zugehörige theoretische Prüfung bestanden haben. Durch die theoretische Prüfung ist nachzuweisen und zu dokumentieren, dass das Baustellenfachpersonal und die qualifizierten Führungskräfte Kenntnisse über

- den Inhalt und den Gültigkeitsbereich der allgemeinen Bauartgenehmigung einschließlich der dazu gehörigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen,
- die Materialeigenschaften und Besonderheiten der Carbongitter, des Feinbetons und des Carbonbetons,
- den Aufbau der Carbonbetonschicht,
- die Lagerung sowie Verarbeitung der Carbongitter und des Feinbetons und
- die carbonbetonspezifischen Vor- und Nacharbeiten

besitzen.

Die theoretische Prüfung ist als halbstündiger Multiple-Choice-Test durchzuführen.

---

[1] siehe aktuelles PÜZ-Verzeichnis, Teil 6, lfd. Nr. 11

3 Demonstrationsprüfungen

3.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Vor der Ausführung der Demonstrationsprüfung beurteilt die Prüfstelle[1] die Vollständigkeit und den Erhaltungszustand der Prüf- und Messgeräte sowie der Werkzeuge und Mischgeräte, die zum Arbeiten nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen Z-31.10-... erforderlich sind. Die Prüfstelle[1] überprüft ferner das Verfahren der Überwachung durch das ausführende Unternehmen auf Vollständigkeit und Erfüllung der Anforderungen der gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen Z-31.10-...

(2) Die maßgebenden Messgeräte zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit müssen einer regelmäßigen Überprüfung der Funktionsfähigkeit und Messgenauigkeit unterliegen. Die Ergebnisse der Überprüfungen sind zu dokumentieren.

(3) Die bei den nachfolgenden Demonstrationsprüfungen ermittelten Kenngrößen sind nach den Vorgaben einer vom ausführenden Unternehmen ausgewählten gültigen allgemeinen Bauartgenehmigung (im Weiteren: die angewandte allgemeine Bauartgenehmigung) durch das ausführende Unternehmen zu dokumentieren und statistisch auszuwerten.

(4) Die Carbonbetonverstärkung ist unter Beachtung der ausführungsrelevanten Abschnitte der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung durch das ausführende Unternehmen durchzuführen. Das Protokoll der Überwachung durch das ausführende Unternehmen und die Aufzeichnungen des ausführenden Personals sind durch die Prüfstelle[1] zu kontrollieren.

(5) Die Demonstrationsprüfungen werden durch die Prüfstelle[1] als bestanden gewertet, wenn mängelfreie Ausführung der Carbonbetonverstärkungsarbeiten und bedingungsgemäße Ergebnisse gemäß der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung erzielt worden sind. Der Ort der durch die Prüfstelle[1] zu bewertenden Demonstrationsprüfungen und der zu verwendende Bausatz der zur angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung gehörigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (im Weiteren: Bausatz) sind durch das ausführende Unternehmen festzulegen. Es hat den für die Verstärkungsmaßnahme nach Abschnitt 3.4.7 der allgemein Bauartgenehmigung notwendigen Prüfkörper und die dafür notwendigen Hilfsmittel und Messinstrumente bereit zu stellen und zu verwenden. Die nachfolgend beschriebenen Demonstrationsprüfungen dürfen nur als Ganzes wiederholt werden.

3.2 Vorbereitung und Durchführung der Demonstrationsprüfungen

(1) Die zu verstärkende Objektfläche sollte vorzugsweise die Unterseite eines horizontalen Bauteils (z. B. Stahlbetonplatte) mit einer Betonfestigkeit ≥ C 30/37 sein, dessen Fläche mindestens 1 m breit und 4 m lang sowie eine Plattenstärke von mind. 150 mm aufweist. Die zu verstärkenden Fläche muss mindestens in einer Höhe von 2 m Höhe liegen.

(2) Vor dem Verstärken mit Carbonbeton wird im mittleren Bereich die Betondeckung bis auf die Bewehrung abgestemmt, um eine Fehlstelle zu erhalten. Zudem ist die Untergrundvorbereitung für die Carbonbetonschicht unter Beachtung der ausführungsrelevanten Abschnitte der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung durchzuführen. Dabei sind alle nach Abschnitt 3.4.7 der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung vorgesehenen Prüfungen vorzunehmen.

Die Bestimmung der Druckfestigkeit, der Rohdichte und der Biegezugfestigkeit des Feinbetons nach den Vorgaben der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung, Anlage 3, Tabelle 1, Zeilen 6 bis 8, kann an einer ständigen Betonprüfstelle gemäß DIN 1045-3[2] erfolgen.

---

[2] DIN 1045-3:2012-03 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670

DIN 1045-3 Ber.1:2013-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670, Berichtigung zu DIN 1045-3:2012-03

Die Bestimmung der Auszugsfestigkeiten des Carbonbetons gemäß der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung, Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 10 hat von einer Prüfstelle zu erfolgen, die im Anhang A enthalten ist.

(3) Auf die zu verstärkende Fläche des Betonbauteils ist die maximale Lagenanzahl von Gittern in die Carbonbetonschicht einzuarbeiten, die nach der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung für den Bausatz möglich ist. Sind nach der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung für diesen Bausatz Übergreifungsstöße möglich, ist mindestens eine der Lagen der Carbongitter mit einem Übergreifungsstoß auszuführen. Bei der Herstellung der Carbonbetonschicht sind die ausführungsrelevanten Abschnitte der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung zu beachten. Die Arbeitsvorbereitung, der allgemeine Arbeitsablauf, das Handling und der Zuschnitt der Carbongitter sind dabei besonders zu beurteilen.

(4) Nach Aufbringen der Carbonbetonverstärkung ist entsprechend nachzubehandeln.

(5) Die Beurteilung der Carbonbetonverstärkungsschicht durch die Prüfstelle[1] erfolgt nach Erhärtung des Feinbetons frühestens nach 28 Tagen (ggf. teilweise auch schon nach 7 bzw. 14 Tagen) durch visuelle bzw. taktile Beurteilung, Abreißversuch nach DIN EN 1542[3] (siehe auch (6)) und Auswertung der Prüfungen des ausführenden Unternehmens entsprechend der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigungen. Zur visuellen bzw. taktilen Beurteilung ist die Verstärkungsfläche mit geeigneten Mitteln auf Hohlstellen zu untersuchen.

(6) Vor den Abreißversuchen nach DIN EN 1542[3] sind dafür Ringnute mit dem Durchmesser von 50 mm bis in den Altbeton des verstärkten Bauteils zu bohren. Die Prüfstempel sind auf die Carbonbetonoberfläche innerhalb der Ringnute zu verkleben. Es sind mindestens sechs Abreißversuche nach DIN EN 1542[3] durchzuführen. Zwei davon müssen im Bereich der Endverankerung liegen und zwei davon im Übergreifungsbereich, falls vorhanden.

(7) Nach den Abreißversuchen nach DIN EN 1542[3] sind kreuzweise zwei mindestens 1,5 m lange und 50 mm breite Nuten in die Carbonbetonschicht bis in den Untergrundbeton zu fräsen. Daran sind der Einbau der Carbongitter und die Lagegenauigkeit zu beurteilen.

(8) Die gesamten Verstärkungsarbeiten, durchgeführten Prüfungen und Ergebnisse sind vom ausführenden Unternehmen entsprechend der angewandten allgemeinen Bauartgenehmigung, Abschnitt 3.4.8.3 zu dokumentieren.

---

[3] 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

4 Bescheinigung über die Eignung des ausführenden Unternehmens

(1) Die Prüfstelle[1] stellt dem ausführenden Unternehmen die Bescheinigung über die Eignung aus, sofern diese nachgewiesen wurde. Eine Kopie dieser Bescheinigung und des entsprechenden Beurteilungsberichtes der Prüfstelle[1] sind dem Deutschen Institut für Bautechnik zu übersenden.

(2) Die Bescheinigung wird für drei Jahre widerruflich erteilt. Auf Antrag kann die Geltungsdauer der Bescheinigung um jeweils drei Jahre verlängert werden.

(3) Vor jeder Verlängerung:

- ist der Prüfstelle[1] darzulegen, dass die relevanten Bedingungen der jeweils angewandten allgemeinen Bauartgenehmigungen Z-31.10-... eingehalten worden sind. Hierzu muss das ausführende Unternehmen eine Liste der ausgeführten Bauobjekte vorlegen, die mindestens folgende Angaben enthalten muss:
- Name, Ort und Art des Bauobjektes;
- Nummer der angewandten Bauartgenehmigung und Name und Art des verwendeten Carbongitters (Typenbezeichnung),
- Überwachungsbericht der Überwachungsstelle der Bauausführung.
- hat das Fachpersonal des ausführenden Unternehmens die theoretische Prüfung nach Abschnitt 2 zu wiederholen.

(4) Das ausführende Unternehmen muss der Prüfstelle[1] jeden Wechsel der qualifizierten Führungskräfte anzeigen.

5 Anhang A

Tabelle 1: Liste der geeigneten Prüfstellen/ Institute für die Ermittlung der Auszugsfestigkeiten auf der Baustelle (Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 10 der abZ/aBG)

Prüfstelle/ Institut	**Anschrift**
IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH	Wilhelmine-Reichard-Ring 4 01109 Dresden
MFPA Leipzig GmbH Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH	Hans-Weigel Straße 2B 04319 Leipzig
Technische Universität Dresden Institut für Massivbau	August-Bebel-Straße 30/30A 01219 Dresden
Technische Universität Dresden Institut für Baustoffe	Georg-Schumann-Straße 7 01187 Dresden
RWTH Aachen Lehrstuhl und Institut für Massivbau	Mies-van-der-Rohe-Straße 1 52074 Aachen
RWTH Aachen Das Institut für Baustoffforschung	Schinkelstraße 3 52062 Aachen
Technische Universität Dortmund Lehrstuhl Werkstoffe des Bauwesens	August-Schmidt-Straße 8 44227 Dortmund

Impressum

Herausgeber: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin
vertreten durch den Präsidenten Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft
Telefon: +49 30 787 30 – 0 I E-Mail: dibt@dibt.de I www.dibt.de

Redaktionsleitung: Dr.-Ing. Doris Kirchner

Letzte redaktionelle Überarbeitung: 29. Juli 2022

Diese Publikation wird im Internet unter www.dibt.de veröffentlicht und ist kostenfrei verfügbar.
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers.

solidian.
reinforcing the future

solidian ist spezialisiert auf die Entwicklung und Herstellung von innovativen, nachhaltigen und lebenslang korrosionsfreien Bewehrungslösungen, besteht aus Faserverbundwerkstoffen auf Carbon-, Glas oder Basaltfaserbasis. Aufbauend auf langjähriger Forschung entwickelt und fertigt das Unternehmen heute in Deutschland und Kroatien in Eigenproduktion

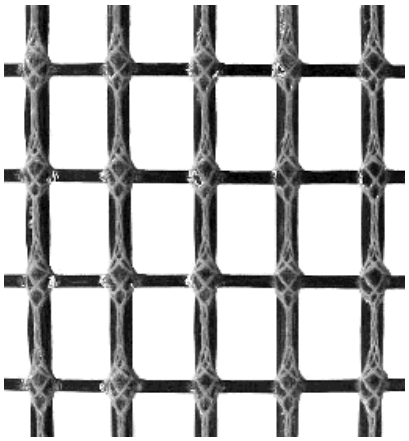
Das nichtmetallische Bauen überzeugt vorwiegend in der Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit und findet insbesondere im Bereich infrastruktureller Bauwerke, wie Brücken oder Parkhäuser, sowie im hochwertigen Fassadenbau, Anwendung. Weitere Fokusbereiche von solidian sind die Betoninstandsetzung und Tragwerksverstärkung.

Ein Service rund um unsere Lösungen ist uns wichtig! Daher beraten wir Sie gerne zu statischen und konstruktiven Fragestellungen im Umgang mit Bewehrungen aus Faserverbundkunststoffen und entwickeln neue Lösungen, um Ihnen die Handhabung mit unseren Produkte zu erleichtern.Unser jüngstes Beispiel ist das CARGO SYSTEM, mit dem Sie sich mehr als 100 m Bewehrung aufgerollt zur Baustelle liefern lassen und diese mit einer integrierten Schneidevorrichtung ablängen können. Dies ermöglicht Ihnen eine schnelle und wirtschaftliche Verlegung großer Flächen.

TECHNISCHES PRODUKTDATENBLATT

solidian GRID R142/28-CCY-13/16 (F04R12)

CARBOrefit Typ 3 Regelausführung



Asymmetrisches, unidirektionales Bewehrungsgitter (Typ R) aus medienbeständigem Carbonfaserverbundwerkstoff für die Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton nach allgemein bauaufsichtlicher Zulassung/allgemeiner Bauartgenehmigung Z-31.10-182

Material

Fasermaterial	C (Carbon)
Tränkungsmittel	Y (Acrylat)
Farbe	schwarz

Geometrie und Aufbau

			Einheit	Wert	Toleranz	Norm
Richtungen der Faserstränge		Längsrichtung	[°]	0	± 5°	-
		Querrichtung		90	± 5°	
$A_{f,nm}$	Faserquerschnittsfläche Faserstrang	Längsrichtung	[mm²]	1,81	-	-
		Querrichtung		0,45	-	
A_{nm}	Nennquerschnittsfläche Faserstrang	Längsrichtung	[mm²]	3,6	-	-
		Querrichtung		-	-	
a	Gitterweite	Längsrichtung	[mm]	12,7	-	-
		Querrichtung		16	-	
$a_{f,nm}$	Faserquerschnittsfläche Fasersträngebezogen auf 1 m Breite	Längsrichtung	[mm²/m]	142	-	-
		Querrichtung		28	-	

Materialeigenschaften

		Einheit	Wert	Toleranz	Norm
Flächengewicht		[g/m²]	447	-	-
Rohdichte des Faserverbund-Materials		[g/cm³]	1,4	-	-
Glasübergangstemperatur T_g (DSC)	Längsrichtung	[°C]	≥ 100	-	-

Mechanische Eigenschaften

			Einheit	Wert [1)]	Sollwert [1)]	Norm
$f_{f,m}$	Mittlere Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs	Längsrichtung	[N/mm²]	3.600	≥ 2.700	Z-31.10.182
		Querrichtung		-	-	-
$E_{f,m}$	Mittlerer Elastizitätsmodul des getränkten Faserstrangs	Längsrichtung	[N/mm²]	≥ 230.000	≥ 170.000	Z-31.10.182
		Querrichtung		-	-	-
$f_{f,nm,k}$	Charakteristische Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs im Beton	Längsrichtung	[N/mm²]	2.430	≥ 2.250	Z-31.10.182
		Querrichtung		-	-	-
$\varepsilon_{f,nm,uk}$	Charakteristische Bruchdehnung des getränkten Faserstrangs im Beton	Längsrichtung	[%]	≥ 1,25	≥ 1,1	Z-31.10.182
		Querrichtung		-	-	-
$E_{f,nm,i}$	Einzelwert des Elastizitätsmoduls des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton	Längsrichtung	[N/mm²]	erfüllt	≥ 170.000 ≤ 260.000	Z-31.10.182
		Querrichtung		-	-	-
$T_{nm,k}$	Charakteristischer Wert der auf die Faserstranglängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Faserstrangs	Faserlängs-richtung	[N/mm]	14,5	≥ 10,0	Z-31.10.182

Lieferformen

		Einheit	Wert	Toleranz
Einzelgitter	Länge	[m]	6,0	± 16 mm
	Breite		2,30	± 12 mm
Rolle im CARGO SYSTEM	Länge	[m]	≤ 130,0	-
	Breite		2,30	± 12 mm
Rolle	Länge	[m]	≤ 250,0	-
	Breite		3,0	± 12 mm

Einzelgitter bis 3,0 m Breite auf Anfrage. Die maximale Länge des Gitters als Rolle ist abhängig vom Produkttyp und der Transportart. Bitte vor Bestellung anfragen. Gewünschte Länge des Gitters als Rolle bitte bei der Bestellung angeben.
Das CARGO SYSTEM ist ein Stapel- und Transportgestell mit Abrollvorrichtung für unsere Bewehrungsgitter.

Transport- und Lagerbedingungen

Nichtmetallische Bewehrungen der solidian GmbH dürfen während des Transports, der Lagerung, der Verarbeitung und des Einbaus nicht beschädigt und keinen höheren Temperaturen als 80°C ausgesetzt werden. Sie sind trocken, witterungsgeschützt und ohne Bodenberührung zu lagern. Sie müssen bis zum Betonieren vor UV-Strahlung und Feuchtigkeit geschützt werden und frei von verbundmindernden Verunreinigungen (z. B. Fett, Erdreich, lose Betonreste) sein.

[1)] Rechenwerte des Carbongitters CARBOrefit®-Typ 3 als Eingangsdaten für die Bemessung entnehmen Sie bitte der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182, Tabelle 4. Die Ermittlung der Bemessungszugfestigkeit und der Bemessungsverbundfestigkeit des Carbongitters erfolgt über Abminderungsfaktoren nach abZ/aBG Z-31.10-182 , Tabelle 4. Es ist anzumerken, dass im Rahmen der abZ/aBG Z-31.10-182, Abschnitt 3.2 nur die Faserstränge des Carbongitters in Kettrichtung (Längsrichtung) für die Bemessung der Verstärkungsschicht herangezogen werden dürfen.

Übereinstimmungsbestätigung

Im Rahmen der Bestätigung der Übereinstimmung unseres Bauprodukts nach dem Abschnitt 2.1.1 der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182 und zur Qualitätssicherung werden werkseigene Produktionskontrollen gemäß Abschnitt 2.3.2 durchgeführt. Die werkseigenen Produktionskontrollen werden durch das MFPA Leipzig fremdüberwacht.
Die Kosten für die Prüfungen, die im Rahmen der Zulassung Z-31.10-182 über den Prüf- und Überwachungsplan gefordert sind und durchgeführt werden, sind in unseren Angebotspreisen für zugelassene Gitter abgedeckt. Sollten Sie erweiterte produktionsbegleitenden Prüfungen benötigen, kontaktieren Sie uns bitte. Wir erstellen Ihnen hierfür gerne ein unverbindliches Angebot.

Länderspezifische Bestimmungen

Für die Verwendung des Produkts gelten die jeweiligen nationalen Bestimmungen am Ort der Verwendung, in Deutschland zum Beispiel die Bauordnungen der Länder, und die technischen Bestimmungen aufgrund dieser Vorschriften. Mit dem Bescheid Z-31.10-182 ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Regelungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
Die Bemessung zum CARBOrefit®-Verfahren erfolgt grundsätzlich nach der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182 und den in dem Bescheid zitierten mitgeltenden Normen.

Ökologie und Gesundheitsschutz

VERORDNUNG (EG) NR. 1907/2006 - REACH
Dieses Produkt ist ein Erzeugnis entsprechend Artikel 3 der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH). Es enthält keine Stoffe, die bei üblicher Anwendung aus dem Erzeugnis freigesetzt werden. Ein Sicherheitsdatenblatt nach Artikel 31 der gleichen Verordnung ist nicht erforderlich, um dieses Produkt auf den Markt zu bringen, zu transportieren oder es anzuwenden. Für die sichere Nutzung befolgen Sie die Anweisungen aus diesem Datenblatt. Nach unseren derzeitigen Kenntnissen enthält dieses Produkt keine SVHC (besonders besorgniserregende Stoffe) nach Anhang XIV der REACH-Verordnung oder Stoffe, die auf der Kandidatenliste von der Europäischen Agentur für chemische Stoffe mit Konzentrationen über 0,1 % (w/w) veröffentlicht wurden.

Verarbeitungshinweise

Die Verstärkungsarbeiten mit dem vorliegenden Bewehrungsgitter dürfen nach Z-31.10-182, Abschnitt 3.4.1 nur von Unternehmen ausgeführt werden, die ihre Eignung nachgewiesen haben. Die Eignung des ausführenden Unternehmens muss durch einen Eignungsnachweis nach den "Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen" gegenüber einer dafür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle erbracht werden.
Beschädigte Faserbündel (Harzabplatzungen, spröde Stellen etc.) dürfen nicht eingebaut werden, da die angegebene Tragfähigkeit nicht gewährleistet werden kann. Die angegebenen Werte des Produkts, insbesondere zur Zugfestigkeit, gelten nur bei bestimmungsgemäßem Gebrauch.

Arbeitsschutz

Bei allen Arbeiten mit Schneidegeräten sind Schutzmaßnahmen einzuhalten, wie z.B. das Tragen von schnittfesten Handschuhen, Schutzbrille und Staubmaske. Der konkrete Umgang mit Faserverbundwerkstoffen sollte sich an den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (baua) orientieren. Ferner weisen wir auf die DGUV-Informationen "Bearbeitung von CFK-Materialien - Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen" (FB-HM 074, Ausgabe 10/2014) hin.

Rechtliche Hinweise

Die vorstehenden Angaben beruhen auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen im Normalfall, vorausgesetzt das Produkt wurde sachgerecht und entsprechend den Angaben in diesem Produktdatenblatt und der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182 transportiert, gelagert und angewandt bzw. verarbeitet. Die mit unseren Produkten erzielbaren Arbeitsergebnisse hängen insbesondere von deren Verwendung und Verarbeitung ab. Die Eignung des Produktes für die konkrete Verwendung ist vorab eigenverantwortlich zu prüfen. Die länderspezifischen Regelungen zur Ver- und Anwendung dieses Produktes sind zu beachten.
Änderungen der Produktspezifikationen bleiben vorbehalten. Schutzrechte Dritter sind zu beachten. Im Übrigen gelten unsere jeweiligen Verkaufs- und Lieferbedingungen. Es gilt das jeweils neueste technische Produktdatenblatt zum Zeitpunkt des Erwerbs unserer Produkte.

Sigmaringer Straße 150
72458 Albstadt
Deutschland
+49 7431 103135
info@solidian.com

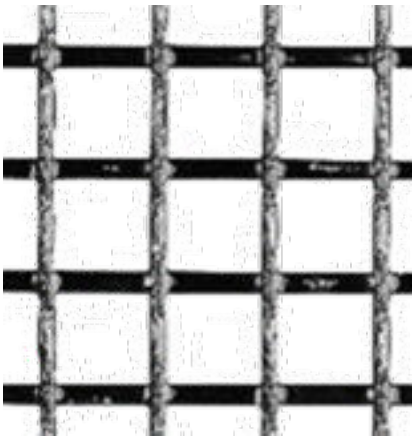
Dr. Slavka Rozgaja 3
47000 Karlovac
Kroatien
+385 47 693300

TECHNISCHES PRODUKTDATENBLATT

solidian GRID Q85-CCY-21 (F01R12)

CARBOrefit Typ 3 Sonderausführung

Symmetrisches, bidirektionales Bewehrungsgitter (Typ Q) aus medienbeständigem Carbonfaserverbundwerkstoff für die Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton nach allgemein bauaufsichtlicher Zulassung/allgemeiner Bauartgenehmigung Z-31.10-182



Material

Fasermaterial	C (Carbon)
Tränkungsmittel	Y (Acrylat)
Farbe	schwarz

Geometrie und Aufbau

			Einheit	Wert	Toleranz	Norm
Richtungen der Faserstränge		Längsrichtung	[°]	0	± 5°	-
		Querrichtung		90	± 5°	
$A_{f,nm}$	Faserquerschnittsfläche Faserstrang	Längsrichtung	[mm²]	1,81	-	-
		Querrichtung		1,81	-	
A_{nm}	Nennquerschnittsfläche Faserstrang	Längsrichtung	[mm²]	3,4	-	-
		Querrichtung		3,3	-	
a	Gitterweite	Längsrichtung	[mm]	21	-	-
		Querrichtung		21	-	
$a_{f,nm}$	Faserquerschnittsfläche Fasersträngе bezogen auf 1 m Breite	Längsrichtung	[mm²/m]	85	-	-
		Querrichtung		85	-	

Materialeigenschaften

		Einheit	Wert	Toleranz	Norm
Flächengewicht		[g/m²]	421	-	-
Rohdichte des Faserverbund-Materials		[g/cm³]	1,3	-	-
Glasübergangstemperatur T_g (DSC)	Längsrichtung	[°C]	≥ 100	-	-

Mechanische Eigenschaften

			Einheit	Wert [1]	Sollwert [1]	Norm
$f_{f,m}$	Mittlere Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs	Längsrichtung	[N/mm²]	3.800	≥ 2.700	Z-31.10.182
		Querrichtung		- [2]	≥ 2.700	Z-31.10.182
$E_{f,m}$	Mittlerer Elastizitätsmodul des getränkten Faserstrangs	Längsrichtung	[N/mm²]	≥ 230.000	≥ 170.000	Z-31.10.182
		Querrichtung		- [2]	≥ 170.000	Z-31.10.182
$f_{f,nm,k}$	Charakteristische Zugfestigkeit des getränkten Faserstrangs im Beton	Längsrichtung	[N/mm²]	2.670	≥ 2.250	Z-31.10.182
		Querrichtung		- [2]	≥ 2.250	Z-31.10.182
$\varepsilon_{f,nm,uk}$	Charakteristische Bruchdehnung des getränkten Faserstrangs im Beton	Längsrichtung	[%]	≥ 1,1	≥ 1,1	Z-31.10.182
		Querrichtung		- [2]	≥ 1,1	Z-31.10.182
$E_{f,nm,i}$	Einzelwert des Elastizitätsmoduls des getränkten Faserstrangs im Carbonbeton	Längsrichtung	[N/mm²]	erfüllt	≥ 170.000 ≤ 260.000	Z-31.10.182
		Querrichtung		- [2]	≥ 170.000 ≤ 260.000	Z-31.10.182
$T_{nm,k}$	Charakteristischer Wert der auf die Faserstranglängsrichtung bezogenen Verbundfestigkeit eines Faserstrangs	Längsrichtung	[N/mm]	14,1	≥ 10,0	Z-31.10.182
		Querrichtung		- [2]	≥ 10,0	Z-31.10.182

Lieferformen

		Einheit	Wert	Toleranz
Einzelgitter	Länge	[m]	6,0	± 16 mm
	Breite		2,30	± 12 mm
Rolle im CARGO SYSTEM	Länge	[m]	≤ 130,0	-
	Breite		2,30	± 12 mm
Rolle	Länge	[m]	≤ 250,0	-
	Breite		3,0	± 12 mm

Einzelgitter bis 3,0 m Breite auf Anfrage. Die maximale Länge des Gitters als Rolle ist abhängig vom Produkttyp und der Transportart. Bitte vor Bestellung anfragen. Gewünschte Länge des Gitters als Rolle bitte bei der Bestellung angeben.
Das CARGO SYSTEM ist ein Stapel- und Transportgestell mit Abrollvorrichtung für unsere Bewehrungsgitter.

Transport- und Lagerbedingungen

Nichtmetallische Bewehrungen der solidian GmbH dürfen während des Transports, der Lagerung, der Verarbeitung und des Einbaus nicht beschädigt und keinen höheren Temperaturen als 80°C ausgesetzt werden. Sie sind trocken, witterungsgeschützt und ohne Bodenberührung zu lagern. Sie müssen bis zum Betonieren vor UV-Strahlung und Feuchtigkeit geschützt werden und frei von verbundmindernden Verunreinigungen (z. B. Fett, Erdreich, lose Betonreste) sein.

[1] Rechenwerte des Carbongitters CARBOrefit®-Typ 3 als Eingangsdaten für die Bemessung entnehmen Sie bitte der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182, Tabelle 4. Die Ermittlung der Bemessungszugfestigkeit und der Bemessungsverbundfestigkeit des Carbongitters erfolgt über Abminderungsfaktoren nach abZ/aBG Z-31.10-182 , Tabelle 4. Es ist anzumerken, dass im Rahmen der abZ/aBG Z-31.10-182, Abschnitt 3.2 nur die Faserstränge des Carbongitters in Kettrichtung (Längsrichtung) für die Bemessung der Verstärkungsschicht herangezogen werden dürfen. Zur Verwendung des Carbongitters für den 2-axialen Lastabtrag in Kett- und Schussrichtung (Längs- und Querrichtung) ist eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich, die von der Obersten Bauaufsichtsbehörde des Landes erteilt wird, in dem das Bauvorhaben durchgeführt wird.

[2] Der genaue Wert wird bei Bedarf bestimmt. Bitte sprechen Sie uns im Vorfeld dazu an.

Übereinstimmungsbestätigung

Im Rahmen der Bestätigung der Übereinstimmung unseres Bauprodukts nach dem Abschnitt 2.1.1 der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182 und zur Qualitätssicherung werden werkseigene Produktionskontrollen gemäß Abschnitt 2.3.2 durchgeführt. Die werkseigenen Produktionskontrollen werden durch das MFPA Leipzig fremdüberwacht.
Die Kosten für die Prüfungen, die im Rahmen der Zulassung Z-31.10-182 über den Prüf- und Überwachungsplan gefordert sind und durchgeführt werden, sind in unseren Angebotspreisen für zugelassene Gitter abgedeckt. Sollten Sie erweiterte produktionsbegleitenden Prüfungen benötigen, kontaktieren Sie uns bitte. Wir erstellen Ihnen hierfür gerne ein unverbindliches Angebot.

Länderspezifische Bestimmungen

Für die Verwendung des Produkts gelten die jeweiligen nationalen Bestimmungen am Ort der Verwendung, in Deutschland zum Beispiel die Bauordnungen der Länder, und die technischen Bestimmungen aufgrund dieser Vorschriften. Mit dem Bescheid Z-31.10-182 ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Regelungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
Die Bemessung zum CARBOrefit®-Verfahren erfolgt grundsätzlich nach der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182 und den in dem Bescheid zitierten mitgeltenden Normen.

Ökologie und Gesundheitsschutz

VERORDNUNG (EG) NR. 1907/2006 - REACH
Dieses Produkt ist ein Erzeugnis entsprechend Artikel 3 der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH). Es enthält keine Stoffe, die bei üblicher Anwendung aus dem Erzeugnis freigesetzt werden. Ein Sicherheitsdatenblatt nach Artikel 31 der gleichen Verordnung ist nicht erforderlich, um dieses Produkt auf den Markt zu bringen, zu transportieren oder es anzuwenden. Für die sichere Nutzung befolgen Sie die Anweisungen aus diesem Datenblatt. Nach unseren derzeitigen Kenntnissen enthält dieses Produkt keine SVHC (besonders besorgniserregende Stoffe) nach Anhang XIV der REACH-Verordnung oder Stoffe, die auf der Kandidatenliste von der Europäischen Agentur für chemische Stoffe mit Konzentrationen über 0,1 % (w/w) veröffentlicht wurden.

Verarbeitungshinweise

Die Verstärkungsarbeiten mit dem vorliegenden Bewehrungsgitter dürfen nach Z-31.10-182, Abschnitt 3.4.1 nur von Unternehmen ausgeführt werden, die ihre Eignung nachgewiesen haben. Die Eignung des ausführenden Unternehmens muss durch einen Eignungsnachweis nach den "Grundsätze für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Arbeiten zur Verstärkung von Betonbauteilen mit Carbonbeton nach den gültigen allgemeinen Bauartgenehmigungen" gegenüber einer dafür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle erbracht werden.
Beschädigte Faserbündel (Harzabplatzungen, spröde Stellen etc.) dürfen nicht eingebaut werden, da die angegebene Tragfähigkeit nicht gewährleistet werden kann. Die angegebenen Werte des Produkts, insbesondere zur Zugfestigkeit, gelten nur bei bestimmungsgemäßem Gebrauch.

Arbeitsschutz

Bei allen Arbeiten mit Schneidegeräten sind Schutzmaßnahmen einzuhalten, wie z.B. das Tragen von schnittfesten Handschuhen, Schutzbrille und Staubmaske. Der konkrete Umgang mit Faserverbundwerkstoffen sollte sich an den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (baua) orientieren. Ferner weisen wir auf die DGUV-Informationen "Bearbeitung von CFK-Materialien - Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen" (FB-HM 074, Ausgabe 10/2014) hin.

Rechtliche Hinweise

Die vorstehenden Angaben beruhen auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen im Normalfall, vorausgesetzt das Produkt wurde sachgerecht und entsprechend den Angaben in diesem Produktdatenblatt und der allgemein bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Z-31.10-182 transportiert, gelagert und angewandt bzw. verarbeitet. Die mit unseren Produkten erzielbaren Arbeitsergebnisse hängen insbesondere von deren Verwendung und Verarbeitung ab. Die Eignung des Produktes für die konkrete Verwendung ist vorab eigenverantwortlich zu prüfen. Die länderspezifischen Regelungen zur Ver- und Anwendung dieses Produktes sind zu beachten.
Änderungen der Produktspezifikationen bleiben vorbehalten. Schutzrechte Dritter sind zu beachten. Im Übrigen gelten unsere jeweiligen Verkaufs- und Lieferbedingungen. Es gilt das jeweils neueste technische Produktdatenblatt zum Zeitpunkt des Erwerbs unserer Produkte.

Sigmaringer Straße 150
72458 Albstadt
Deutschland
+49 7431 103135
info@solidian.com

Dr. Slavka Rozgaja 3
47000 Karlovac
Kroatien
+385 47 693300

30 YEARS OF INNOVATIONS EST. 1990
CERTIFIED AND TESTED EU
CERTIFIED ISO 9001 ISO 14001

TEXTILFEINBETON

TF10 CARBOrefit® TEXTILFEINBETON

PRÜFZEUGNISSE UND NACHWEISE

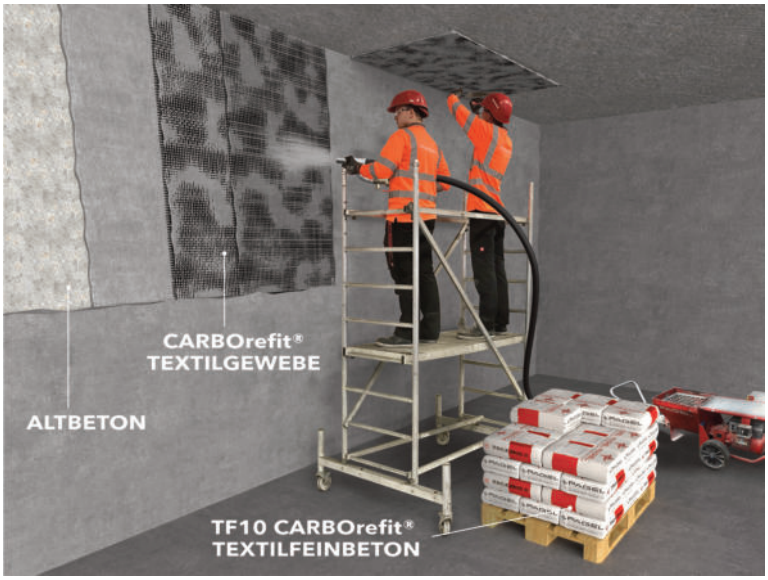
› Betonersatz gemäß
– DIN EN 1504-3 „Betonersatz für die statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung“
– DIN EN 13813 „Zementestrich für Nutzschichten“
› Verwendbarkeitsnachweis durch allgemein bauaufsichtliche Zulassung (abZ) zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton im CARBOrefit®-Verfahren (Zulassungsnr. Z 31.10-182)
› hoher Frost- und Frost-Tausalzwiderstand – Nachweis durch CIF- und CDF-Verfahren
› hoher Korrosionswiderstand gegen starken chemischen Angriff – Nachweis durch Prüfung gemäß DIN 19573
› Baustoffklasse A1 (nicht brennbar) – Nachweis der Prüfung zur Klassifizierung gemäß DIN EN 13501-1
› werkseigene Produktionskontrolle gemäß DIN EN 1504-3 und DIN EN 13813
› Fremdüberwachung durch das Kiwa GmbH Polymer Institut
› Unternehmenszertifizierung gemäß DIN EN ISO 9001:2015

Mit dem CARBOrefit®-Verfahren wird die Herstellung und Anwendung von Textilbeton auf der Grundlage vorgegebener Qualitäts-Standards für die Komponenten des innovativen Verbundwerkstoffs, die Verfahren ihrer Fertigung, die aus oder mit dem Verbundwerkstoff entwickelten und hergestellten Produkte, deren Herstellungsverfahren zur Verstärkung und Instandsetzung geschützt.

PAGEL® Spezial-Beton GmbH & Co. KG weist darauf hin, dass das Produkt **TF10** CARBOrefit® Textilfeinbeton eine Komponente der abZ CARBOrefit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton ist. Wenn eine Verstärkungsmaßnahme als eine durch das CARBOrefit®-Verfahren qualitätsgesicherte Anwendung durchgeführt werden soll, sind dem Bauherrn die erforderlichen Nachweise vorzulegen.

ANWENDUNGSBEISPIEL:

Konstruktive Betoninstandsetzung mit **TF10** CARBOrefit® Textilfeinbeton



EIGENSCHAFTEN

› gebrauchsfertiger, zementgebundener Feinbeton, abgestimmt auf CARBOrefit® Textilgewebe
› muss lediglich mit Trinkwasser angemischt werden
› verarbeitbar im Spritzverfahren und per Handapplikation
› weichplastische Verarbeitungskonsistenz mit sehr guter Standfestigkeit an vertikalen und Über-Kopf-Flächen
› hervorragende Verarbeitung mit dem MAWO-PAGEL®-Dichtstrom-Nassspritzverfahren
› hoher Frost- und Frost-Tausalzwiderstand
› niedriger Elastizitätsmodul
› hohe Biegezugfestigkeit
› hoher Widerstand gegen starken chemischen Angriff
› nicht brennbar

SYSTEMKOMPONENTEN

RM02 Korrosionsschutz
TF10 CARBOrefit® Textilfeinbeton

ANWENDUNGSGEBIETE

› Hochleistungs-Feinbeton als Matrix für textile Gelege
› konstruktive Verstärkung der Zugzone von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken
› Reduzierung von Schichtdicken
  – von Betonstrukturen im konstruktiven Ingenieurbau
  – bei konstruktiven Instandsetzungsmaßnahmen

FEUCHTIGKEITSKLASSEN BEZOGEN AUF BETON-KORROSION INFOLGE ALKALI-KIESELSÄURE-REAKTION

Feuchtigkeitsklasse	WO	WF	WA	WS
TF10	•	•	•	•

Die Gesteinskörnungen der PAGEL®-Produkte entsprechen nach DIN EN 12620 der Alkaliempfindlichkeitsklasse E1 aus unbedenklichen Vorkommen.

EXPOSITIONSKLASSENZUORDNUNG GEMÄSS: DIN EN 206-1 / DIN 1045-21 / DIN 19573

	XO	XC	XD	XS	XF	XA*	XM	XWW
		1234	123	123	1234	123**	123	123
TF10	•	••••	•••	•••	••••	•••	•	•••

* Bei Sulfatangriff bis 1.500 mg/l
** mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen nach DIN 1045-2

TECHNISCHE DATEN

TYP			TF10
Körnung		mm	0–1
Wassermenge	max.	%	14
Verarbeitungszeit ca.	+ 20 °C	min	60
Verbrauch (Trockenmörtel) ca.		kg/(m² · mm)	1,9
Frischmörtelrohdichte ca.		kg/m³	2.150
Schichtdicke		mm	3–30
Ausbreitmaß DIN EN 13395-1	5 min	mm	170–210
Druckfestigkeit*	1 d	N/mm²	≥ 15
	7 d	N/mm²	≥ 40
	28 d	N/mm²	≥ 80
Biegezugfestigkeit*	1 d	N/mm²	≥ 3
	7 d	N/mm²	≥ 6
	28 d	N/mm²	≥ 8
E-Modul (statisch)	28 d	N/mm²	≥ 25.000
Klassifizierung gemäß EN 1504-3			R4

* Prüfung der Biegezug- und Druckfestigkeit gemäß DIN EN 196-1

Hinweis: Alle Frisch- und Festmörtelprüfungen erfolgen bei 20 °C ± 2 °C, Lagerung der Prüfkörper nach 24 Stunden bis zur Festigkeitsprüfung in Wasser bei 20 °C ± 2 °C. Höhere oder niedrigere Temperaturen führen zu abweichenden Frisch-/ Festmörteleigenschaften und Prüfergebnissen. Je nach Temperatur kann die Konsistenz durch geringfügige Reduzierung des Zugabewassers angepasst werden.

Lagerung: 12 Monate. Kühl, trocken, frostfrei. In original verschlossenen Gebinden.
Lieferform: 25-kg-Sack, Europalette 1.000 kg
Gefahrenklasse: kein Gefahrgut, Hinweise auf der Verpackung beachten.
GISCODE: ZP1

PAGEL-PRODUKTZUSAMMENSETZUNG:
Zement: gemäß DIN EN 197-1
Gesteinskörnung: gemäß DIN EN 12620
Zusatzstoffe: gemäß DIN EN 450, abZ, DIN EN 13263 (Flugasche, Mikrosilika, etc.)

VERARBEITUNG

UNTERGRUNDVORBEREITUNG:
Lose und hafthemmende Teile wie Zementschlämme, Verunreinigungen etc. durch geeignete Verfahren (z. B. HDW-Strahlen, Kugelstrahlen o. Ä.) bis zum tragfähigen Korngerüst entfernen. Eine ausreichende Abreißfestigkeit (i. M. ≥ 1,5 N/mm², KEW ≥ 1,0 N/mm²) muss gewährleistet sein.

Vornässen:
Ca. 6 bis 24 Stunden bis zur kapillaren Sättigung der Betonunterlage vornässen.

Betonstahl:
Der Grad der Oberflächenvorbereitung der Bewehrung sowie anderer metallischer Einbauteile richtet sich nach den Anforderungen der zugrundeliegenden aktuellen gültigen Regelwerke und ist vor der Verarbeitung sicherzustellen.

Nichteisenmetalle:
Zement und zementgebundene Baustoffe verursachen einen lösenden Angriff auf Nichteisenmetalle (z. B. Aluminium, Kupfer, Zink). Fordern Sie bitte unsere Technische Beratung an.

MISCHEN:
Der Trockenmörtel ist gebrauchsfertig und muss nur noch mit Wasser gemischt werden. Vorgeschriebene Wassermenge bis auf eine Restmenge in ein sauberes und geeignetes Mischgerät (z. B. Zwangsmischer) einfüllen. Trockenmörtel hinzufügen und mindestens 3 Minuten mischen. Restliches Wasser zugeben und mindestens weitere 2 Minuten bis zur Homogenität mischen.

Zugabewasser:
Trinkwasserqualität

Temperaturbereich:
+5 °C bis +30 °C (Bauteil-, Luft- und Materialtemperatur)

Tiefe Temperaturen und kaltes Zugabewasser verzögern die Festigkeitsentwicklung, erfordern ein intensives Zwangsmischen und reduzieren die Fließfähigkeit. Höhere Temperaturen beschleunigen.

VERARBEITUNG:
Korrosionsschutz:
Ggf. freiliegende und vorbereitete Bewehrungseinlagen lückenlos mit **RM02** Korrosionsschutz und Haftbrücke zweilagig beschichten. Hierbei Technisches Merkblatt beachten.

Händische Verarbeitung:
TF10 CARBOrefit® Textilfeinbeton als Haftbrücke mit Bürste oder Besen auf den vorgenässten, mattfeuchten Betonuntergrund lückenlos und porentief einzubürsten. Die nachfolgende Mörtelbeschichtung muss frisch-in-frisch erfolgen.
Anschließend die erste Lage **TF10** CARBOrefit® Textilfeinbeton mit geeigneten Arbeitsgeräten in die noch nicht abgebundene Haftbrücke im Laminierverfahren auftragen. Textile Bewehrung auf die erste Lage Mörtel auflegen und leicht eindrücken. Anschließend die nächste Lage **TF10** CARBOrefit® Textilfeinbeton auflaminieren.

Maschinelle Applikation:
Verarbeitung des CARBOrefit® Textilfeinbeton im MAWO-PAGEL®-Dichtstrom-Nassspritzverfahren.
Die Spritzverarbeitung des Mörtels kann mit konventionellen Schnecken-Förderpumpen mit einem Regelgetriebe erfolgen, die für diese Applikation geeignet sind. Die Spritzdüse ist hierbei mit einem Abstand von ca. 50 cm möglichst rechtwinklig zur Spritzfläche zu halten.

Die 1. Spritzlage ist zur haftbrückenunterstützenden Wirkung mit erhöhter Druckluftleistung aufzuspritzen. Nach Applikation der 1. Spritzlage die Textilbewehrung einlegen und leicht andrücken. Der Auftrag der weiteren Spritzlagen erfolgt mit angepasster Fördergeschwindigkeit und Druckluftleistung, so dass die Textilbewehrung nicht geschädigt wird. Die Anpassung der Fördergeschwindigkeit und Druckluftleistung erfolgt durch das ausführende Fachpersonal in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten. Anschließend erfolgt ein schichtenweiser Aufbau des Systems durch je eine Lage Spritzmörtel und textile Bewehrungslage. Abschließend erfolgt der Auftrag einer Lage Spritzmörtel. Die Nachbearbeitung und das ggf. erforderliche Glätten der Oberflächen kann direkt nach Abschluss der Spritzarbeiten vorgenommen werden.

Druckluftkompressor:
mind. 5 m³/min, 5 bar

NACHBEHANDLUNG:
Freiliegende Mörtelflächen umgehend gegen vorzeitige Wasserverdunstung (Wind, Zugluft, Sonneneinstrahlung etc.) über einen Zeitraum von 3-5 Tagen schützen.

Geeignete Nachbehandlungsmethoden:
Wassersprühnebel, Abdeckung mit Folien, feuchten Jutebahnen, Thermofolien oder feuchtigkeitsspeichernde Abdeckbahnen, **O1** Verdunstungsschutz.
Bei Verwendung des **O1** Verdunstungsschutz Technisches Merkblatt beachten.

Die Angaben des Prospektes, die anwendungstechnische Beratung und sonstige Empfehlungen beruhen auf umfangreichen Forschungsarbeiten und Erfahrungen. Sie sind jedoch - auch in Bezug auf Schutzrechte Dritter - unverbindlich und befreien den Kunden nicht davon, die Produkte und Verfahren auf ihre Eignung für den Einsatzzweck selbst zu prüfen. Bei den angegebenen Prüfdaten handelt es sich um Durchschnittswerte und -analysen. Abweichungen sind bei Anlieferung möglich. Abweichende Empfehlungen von diesem Prospekt bedürfen der schriftlichen Bestätigung. Planer und Verarbeiter sind angehalten, sich jeweils über den neuesten Stand der Technik und die jeweils gültige Ausgabe dieses Prospektes kundig zu machen. Unser Kundendienst hilft Ihnen jederzeit gerne, und wir freuen uns über das von Ihnen gezeigte Interesse. Mit dem Erscheinen dieser Ausgabe sind die vorausgegangenen Produktinformationen ungültig. Die jeweils aktuelle und gültige Fassung ist im Internet unter www.pagel.com abrufbar.

PAGEL® Spezial-Beton GmbH & Co. KG
Wolfsbankring 9 Tel. +49 201 68504 0
45355 Essen · DE Fax +49 201 68504 31
www.pagel.com · info@pagel.com

PAGEL®
Spezial-Beton

PAGEL® Spezial-Beton
Produktbereich Trinkwasser

TW Trinkwassermörtelsysteme
TW05 bis TW40
(DVGW W270; DVGW W347; DVGW W300)

Trinkwassermörtel Typ1 TW1/20
(DVGW W347; DVGW W300)

Vergussbeton (Stützeninstandsetzung)
V80C45
(DVGW W270; DVGW W347; DVGW W300)

PAGEL® Verguss V1®/10, V1®/50, V1®/160
(DVGW W270; DVGW W347; DVGW W300)

Die aktuelle technischen Datenblätter finden Sie im Internet **www.pagel.com**

Hitexbau

Ihr innovativer Partner für Verstärkungen mit Textilbeton

Wir liefern die Lösungen für notwendige Bewehrungen – sowohl im Beton als auch im Asphalt.

Mit Einsatz der neuesten Technologien entwickeln und produzieren wir Bewehrungen aus Carbon, Basalt und anderen Materialien – exakt auf Ihre Bedürfnisse zugeschnitten. Unser Produktionsbetrieb ist ISO 9001 und ISO 14001 zertifiziert.

Flyer 03/23 Rev. 00

PAGEL® Spezial-Beton GmbH & Co. KG
Wolfsbankring 9 · 45355 Essen · Deutschland
Tel. +49 201 68504 0
Fax +49 201 68504 31
www.pagel.com · vertrieb@pagel.de

Hitexbau GmbH
Vertrieb | Sales
Roy Thyroff
Steinerne Furt 44 · 86167 Augsburg · Deutschland
Tel. +49 151 17690888
www.hitexbau.com · roy.thyroff@hitexbau.com

PAGEL®
Spezial-Beton

HITEXBAU

SYSTEM FÜR DIE STATISCHE INSTANDSETZUNG IM TRINKWASSERBEREICH

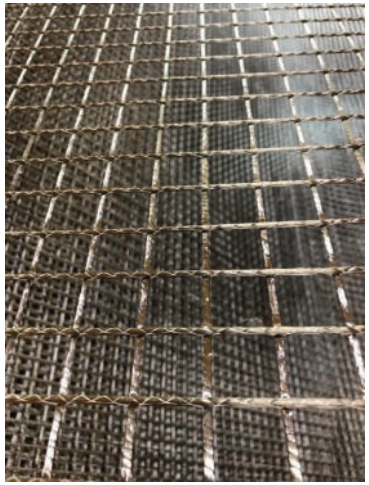
- geringere Ausführungszeit bei statischer Verstärkung
- Schichtdicken Carbon-/Spritzbeton ca. 1/7 bei gleicher Tragfähigkeit
- vergleichbare Wirtschaftlichkeit durch geringeren Materialverbrauch
- kein Raumverlust durch wenig notwendige Überdeckung
- geringere Eigenlasten durch geringere Schichtdicken
- keine Rückverankerung erforderlich
- einfache, abschnittsweise Verarbeitung möglich
- gute Rissbreitenverteilung durch engmaschige Carbongelege
- geringer Rückprall, durch Applikation im Nassspritzverfahren
- CO_2-Emissionen durch geringeren Materialeinsatz
- dauerhaft gegen Feuchtigkeit, Chemikalien, alkalibeständig, korrosionsbeständig, etc.
- lange Lebensdauer bei hoher Zugkraft und geringen Rissbreiten
- Reduktion der Folgekosten (Wartung/Sanierung)
- einfache Montage (rollbar/wenig Gewicht/kreative Formen gestaltbar) Transport und Montageaufwand gering
- Konfektion auf der Baustelle einfach möglich

Statische Instandsetzung mit Carbon

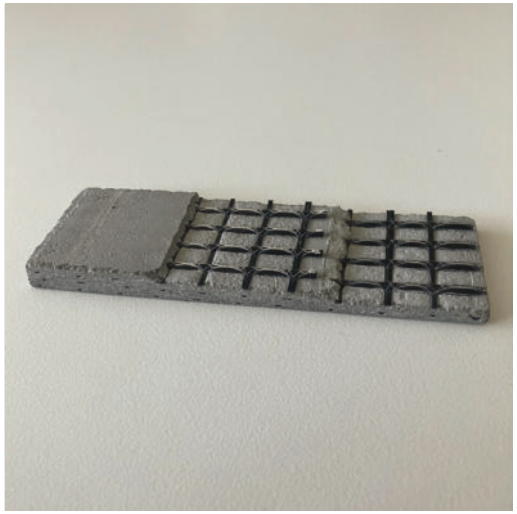
Textilfeinbeton (statische Verstärkung)
TF10 CARBOrefit-Textilfeinbeton
(DVGW W270; DVGW W347; DVGW W300)

Hitexbau Gelege für den Trinkwasserbereich

HTC 25/25-40 (24K)
HTC 34/34-40 (48K)
HTC 21/21-40 (48K)
(DVGW W270; DVGW W347)



Planer Info / ausschreiben.de



- Applikation durch fachkundige und DVGW zertifizierte Verarbeitungsfirmen ausgeführt
- Schulung bei statischer Ertüchtigung erforderlich

- Formgitter mit Schenkellängen von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern
- Profilformen: L, U, Z sowie Freiformen
- Profilbreiten derzeit bis zu 3,00 m

Verstärken mit nichtmetallischer Formbewehrung

CFK-Formgitter

Stand: August 2024

Verstärken mit nichtmetallischer Formbewehrung

Bei der Instandsetzung von Bauwerken mit nichtmetallischer Bewehrung und Feinbeton kann der Einsatz von Formbewehrung erforderlich werden, um z.B. eine ausreichende Verankerung zu gewährleisten oder die Bewehrung an die bestehende Bauteilgeometrie anzupassen. In Ergänzung zu den in der Zulassung enthaltenen ebenen sind daher (um-)geformte Carbonbewehrungen Gegenstand aktueller Forschung. Die Johne & Groß GmbH schließt an diese Entwicklung an und bietet umgeformte Gitter aus Carbonfaserverstärktem Kunststoff (kurz: CFK) als Bewehrung für Sanierungs-, Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen an Bestandsbauwerken an. Dazu werden thermoformbare CFK-Gitter in einem intern entwickelten Formgebungsverfahren zu Formprofilen verarbeitet.

Formbewehrung fand bisher in verschiedenen Projekten Anwendung, u.a. als konstruktive Bewehrung bei der Sanierung von Stützen (Chemnitz) oder auch im Außenbereich bei der Sanierung des Oberbaus einer Fußgängerbrücke (Aschaffenburg). CFK-Formbewehrung stellt derzeit eine Anwendungsmöglichkeit des CARBOrefit®-Verfahrens dar, welche vom Regelungsgegenstand der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) / allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) Z-31.10-182 abweicht. Nähere Informationen dazu finden Sie im Merkblatt 1.02.

Zugfestigkeit im Umlenkbereich

Im Bereich der Umformung wird die Zugtragfähigkeit der Bewehrung beeinflusst. Es ist bekannt, dass sich die Zugbruchspannung der Faserstränge mit kleineren Biegerollendurchmessern und damit zunehmender Umlenkpressung verringert.

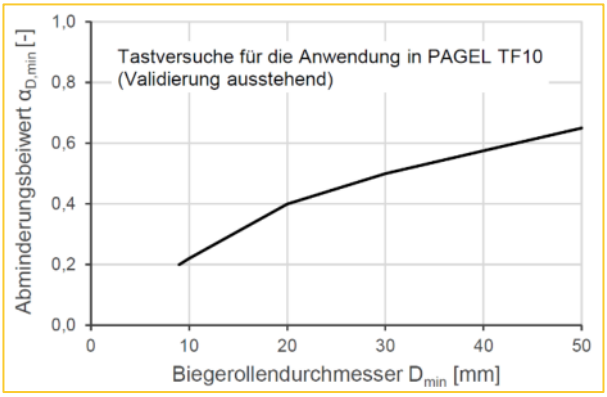
Zur Ermittlung der anrechenbaren Zugfestigkeit umgeformter CFK-Gitter $f_{nmw,d}$ wird der Abminderungsbeiwert $\alpha_{D,min}$ benötigt.

$$f_{nmw,d} = f_{nm,d} \cdot \alpha_{D,min}$$

mit $f_{nm,d}$ … Bemessungszugfestigkeit, siehe Merkblatt 2.01, Abschnitt 3.2, bzw. abZ/aBG Z-31.10-182, Tabelle 4

$\alpha_{D,min}$ … Beiwert zur Berücksichtigung der Festigkeitsabnahme infolge der Umformung (siehe Abbildung)

Der Abminderungsfaktor $\alpha_{D,min}$ für die CFK-Gitter kann für eine Vorbemessung der folgenden Abbildung entnommen werden. Die Werte wurden in ersten Tastversuchen[1] im Verbund mit PAGEL TF10 gewonnen. Weitere Zugfestigkeiten der Formgitter der Johne & Groß im Verbund mit weniger festen Betonmatrices werden derzeitig ermittelt.



Abminderungsbeiwert $\alpha_{D,min}$ zur Abschätzung der anrechenbaren Zugfestigkeit umgeformter CFK-Gitter in Abhängigkeit vom Biegerollendurchmesser

[1] Die Ergebnisse stammen aus dem im Rahmen des BMBF-Programm RUBIN (Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation) geförderten Forschungsprojekt „Industriestandard Carbonbeton“ (ISC) und sollen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Massivbau der TU Dresden in einem umfänglichen Versuchsprogramm für unterschiedliche Betonmatrices validiert werden.

Produktdatenblatt für CFK-Formgitter

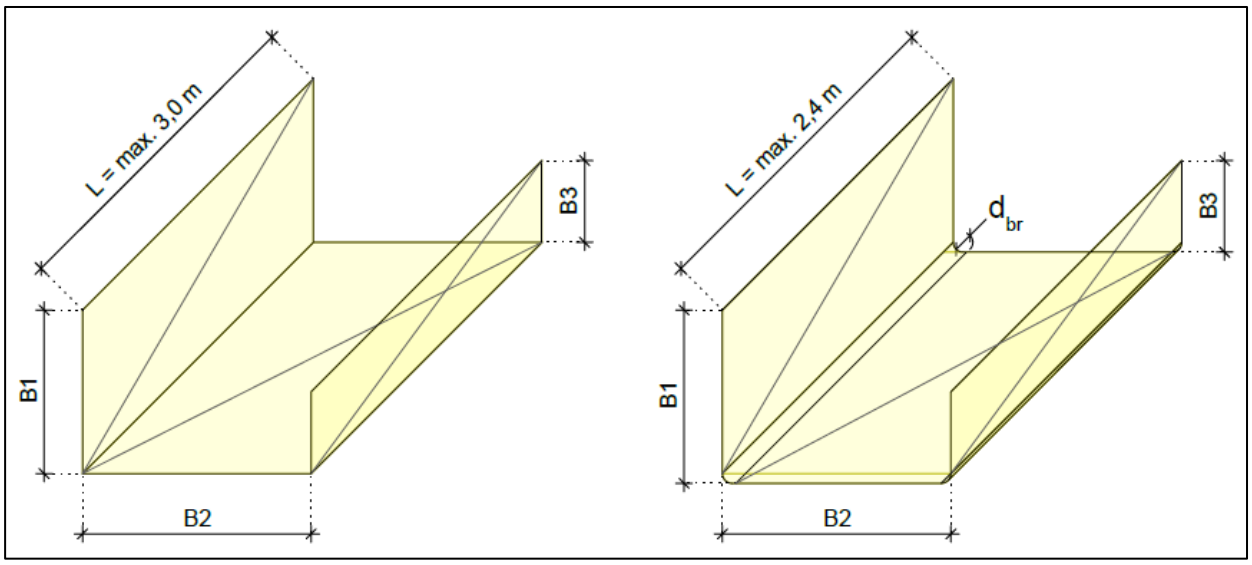
Ebene, thermoplastisch gebundene CFK-Gitter werden unter Einsatz des intern entwickelten Formgebungsverfahrens nach Ihrer Fertigung zu Formgittern weiterverarbeitet. Die gewünschten Profile können gemäß Bewehrungsplan bzw. Biegeliste produziert werden. Dieses Verfahren ermöglicht es nahezu sämtliche Bauteilformen beanspruchungsorientiert zu bewehren.

Ein statisch tragender Einsatz der nichtmetallischen Formbewehrung ist noch nicht zulassungsseitig reglementiert. Er bedarf gegebenenfalls einer Zustimmung im Einzelfall.

Nichtmetallische Formbewehrung ist in allen aus dem Betonstahl bekannten Biegeformen erhältlich. Die maximale Gitterbreite beträgt 2,40 m bzw. 3,00 m. Die Schenkellängen können von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern betragen. Umformungen in zwei Richtungen sind möglich. Es können sowohl Faserstränge in Haupt- als auch in Nebentragrichtung umgeformt werden.

Wie bereits auf Seite 2 erörtert, reduziert sich die ansetzbare Tragfähigkeit im Umformbereich mit abnehmendem Biegerollendurchmesser. Zur Übertragung einer größtmöglichen Kraft empfehlen wir daher einen Mindestbiegerollendurchmesser von 30 mm.

Die geometrischen Grenzen der Umformtechnologie, wie z.B. Mindestschenkellängen oder der Abstand zwischen den Schenkeln bei C- oder U-Steckern (siehe Abbildung, Länge B2), können in Abhängigkeit der gewählten Bewehrungsform variieren. Das gleiche gilt für die Fertigung von Z-Profilen. Bei Fragen zur Umsetzung spezieller Bewehrungsgeometrien können Sie jederzeit mit uns in Kontakt treten und wir beraten Sie speziell für Ihr Projekt.



Leistungsverzeichnis

Für eine standardisierte Bewehrungsfertigung nach LV finden Sie im Merkblatt 3.03 Muster zur Erstellung von Ausschreibungstexten.

Weiterführende Informationen

Ausführliche Erläuterungen zu unserer Formbewehrung finden Sie auf unserer Website www.jgg-stahl.de und in der Technischen Information zu unseren CFK-Formgittern. Scannen Sie dazu einfach den QR-Code.

Carbon Concrete Composite

Fact Sheet

Carbonbeton – Verfahren zur Verstärkung und Instandsetzung

Herausgeber: C³Verband
Dresden, April 2023

Was ist Carbonbeton?

Carbonbeton ist ein Verbundwerkstoff aus Beton und einer nichtmetallischen Bewehrung aus Kohlenstoff- bzw. Carbonfasern (Carbon). Die Besonderheit steckt dabei in den Carbonfasern. Bis zu fünfzigtausend dieser feinen Filamente bzw. Endlosfasern bilden das Garn bzw. den Faserstrang. Die Garne werden daraufhin in einer Textilmaschine zu einem Bewehrungsgitter bzw. -matten oder im Strangziehverfahren zu Bewehrungsstäben verarbeitet. Die hochtragende, nichtrostende Bewehrung aus Carbon lässt eine Lebensdauer erwarten, die weit über den heutigen Konstruktionen aus Stahlbeton liegt und stellt somit eine rohstoffsparende und innovative Alternative im Bauwesen dar.

Der Einsatz von Carbon- statt Stahlbeton ermöglicht sowohl eine Materialersparnis von bis zu 80 % als auch eine Reduktion des Energiebedarfes und des CO_2-Ausstoßes um bis zu 50 %. Die Carbonbetonbauweise trägt folglich dazu bei, im Betonbau die Belastungen auf die Umwelt und den Menschen wesentlich zu reduzieren.

Fachbegriffe & Daten

Bewehrungsmaterial

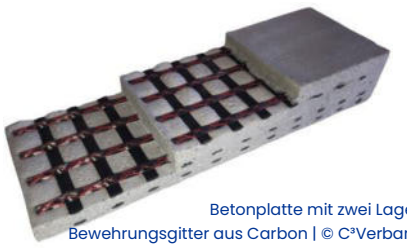
-

Als Material für die nichtmetallische Bewehrung kommen Fasern aus Carbon, Glas und Basalt zum Einsatz, wobei Carbon und Glas den Schwerpunkt bilden. Kohlenstofffaserhaltigen Faser, die für den Betonbau verwendet wird, ist schwarz, hat eine Zugfestigkeit von ca. 3.000 bis 4.000 N/mm² und ein E-Modul bis etwa 230.000 N/mm². Glas und Basalt sind weiß bzw. leicht golden, haben eine ca. 50 % geringere Zugfestigkeit als Carbon und ein E-Modul zwischen 75.000 N/mm² und 100.000 N/mm². Bei Bewehrungen aus Glas wird vor allem alkaliresistentes Glas (AR-Glas) verwendet.

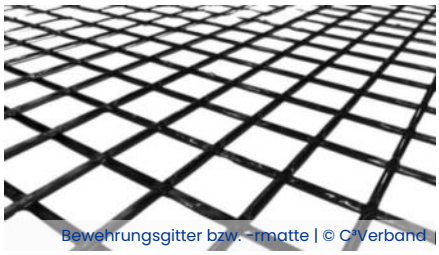
Biaxiale, multiaxiale Bewehrungsgitter bzw. -matten und Stabmatten

-

Wie es bereits bei der Stahlbetonbauweise etabliert ist, bestehen die Bewehrungsgitter aus Carbon aus Fasersträngen in Längs- und Querrichtung, die sich in einem 90° Winkel überschneiden. Daraus ergibt sich das standardmäßige Bewehrungsmuster. Für spezielle Anwendungsfälle gibt es aber auch multiaxiale Bewehrungsgitter. Hier kommen noch weitere Faserstränge, außerhalb des 0°, 90° Rasters dazu. Die Bewehrungsgitter können ebenfalls aus den zuvor produzierten Stäben hergestellt werden, sogenannte Stabmatten.



Betonplatte mit zwei Lagen Bewehrungsgitter aus Carbon | © C³Verband

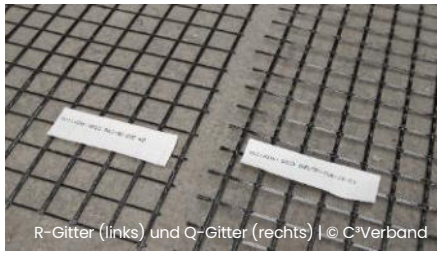


Bewehrungsgitter bzw. -matte | © C³Verband

Stabmatte | © C³Verband

Fasern aus Carbon (links), Basalt (mittig) und Glas (rechts) | © C³Verband

Spulen mit Carbongarn | © Ansgar Pudenz



R-Gitter (links) und Q-Gitter (rechts) | © C³Verband

Info: Was sind eigentlich Rovings, Garne und Faserstränge?

Für den Baustelleneinsatz ist diese Unterscheidung unerheblich, denn alle drei Bezeichnungen werden im Sprachgebrauch des Carbonbetons als Synonym für ein Bündel von Einzelfasern aus Carbon verwendet.

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Bewehrungsgitter R-Typ & Q-Typ

-

Auch hier wurden die bereits vorhandenen Bezeichnungen aus der Stahlbetonbauweise übernommen. Sogenannte R-Gitter weisen kleinere Bewehrungsquerschnitte quer zur Haupttragrichtung auf. Q-Gitter haben sowohl in Haupttragrichtung als auch quer zur Haupttragrichtung den gleichen Bewehrungsquerschnitt.

Biegsames, flexibles und steifes Bewehrungsgitter

-

Die Bewehrungsgitter aus Carbon gibt es in vielen verschiedenen Ausführungen. Dabei unterscheiden sie sich hauptsächlich im Bewehrungsquerschnitt, Bewehrungsraster und in der verwendeten Tränkung. Durch unterschiedliche Kombinationen der drei Merkmale können die Eigenschaften der Bewehrungsgitter auf verschiedene Einsatzgebiete angepasst werden. So sind flexible Ausführungen besonders gut für die Instandsetzung geeignet, da sie sich an die ursprünglichen Bauteilformen anpassen lassen. Steife Ausführungen werden eher im Neubau eingesetzt, wo eine hohe Lagegenauigkeit beim Betonieren benötigt wird.

Bezeichnungssystem der Bewehrungsgitter

-

Die Bewehrungsgitter können sich visuell sehr stark ähneln, obwohl sie ganz unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Daher empfiehlt es sich, die genaue Bezeichnung bis zum Einbau der Bewehrungsgitter auf dieser zu belassen, beispielsweise durch ein sichtbar auf einem vom Hersteller angebrachten Klebeschild.

Wie in der Stahlbetonbaubauweise sind auch bei der Verwendung von nichtmetallischen Bewehrungen die jeweiligen Typen der Bewehrungsgitter im Bewehrungs- und Verlegeplan genau verzeichnet und müssen nach den dort aufgeführten Vorgaben eingebaut werden.

Benennung	*Typ*	*Faserquer-schnitts-fläche längs/quer [mm²/m]*	Fasermaterial längs	*Fasermaterial quer*	*Tränkungsmaterial*	*Gitterweite längs/quer [mm]*	*Chr. Zugkraftüber-tragung längs/quer [kN/m]*	*Biegeseitfig-keitsklasse*
			C – Carbon AR – AR-Glasfaser B – Basaltfaser	C – Carbon AR – AR-Glasfaser B – Basaltfaser	EP – Epoxidharz SBR – Styrol-Butadien PU – Polyurethan VE – Vinylester			
Gitter 1	Q	95/95	C	C	EP	38/38	342/342	III
Gitter 2	R	144/28	C	C	SBR	11/14	342/150	I

Zwei verschiedene Bezeichnungen für die zukünftige Benennung von Bewehrungsgitter nach der DAfStb-Richtlinie | © DAfStb-Richtlinie Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung

Info: Was bedeutet der Begriff Tränkung?

Erst durch die Tränkung wird aus den Garnen eine nutzbare stabförmige Bewehrung. Die Fasern bzw. die Filamente der Garne werden durch das Tränkungsmaterial fest miteinander zu Fasersträngen verbunden. Die Tränkung stellt somit auch den inneren Verbund (Verbund zwischen den einzelnen Fasern bzw. Filamenten) sicher.

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Die Bezeichnungen der Bewehrungsgitter verschiedener Hersteller unterscheiden sich zum Teil deutlich. Ein einheitliches System gibt die DAfStb-Richtlinie „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ vor. Hierbei wird die Bezeichnung aller notwendigen Informationen längs und quer zur Haupttragrichtung angegeben. Die möglichen Kombinationen aus Fasermaterial und Tränkungsmittel sind in der DAfStb-Richtlinie aufgeführt. Auf der Bewehrung selbst werden dann lediglich der Buchstaben und Zahlencode abgedruckt.

Material-umgebung und Arbeitsschutz

Hintergrund

-

Bei einer Beanspruchung längs zur Faserrichtung spielt die Bewehrung aus Carbon ihre hohe Leistungsfähigkeit aus. Wird diese Bewehrung jedoch senkrecht zur Faser belastet, geknickt oder zu eng gebogen, kann diese beschädigt werden und ihre Leistung abnehmen.

Nach Rücksprache mit dem Hersteller ist eine platzsparende Lieferung und Lagerung der gitterförmigen Bewehrung aus Carbon auf einer Rolle durchaus möglich. Solch eine Bewehrung kann auch im Nachhinein immer wieder auf die entsprechende Rolle aufgerollt, transportiert und gelagert werden.

Ob und wie stark die Bewehrung ohne Beschädigung gerollt werden kann, ist maßgeblich abhängig von der verwendeten Tränkung, der Maschengröße sowie der Fasermenge und sollte daher immer in Rücksprache mit dem Hersteller geklärt werden.

Es ist zu beachten, dass ein zu enges Aufrollen der Bewehrung dazu führen kann, dass die einzelnen Faserstränge knicken. Dies führt wiederrum zu einer Verringerung des Querschnittes und der Leistungsfähigkeit der Bewehrung.

Punkt 1

-

Die Bewehrung darf nicht abgekantet werden, um sie an Formen anzupassen. Zum einen können vorgefertigte Winkelprofile, die über die Kante zu legen sind, verwendet werden. Zum anderen kann die Bauteilkante so gebrochen werden, dass der Mindestbiegerollendurchmesser eingehalten wird. Des Weiteren gibt es Bewehrungen, die durch Erhitzen partiell erweichen und an die Form angepasst werden können.

Punkt 2

-

Die Bewehrung sollte nur nach Rücksprache mit dem Hersteller aufgerollt oder gebogen werden.

Info: Checkliste Arbeitsschutz nach DGUV-Information Nr. 74:

lange Arbeitskleidung: Bei hoher Staubbelastung, wie das Sägen von großen Mengen Bewehrung, wird Schutzanzug Typ 5 empfohlen
Lederhandschuhe oder gleichwertig stichfeste Handschuhe
Sicherheitsschuhe S 3
dichtschließende Schutzbrille oder wenn nötig Atemschutzmaske (FFP 3)

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Punkt 3

-

Transport- und Lagerungsbedingungen sind der entsprechenden Zulassung für die Bewehrung zu entnehmen.

Punkt 4

-

Es sollte vermieden werden, auf den ausgelegten Bewehrungen zu laufen. Das Eigengewicht und Steine oder ähnliches im Schuhprofil können hierbei die einzelnen Faserstränge beschädigen.

Hinweise Schneiden

-

Zum Schneiden einer Bewehrung eignen sich am besten die stärkeren Modelle der Multifunktionsscheren.

Beim Arbeiten und Schneiden mit und von Bewehrungen entstehen kaum bis keine carbonfaserhaltige Stäube, weshalb eine einfache Atemschutzmaske, Schutzbrille, Lederhandschuhe und lange Arbeitskleidung ausreichen. Hier geht es vor allem um den Schutz vor scharfen Schnittkanten. Diese Empfehlungen gelten auch für das Tragen und Einbauen der Bewehrung.

Auf das Schneiden mit Trennschleifern oder elektrischen Sägen, sollte weitestgehend verzichtet werden. Hierbei kann Staub aus Carbonfasern entstehen. Dieser ist nicht toxisch und nicht gesundheitsschädlich. Eine hohe Staubbelastung der Atemwege ist aber grundsätzlich nicht gesundheitsfördernd, weshalb dabei mindestens eine Atemschutzmaske FFP 3 getragen werden sollte. Hier sei auf das Fact Sheet des C³Verbandes „Güte- und Prüfbestimmung RAL-RG 351“ verwiesen.

Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung (abZ)

Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung (abZ)

-

Für das Verstärken und Instandsetzen mit Carbonbeton kann die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)/ allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) Nummer: Z-31.10-182 angewendet werden. Zulassungsgegenstand ist eine Materialkombination aus einem Feinbeton und einer gitterförmigen Bewehrung. Die genauen Voraussetzungen zur Anwendung der abZ sowie sonstige Vorgaben sind aus der aktuellen Fassung zu entnehmen. Dort sind die Geltungsfälle, Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil, die geregelten Belastungsfälle, Vorgehen etc. ausführlich dargestellt.

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/ Allgemeine Bauartgenehmigung

15.12.2021 I 15-1.31.10-10/19

Nummer: Z-31.10-182

Geltungsdauer vom 23. Dezember 2021 bis 1. Juni 2026

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

Gegenstand dieses Bescheides: CARBOcrete® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen/genehmigt.
Dieser Bescheid umfasst 16 Seiten und sieben Anlagen mit insgesamt 61 Seiten.
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/allgemeine Bauartgenehmigung ersetzt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-31.10-182 vom 27. Mai 2021. Der Gegenstand ist erstmals am 06. Juni 2014 allgemein bauaufsichtlich zugelassen worden.

DIBt

Zulassung Z-31.10-183 © DIBt

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Vorbereitung für eine Instandsetzung

Analyse

Die Vorbereitung des Untergrundes ist eine entscheidende Maßnahme, um einen guten und dauerhaften Verbund zwischen Altbeton und der Verstärkungsschicht zu sichern. Die Vorbereitungen ähneln den Vorbereitungen zum Instandsetzen und Verstärken mit Stahlbeton und sind an die DIN 18551:2014-08 sowie an die DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen" angelehnt.

Vor der Instandsetzung findet eine Analyse des Bestandes statt unter anderem in Hinblick auf:

- Betondruckfestigkeitsklasse,
- Oberflächenzugfestigkeit,
- Art, Lage und Zustand der Bewehrung im Bestand,
- vorhandene Betondeckung,
- Lage, Verlauf und Größe von vorhandenen Rissen,
- Karbonatisierungstiefe, Chlorideintrag,
- weitere mögliche Schädigungen.

Ist die Analyse des Bestandbauteils abgeschlossen, sind folgende Punkte nach geltender DAfStb-Richtlinie und gegebenenfalls zusätzlicher technischer Anforderungen zu bearbeiten:

- Untergrund von allen haftreduzierenden Faktoren (Trennmittel, Öl, Altbeschichtungen, Ausblühungen etc.) befreien,
- Kiesnester oder Betonabplatzungen freilegen und mit einem geeigneten Beton oder Betoninstandsetzungssystem reparieren,
- Risse, durch die Wasser an die Stahlbewehrung gelangen kann, instand setzen.

Aufrauen des Untergrundes

Um einen ausreichenden Verbund zwischen Altbeton und der Verstärkungsschicht zu gewährleisten, muss der Untergrund vorher soweit aufgeraut werden, dass:

- die Gesteinskörnung > 4 mm des Altbetons freiliegt,
- eine mittlere Rautiefe von 1 mm vorliegt.

Dies kann erreicht werden durch:

- Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln,
- Kugelstrahlen,
- Nadelpistole oder
- Hochdruckwasserstrahlen.

Vornässen des Untergrundes

Ist der Untergrund ausreichend aufgeraut, muss er für die Verstärkungsmaßnahmen vorgenässt werden. Auch hier richtet sich der Vorgang nach der DAfStb-Richtlinie:

- 24 Std. vor Arbeitsbeginn mehrmals kräftig vornässen,
- 20 min vor Arbeitsbeginn nochmal befeuchten.

Wichtig ist, dass kein stehendes oder überflüssiges Wasser vorhanden ist.

Frisch gesandstrahlte Betonoberfläche mit einer Rauigkeitszahl 1 und der dazugehörenden Rautiefe von 1 mm.

© C³Verband

Letztes Mal Vornässen bevor die Verstärkung durchgeführt wird.

© C³Verband

Durchführung einer Instandsetzung

Schritt 1: Herstellen der Betonmischung

Bevor die gesamte Spritzbetonmischung hergestellt werden kann, sollte das genaue Mischungsverhältnis des Feinbetons auf die Tagesbedingungen abgestimmt werden. Der entsprechende maximale Wasserbedarf ist auf dem Gebinde vermerkt und schwankt hauptsächlich infolge der Außentemperaturen. Die Verarbeitungszeit liegt bei einer Temperatur von 20 °C und 55 % Luftfeuchte bei ca. 60 Minuten. Dieser Wert unterliegt natürlich wetterbedingten Schwankungen und sollte daher als Richtwert verstanden werden.

Da in dem Beton viele Zusatzstoffe enthalten sind, die erst nach einer ausreichenden Mischzeit von ungefähr fünf Minuten ihre Wirkung entfalten, ist ein ordentliches Durchmischen zwangsläufig notwendig, bevor weitere Anpassungen an der Wassermenge vorgenommen werden. Während des Verstärkungsvorganges ist der Spritzbeton dann in einem Zwangsmischer herzustellen, um somit eine ausreichende Durchmischung zu gewährleisten.

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

© C³Verband

Schritt 2: Spritzen der 1. Lage

Zunächst wird die erste Lage Feinbeton auf den aufgerauten und vorgenässten Untergrund aufgebracht. Die Schichtdicke richtet sich nach der verwendeten Bewehrung und liegt bei mindestens 3 bis 5 mm. Hier wurde eine Mindestschichtdicke von 5 mm eingehalten.

Schritt 3: Einarbeiten der Bewehrung

Anschließend wird die erste Lage der Bewehrung in den Spritzbeton eingearbeitet. Ein zusätzliches Andübeln oder ähnliches entfällt. Für den Halt und die Lagesicherung wird die Bewehrung lediglich per Hand angelegt und leicht in den Beton gedrückt. Anschließend kann sie mit einer Kelle vollflächig eingestrichen werden.

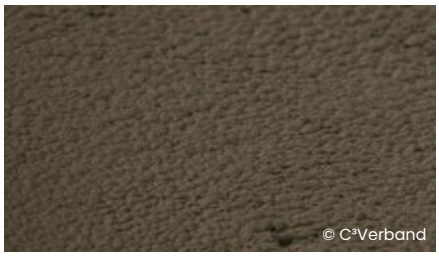
Schritt 4: Zusätzliche Schichten

Falls eine weitere Lage Bewehrung statisch erforderlich ist, wird zunächst eine weitere Schicht Spritzbeton aufgetragen, bei der ebenfalls die vorgegebene Schichtdicke einzuhalten ist.

Wie in Schritt 3 ist dann jede weitere Lage einzuarbeiten.

Schritt 6: Die finale Oberfläche

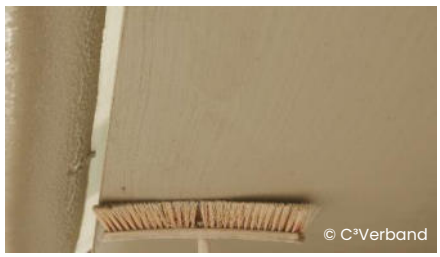
Die finale Oberfläche kann entweder als Spritzrau belassen oder abgezogen werden. Beim Abziehen ist besonders darauf zu achten, nicht zu viel frischen Beton zu verschieben, da dies die Lagegenauigkeit der Bewehrung beeinflussen kann.



Was tun bei Arbeitsunterbrechung?

-

Auch bei der Bewehrung aus Carbon kann die Arbeit ohne Probleme unterbrochen werden. Auf die eingebrachte Bewehrung wäre eine Schicht Feinbeton aufzutragen, die anschließend noch aufgeraut werden muss. Dies kann beispielsweise mit einem Besen geschehen. Dadurch kann am nächsten Tag weitergearbeitet werden und der Verbund zwischen den Schichten ist gewährleistet.



Info: Hinweise für die Durchführung der Verstärkung

Die Verstärkungsmaßnahmen sind im Laminierverfahren – also Schicht für Schicht – durchzuführen.
Für den Spritzvorgang gelten die allgemeinen Regeln der DIN EN 14487-2.
Die Spritzarbeiten sind mit der MAWO–Düse im Dichtstromverfahren durchzuführen.
Mit einer einfachen Messhilfe kann die Schichtdicke schnell und einfach während des Spritzens kontrolliert werden.

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

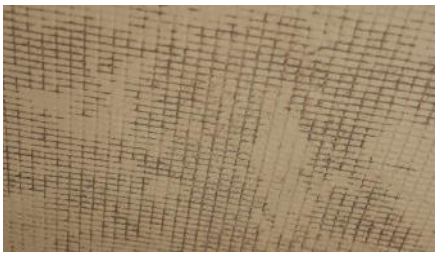
Ebenheit der Bewehrung

-

Beim Verstärken mit Bewehrungen aus Carbon kann auf das Andübeln der Bewehrung verzichtet werden. Daher sollte darauf geachtet werden, dass die Bewehrung vollständig in die Spritzbeton-schicht eingearbeitet wird, damit keine Spritzschatten entstehen können. Zu tief eingedrückt darf die Bewehrung aber auch nicht sein, da sonst zu wenig Spritzbeton zwischen Bestandsbauteil und der Bewehrung zurückbleibt.

In der Regel sind je nach Bewehrung mindestens 3 mm bis 5 mm Betondeckung zwischen dem Altbeton, den Lagen und zur Oberfläche einzuhalten.

Beim Einbau sollte darauf geachtet werden, dass die Bewehrung glatt in einer Ebene liegt und sich nicht wellt. Andernfalls kann es dazu führen, dass sich das Bauteil mehr verformen kann. Es kann zu unplanmäßigen Beanspruchungen und Abplatzen der Verstärkungsschicht kommen.



Optimal eingestrichenes Textil, ohne mögliche Spritzschatten und ausreichend Spritzbetondeckung.
© C³Verband

Die Wellenbildung an der Textilkante deutet auf eine nicht optimale Positionierung beim Einstreichen der Bewehrung hin.
© C³Verband

Ausführung von Überlappungsstößen

-

Müssen Überlappungsstöße ausgeführt werden, wird zunächst das erste Stück Bewehrung eingearbeitet. Anschließend ist das zweite Stück mit der entsprechend statisch vorgegebenen Überlappung einzulegen und im Bereich der Überlappung deutlich stärker in den frischen Spritzbeton einzuarbeiten.

© C³Verband

Nachbehandlung

-

Die Nachbehandlung ist bei Bewehrungen aus Carbon besonders wichtig, da durch die geringe Dicke der Verstärkungsschicht der Beton schneller austrocknen kann. Die Nachbehandlung erfolgt nach den anerkannten Regeln der Technik, beispielsweise durch:

- Besprühen der Oberfläche mit Wasser,
- Abdecken mit feuchten Tüchern, die dauerhaft feucht gehalten werden und/oder
- Schutz vor Verdunstung durch Folie oder Nachbehandlungsmittel.

Die Nachbehandlung der Oberfläche ist wegen der dünnen Materialstärke besonders wichtig.
© C³Verband

Überwachung und Kontrolle

Während der Ausführung, sollten Sie sich bei der Überwachung und Kontrolle u. a. folgende Fragen stellen:

- Stimmen die Angaben auf dem Gebinde der Trockenmischung mit den Vorgaben überein?
- Handelt es sich bei dem Anmachwasser um Trinkwasser? (Es muss frei von betonschädlichen Bestandteilen sein.)
- Kommt es zum Bluten oder Entmischen des Frischbetons? Den Frischbeton einer Sichtprüfung unterziehen.

Des Weiteren sind die bereits bekannten Prüfungen der Frischbetonkonsistenz durchzuführen, wie:

- Prüfen der Frischbetonkonsistenz, Ausbreitmaß, Frischbetonrohdichte, etc. Häufigkeit der Kontrolle ist von abZ oder ZiE abhängig.
- Betonprobekörper für die Überprüfung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte herstellen.

Info: Wie verhält sich die Bewehrung bei mechanischen Einwirkungen in Hinblick auf den Schutz der Arbeiten?

Die Ausführung einer Verstärkung und Instandsetzung kann bei Bedarf vor mechanischen Einwirkungen geschützt werden. In diesem Fall darf sich die Bewehrung durch Gegenstände, die in den frischen Beton gedrückt werden, nicht verschieben.

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

- Prüfkörper in Form von Prismen (Anzahl, Größe, Häufigkeit sind Abhängig von AbZ oder ZiE).

Um die Verbundeigenschaften der Verstärkungsschicht zu überprüfen, sind auf der Baustelle unter gleichen Bedingungen Referenzplatten mit dem verwendeten Spritzbeton und der Bewehrung herzustellen, die anschließend im Labor geprüft werden.

Nach Abschluss der Maßnahmen zur Verstärkung und Instandsetzung sind Abreißversuche am fertig verstärkten Bauteil durchzuführen. Hier muss die Position vom Tragwerksplaner an einer nicht statisch relevanten Stelle vorgegeben werden. Die Abreißversuche finden 28 Tage nach der Verstärkung statt. Der Versagensfall sollte im Altbeton liegen.

Herstellung eines Prüfkörpers (Ausbreitmaß) | © C³Verband

Herstellung eines Prüfkörpers (Prisma) | © C³Verband

Herstellung einer Referenzplatte | © C³Verband

Vergleich

Für einen Vergleich der konventionellen Verstärkung und Instandsetzung mit Stahlbeton und der klimaneutralen Verstärkung mit Carbonbeton (siehe nachfolgende Übersicht) wurden zwei identische Platten mit einer Größe von 4,2 m x 1,2 m verstärkt. Beide Verfahren sind für vergleichbare Bedingungen ausgelegt und leistungsäquivalent.

Ausblick

Weiterführende Literatur

-

Curbach M., Hegger J., Schladitz F., Tietze M., Lieboldt M.: Handbuch Carbonbeton. Einsatz nichtmetallsicher Bewehrung. 2023. 595 S.

Weiterführender Link

-

https://carbon-concrete.org/carbonbeton/download

Info: Gerade bei Arbeiten über Kopf zeigen sich die Vorteile:

So ist es deutlich leichter und einfacher das Gitter an seinen Platz zu bringen.
Es sind weniger Arbeitsschritte notwendig, da das Gitter nicht zusätzlich befestigt werden muss.
Es kann deutlich schneller eine größere Fläche verarbeitet werden, was die Zeit mit dem Kopf im Nacken verkürzt.
Es müssen keine Stahlanker in den Altbeton gebohrt werden, um dort die Bewehrung anzuröden.
Es muss kein schweres Werkzeug zum Zurechtschneiden der Bewehrung verwendet werden. Es reicht eine vergleichsweise kleine elektrische Universalschere.

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

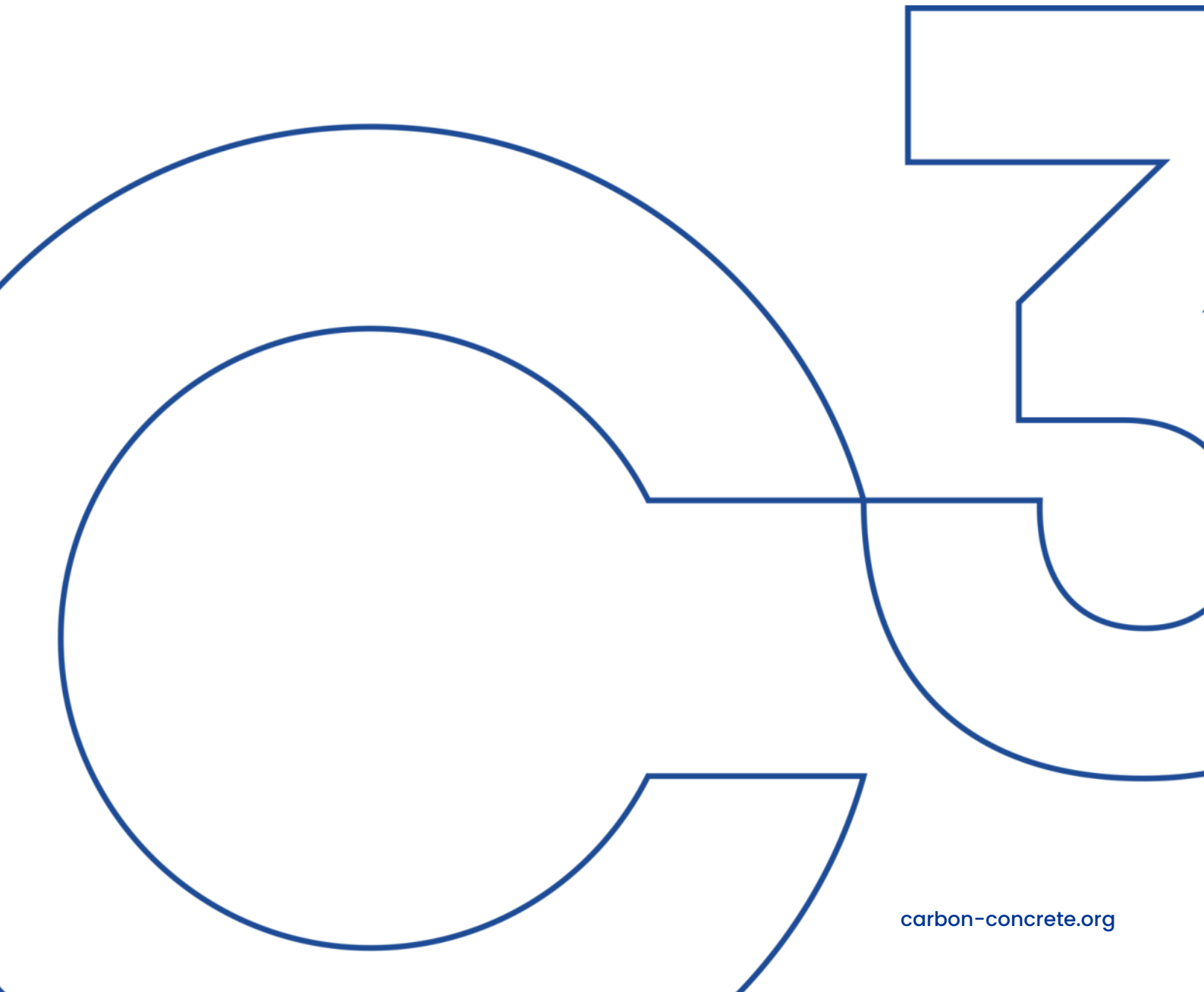
Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

VERGLEICH	CB | Carbonbeton	SB | Stahlbeton
Bedarf an Material		
Verstärkungsschicht (4 m²)	105 kg	520 kg
Rückprall, Verlust Mischer und Schläuche	70 kg (45 kg davon im Mischer und Schlauch)	200 kg
Tragkraft	identisch	identisch
zusätzliches Material	entfällt	20 Einschlagdübel 20 Bewehrungsanker Monierdraht zum Anrödeln Putzerhaken
Stärke der Verstärkung (gesamt)	**1 cm**	**5 cm**
	Menge an Rückprall (gering) | © C³Verband	Menge an Rückprall (hoch) | © C³Verband
Arbeitsschritte inklusive zeitlicher Aufwand		
Zuschneiden	5 min	10 min
Setzung einer Schalung mit Klemmhaken	entfällt	15 min
Bohrung von 20 Ankerlöcher und Einschlagen von Gewindehülsen	entfällt	10 min
Anbringung der Bewehrung und Feströdelung	entfällt	35 min
Vornässen des Untergrundes	2 min	2 min
CB: Vorbereitung des Betons inklusive Anpassung des genauen Mischungsverhältnisses SB: Trockenspritzverfahren inklusive Mischung an der Düse	10 min	entfällt
CB: Spritzen der 1. Lage (0,5 cm) SB: Spritzen der 1. Lage (2,5 cm)	7 min	20 min
Pause zum Abbinden der ersten Schicht	entfällt	2,5 h
CB: Einarbeiten der Bewehrung SB: Besenstrich inklusive Kante säubern	5 min	5 min
CB: Spritzen der Deckschicht (0,5 cm) SB: Spritzen der Deckschicht (2,5 cm)	8 min	30 min
CB: Glättung der Deckschicht SB: Abrichtung, Glättung	2 min	15 min
Zeitaufwand (gesamt)	**34 min**	**4 h 52 min**

© C³Verband

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19



carbon-concrete.org

Carbon Concrete Composite

Fact Sheet

Ökobilanz von Carbonbeton

Bearbeitung: CARBOCON GMBH, HIB Huber Integral Bau GmbH, solidian GmbH und Bauhaus-Universität Weimar | Professur Werkstoffe des Bauens, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig | Institut für Betonbau, Technische Universität Dresden | Professur für Betriebliche Umweltökonomie und Nachhaltigkeit, United Nations University | Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources (UNU-Flores) sowie C³Verband

Herausgeber: C³Verband

Dresden, Juli 2023

Das Bauwesen

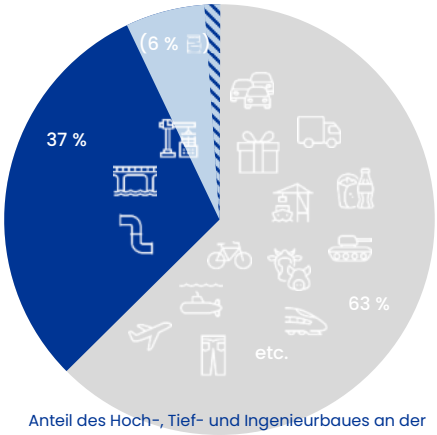
Ökologischer Fußabdruck des Bauwesens
-
Das Bauwesen trägt wesentlich zur Gestaltung der Umwelt und dem Erhalt unserer Lebensqualität bei. Die Zunahme der weltweiten Bevölkerung von gegenwärtig über acht Milliarden Menschen auf fast elf Milliarden Menschen zum Jahr 2100 führt zu einem erhöhten Bedarf an Wohnraum und Infrastrukturen. Hinzu kommt der steigende Lebensstandard. Folglich nimmt die Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke – wie auch der Bedarf an begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen – kontinuierlich zu.

Das Bauwesen stellt dabei sowohl in der Bundesrepublik Deutschland als auch auf internationaler Ebene eine Schlüsselbranche dar, da allein der Bau von Gebäuden und Infrastrukturen sowie deren Betrieb weltweit etwa [1]

- 55 % der verbrauchten Ressourcen in Anspruch nimmt.
- 34 % der verbrauchten Energie beansprucht.
- 37 % der energie- und prozess-bedingten CO_2-Emissionen freisetzt.

Der weltweit meistverwendete Baustoff ist wiederum Beton, wovon ein großer Teil für den Stahlbetonbau vorgesehen ist. So werden im Betonbau jährlich auf der Erde etwa

- 26,2 Mrd. t bzw. 11,2 Mrd. m³ Beton [2] (davon 4,3 Mrd. t Zement [3], 19,6 Mrd. t Sande und Kiese [2] sowie 2,3 Mrd. t Wasser [2]) und 0,3 Mrd. t Stahl [4] eingesetzt.
- 2,5 Mrd. t CO_2-Emission allein durch Herstellung von Zement ausgestoßen (0,59 t CO2/t) [5], was mehr als das Dreifache der weltweiten Luftfahrt [6] und etwa sechs bis acht Prozent der weltweiten CO_2-Emission entspricht [7].
- 17,36 Exajoule Energie allein zur Herstellung von Zement (2,8 Gigajoule/t [8]) und Stahl (20 Gigajoule/t [9]) aufgewendet, was ein Anteil von drei Prozent des weltweiten Verbrauches an Primärenergie ausmacht [10].

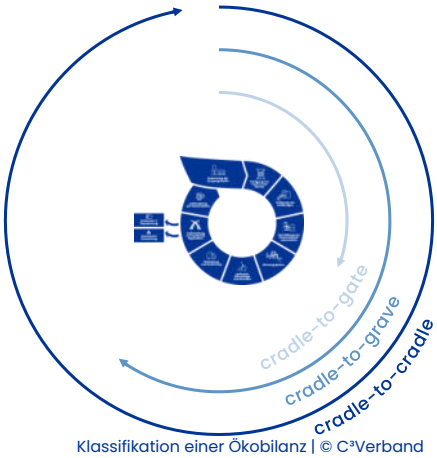


Anteil des Hoch-, Tief- und Ingenieurbaues an der energie- und prozessbedingten CO_2-Emission | © C³Verband

Bedeutung der Ökobilanz für das Bauwesen
-
Eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) erfasst alle mit dem betrachteten System verbundenen Energie- und Stoffströme und alle relevanten potenziellen Schadwirkungen auf die Umweltmedien Boden, Luft und Wasser über den Lebenszyklus für ein konkretes Produkt (Bauwerk, Fassade, Bewehrung etc.) oder eine konkrete Dienstleistung. Dabei kann der Lebenszyklus ganzheitlich als kreislauffähiges Modell (cradle-to-cradle), von der Wiege bis zur Bahre (cradle-to-grave) oder nur abschnittsweise (cradle-to-gate) betrachtet werden. Damit können über die Lebenszyklusphasen alle Prozessschritte von der Entnahme der Rohstoffe zur Produktion, zum Transport, zur Nutzung bis hin zum Recycling und der Entsorgung erfasst werden [11].

Mit dem Ziel der Regierung der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2045 den Bestand an Gebäuden klimaneutral zu gestalten [12], werden klimaneutrale Ansätze im Bauwesen zunehmend wichtiger. Gegenwärtig ist davon auszugehen, dass

- öffentliche Ausschreibungen mehr und mehr klimaneutrale Bauweisen fördern werden.
- für Zertifizierungen (beispielsweise für ein nachhaltiges Bauwerk durch eine BNB- oder DGNB-Zertifizierung) Ökobilanzen auszuweisen sind.
- Entscheidungen für klimaneutrale Baustoffe oder Konstruktionen bereits in einem frühen Zeitpunkt der Planung zu treffen sind.
- das gesellschaftliche Umdenken dazu führt, dass der Konsum immer umweltbewusster ausfallen wird.
- besondere Leistungen zum Klimaschutz und zur -anpassung durch das Verleihen eines Gütesiegels (Blauer Engel) oder durch Preise verstärkt öffentlichkeitswirksam ausgezeichnet werden.



Klassifikation einer Ökobilanz | © C³Verband

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Leitlinien, Datenbanken und Software für die Erstellung einer Ökobilanz im Bauwesen

-

Grundsätze und Regeln einer Ökobilanz sind in den ISO Normen 14040:2006 und 14044:2006 international festgelegt und mit den beiden DIN EN ISO 14040 und 14044 bereits in das deutsche Normenwerk übertragen. Sie geben die vier zentralen Phasen einer Ökobilanz vor (Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens, Erstellung der Sachbilanz, der Wirkungsabschätzung sowie der Auswertung), wobei deren Erarbeitung iterativ erfolgt.

Dagegen liefert die DIN EN 15804 zentrale Regeln für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten (Environmental Product Declarations, EPD). Eine EPD stellt die umweltrelevanten Eigenschaften eines bestimmten Produktes in Form von neutralen und objektiven Daten dar [13]. Folglich können die Daten und Informationen für die Erstellung von Ökobilanzen von Bauteilen und Bauwerken herangezogen werden, wobei die EPD direkt über die Website des Institutes Bauen und Umwelt e. V. abgerufen werden können. Für das Bauwesen sind für die ökologische Bilanzierung keine Indikatoren zwingend vorgegeben, jedoch haben sich die dargestellten Indikatoren und deren Umweltwirkung (siehe Tabelle) bewehrt.

Für die Ermittlung der erforderlichen Kennwerte und die Ausführung der einzelnen Berechnungen kann auf unterschiedliche, teilweise kostenfreie Datenbanken und (webbasierte) Modellierungstools zurückgegriffen werden. Hierbei gilt, dass beim Anwender technische Prozesskenntnisse vorliegen sollten. Weiterhin ist es wichtig, die Datenqualität der tatsächlich verfügbaren Daten zu den unterschiedlichen Materialien und Prozesse zu prüfen. Daten und Informationen - die weder über ein EDP noch über eine entsprechende Datenbank abgerufen werden können – müssen über das Produktinformationsblatt individuell erfasst werden. Hierzu wird empfohlen, sich direkt an den Produzenten bzw. Hersteller zu wenden.

Für die Interpretation der Ergebnisse ist sowohl die Definition der Systemgrenzen als auch die Aktualität der verfügbaren Daten und Informationen entscheidend. Eine Vergleichbarkeit zwischen einzelnen Ökobilanzen oder gar EDPs ist demnach nur unter vergleichbaren Rahmenbedingungen gegeben. Bei der ökologischen Bilanzierung im Bauwesen werden zumeist alle Bauteile der Kostengruppe 300, definierte Bauteile der Kostengruppe 400 sowie der Bedarf an Energie für den Betrieb des Bauwerkes einbezogen. Jedoch wird der Transport zumeist vernachlässigt, da dieser bisher eine untergeordnete Bedeutung hat. Grenzwerte sind erst dann von Bedeutung, wenn die Ökobilanz für eine Zertifizierung hinzugezogen wird oder konkrete Anforderungen durch den Auftraggeber gestellt werden.

Es sei daher noch einmal betont, dass sich sowohl Ökobilanzen von Produkten und Dienstleistungen als auch Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten nur bedingt miteinander vergleichen lassen. Zum einen handelt es sich in der Regel um unterschiedliche Anwendungen und zum anderen werden oftmals unterschiedliche Phasen bilanziert.

Wirkungskategorien oder Inputflüsse	Abkürzung	Einheit	Umweltwirkung
Treibhauspotenzial (über 100 Jahre)	GWP 100	kg CO_2-Äquivalent	Klimaerwärmung
Ozonabbaupotenzial	ODP	kg CFC-11-Äquivalent	Abbau der Ozonschicht
photochemisches Ozonbildungspotenzial	POCP	kg C_2H_4-Äquivalent	Sommersmog
Versauerungspotenzial	AP	kg SO_2-Äquivalent	Versauerung
Eutrophierungspotenzial	EP	kg PO_4^{3-}-Äquivalent	Überdüngung
Primärenergieeinhalt nicht erneuerbar	PEI ne	MJ oder kWh	fossiler Energieverbrauch
Primärenergieeinhalt erneuerbar	PEI e	MJ oder kWh	erneuerbarer Energieverbrauch
abiotischer Ressourcenverbrauch | erneuerbare Ressourcen	ADPE	kg SB-Äquivalent	erneuerbarer Ressourcenverbrauch
abiotischer Ressourcenverbrauch | mineralischer Ressourcen	ADPE	MJ	mineralischer Ressourcenverbrauch
Frischwasserverbrauch	FW	m³	Wasserverbrauch

Indikatoren der Ökobilanz für das Bauwesen | © C³Verband in Anlehnung an [14]

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Die Carbonbetonbauweise

Beitrag der Carbonbetonbauweise zum Neubau

Gegenwärtig gibt es keine alternativen Baustoffe zum Beton, um den gesellschaftlichen Standard weiterhin erfüllen zu können. Beispielsweise stellen die Wälder auf der Welt nicht ausreichend nachhaltig gewonnenes Holz zur Verfügung, dass das Bauwesen diese Materialien künftig vorwiegend einsetzen kann [15]. Jedoch zeichnet sich das Bauen mit Carbonbeton bereits heute dadurch aus, dass im Vergleich zu bestehenden Konstruktionen aus Stahlbeton

- bis zu 80 % Material (Sande, Wasser und Zement; teilweise auch Verzicht auf Oberflächenschutzsystem) eingespart wird, aufgrund schlankerer Konstruktionen und der Einsparung der Betondeckung zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion auf ein Mindestmaß von 10 mm statt 55 mm.
- durchschnittlich 50 % und letztlich bis zu 80 % an Ressourcen für den Aufwand bei der Verladung (Gabelstapler, Kran etc.), beim Transport (Kraftstoff, Ladefläche etc.) und für Lagerflächen eingespart werden, aufgrund geringerer Zuladungen je Bauteil.
- eine bis zu 200 Jahre und somit vierfache Lebensdauer zu erwarten ist, aufgrund der Beständigkeit gegenüber Korrosion und Einträge von Chlorid. Im Rahmen von Zulassungen werden bisweilen bereits 100 Jahre nachgewiesen.
- bis zu 80 % weniger CO_2 ausgestoßen werden, in Abhängigkeit der Menge an eingesetzten Ressourcen, des Einsatzes ökologischer Betone und des angepassten Aufwandes bei der Verladung und dem Transport.

Analog zu allen anderen Bauweisen sind konkrete Angaben nur an konkreten Bauteilen und -werken festzuhalten. Für eine nachvollziehbare Darstellung werden nachfolgend zwei Beispiele dargeboten.

Beitrag der Carbonbetonbauweise zur Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung

Neben den bereits genannten Vorzügen der Carbonbetonbauweise im Neubau, ist beim Bauen im Bestand mit Carbonbeton von besonderer Bedeutung, dass

- ebenfalls bis zu 80 % Material (Sande, Wasser und Zement) eingespart wird, aufgrund der Einsparung bei dem Betonauftrag auf ein Mindestmaß von 15 mm statt 80 mm.
- baufällige Objekte aus dem Hoch-, Tief- und Ingenieurbau erhalten und reaktiviert werden können, wo andere Bauweisen (in Hinblick auf die Anforderungen an das zusätzliche Eigengewicht oder des Denkmalschutzes) an Ihre Leistungsgrenzen kommen.

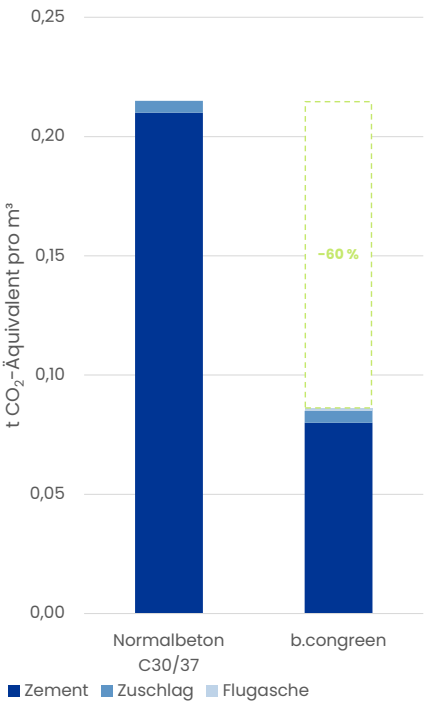
Analog zum Neubau werden nachfolgend zwei Beispiele dargelegt, um die bisherigen Aussagen zu konkretisieren.

Realität vs. theoretisches Potenzial

Die bisher realisierten Anwendungen zur Carbonbetonbauweise für den Neubau wie auch für die Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung verdeutlichen insbesondere die wesentlichen Einsparungen in Hinblick auf den Einsatz von Ressourcen und die Reduktion des Gewichtes. Die realen Potenziale eines klimaneutralen Fußabdruckes können aber bisher noch nicht vollumfänglich dargestellt werden. Gründe hierfür sind in erster Linie, dass

- die bisherigen Nachweise selten einen für die Carbonbetonbauweise vorteilhaften cradle-to-cradle Ansatz abbilden, da dieser äußerst aufwendig ist und immer noch nicht alle Daten und Informationen zur Berechnung barrierefrei abgerufen werden können.
- ökologische Bilanzierungen zumeist auf 50 Jahre Lebensdauer ausgelegt werden, wodurch die Vorzüge beim Bauen mit Carbonbeton nicht hinreichend zum Tragen kommen.
- noch nicht alle Normen und Richtlinien in vollem Umfang angepasst worden sind, sodass beim Einsatz von Carbonbeton teilweise immer noch auf klimaneutrale Materialien (Beton mit einem geringeren Anteil an Zement) verzichtet und Konstruktionen zu konservativ umgesetzt werden müssen.

Für ein besseres Verständnis wird für diesen Fall ebenfalls noch eine konkrete Anwendung aus der Praxis ausgeführt.



Nachweis in Hinblick auf die Reduktion der CO_2-Emission durch den Einsatz eines ökologischeren Betons | © C³Verband

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

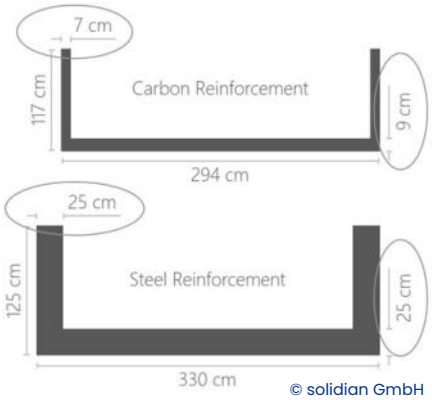
Beispiel
Neubau 1
-

In Albstadt-Ebingen entstand im Jahr 2015 weltweit erstmals eine Fuß- und Radwegbrücke aus Carbonbeton, die ohne eine schlaffe oder vorgespannte Bewehrung aus Stahl auskommt. Die 15,550 m lange und 2,940 m breite Brücke (mit einer lichten Breite von 2,800 m) kann sogar von einem Räum- und Streufahrzeug mit einer Last von 10 t befahren werden.

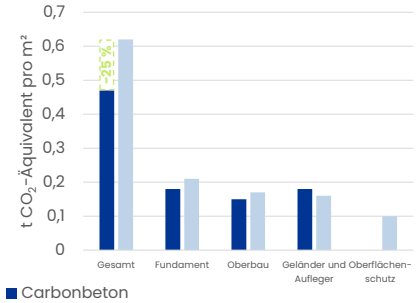
Eine vergleichbare Brücke aus Stahlbeton erfordert eine Deckfläche von 25 cm, während mit Carbonbeton nur noch 9 cm nötig sind, für die Stärke der Wand sogar nur 7 cm statt 25 cm (entspricht einer Einsparung an Material von 64 % bis 72 %). Durch das geringere Gewicht des Überbaues kann auch die Konstruktion der Widerlager und Fundamente schlanker gestaltet werden.

Durch den Einsatz von etwa 330 m² bzw. 190 kg Bewehrung aus Carbon wurden 21.000 kg Sand, 4.000 kg Wasser, 1.500 kg Stahl, 7.500 kg Zement und 9.000 kg Asphalt eingespart. Als Resultat werden pro m² insgesamt 170 kg CO_2-Äquivalente eingespart. In Hinblick auf die gesamte Brücke werden demnach 7,5 t bzw. mehr als 25 % weniger CO_2 ausgestoßen.

Die zugehörige Studie wurde von der LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH durchgeführt, unter Anwendung der Ökobilanzmethode nach DIN EN ISO 14040 und 14044. Die Grundlage für die Berechnung bildeten die Datenbank Ökobaudat (2017) und das Modellierungstool GaBi (2019), wobei sich der Blickwinkel auf cradle-to-cradle bezieht.



© solidian GmbH



© C³Verband in Anlehnung an solidian GmbH

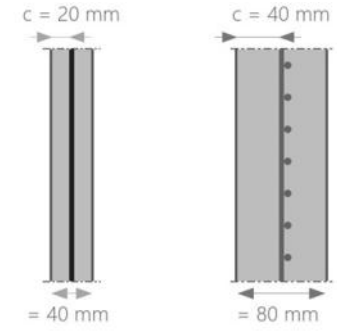
Beispiel
Neubau 2
-

Zur Bewertung der vorgehängten Fassadenplatte wird ein Musterelement mit einem Maß von 2,5 m x 3,4 m für ein Musterobjekt mit einer Fläche von 1.635 m² angenommen.

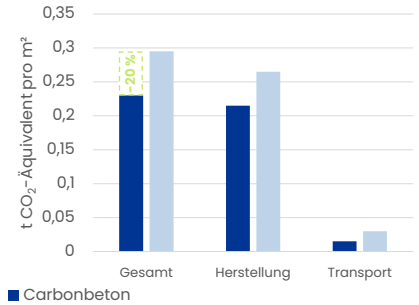
Die Elemente aus Carbonbeton erfordert eine Betondeckung von lediglich 20 mm. Im Vergleich zu einer vergleichbaren Konstruktion aus Stahlbeton kann die Stärke der Wand somit von 80 mm auf 40 mm reduziert werden (entspricht einer Einsparung an Material von 50 %).

Folglich wurde die Menge an Beton wesentlich reduziert, wobei ein Beton der Güte C50/60 statt C35/45 eingesetzt wurde. Aufgrund des geringen Gewichtes wurden auch Einsparungen bei dem 300 km langen Transport erwirkt. Je Element mit einer Fläche von 8,5 m² werden somit etwa 65,0 kg CO_2-Äquivalente eingespart. In Hinblick auf die gesamte Fassade entspricht das einer Reduktion des CO_2 von 12 t bzw. mehr als 20 %.

Die zugehörige Studie wurde von der LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH durchgeführt, unter Anwendung der Ökobilanzmethode nach DIN EN ISO 14040 und 14044. Die Grundlage für die Berechnung bildeten die Datenbank und das Modellierungstool von GaBi (2021), wobei sich der Blickwinkel auf cradle-to-cradle mit Optionen bezieht



© solidian GmbH



© C³Verband in Anlehnung an solidian GmbH

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Beispiel
Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung 1
-

Die Hyparschale in Magdeburg wurde im Jahr 1969 mit vier hyperbolischen Paraboloiden aus Stahlbeton als Konstruktion des Daches errichtet, die eine Grundrissfläche von 48 m x 48 m stützenfrei überspannen. Die Dicke der Schalen beträgt 50 bis 70 mm.

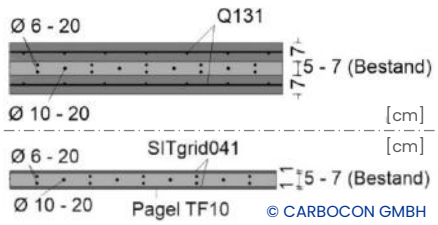
Eine konventionelle Verstärkung mit 70 mm Spritzbeton auf beiden Seiten hätte nicht nur die Ästhetik des Daches beeinträchtigt, sondern aufgrund des hohen Eigengewichtes erhebliche Auswirkungen auf das Gesamttragwerk gehabt. Einzig eine Verstärkung mit einer 10 mm dünnen Schicht aus Carbonbeton konnte das Bauwerk erhalten (entspricht einer Einsparung an Material von 85 %), die jeweils auf der Ober- und Unterseite der Schale angebracht wurde.

Trotz des höheren Global Warming Potential (GWP) Wertes des eingesetzten Betons (aufgrund der höheren Festigkeit und des weiteren Transportes) fielen bei der Herstellung der Verstärkung aus Carbonbeton einschließlich des Transportes der Baustoffe zur Baustelle knapp 60 t CO_2-Äquivalent weniger an als bei einer Verstärkung mit Stahlbeton, was einer Einsparung von 45 % der CO_2-Äquivalente entspricht.

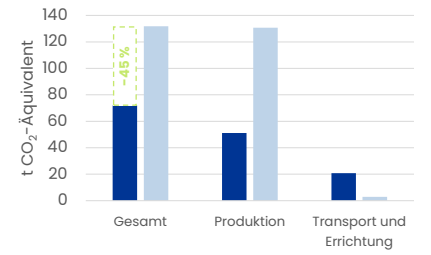
In diesem Vergleich ist dabei noch nicht berücksichtigt, dass mit dem deutlich höheren Eigengewicht bei einer konventionellen Verstärkung auch die Verstärkung weiterer Bauteile einher gegangen wäre.

Die zugehörige Studie wurde von der CARBOCON GMBH durchgeführt, unter Anwendung der Ökobilanzmethode nach DIN EN ISO 14040 und 14044. Die Grundlage für die Berechnung bildeten die Datenbank ÖKOBAUDAT, LCAonline und Daten aus dem Projekt C³ – Carbon Concrete Composite, wobei sich der Blickwinkel auf cradle-to-gate mit Optionen bezieht.

© CARBOCON GMBH



© CARBOCON GMBH



© C³Verband in Anlehnung an CARBOCON GMBH

Beispiel
Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung 2
-

Die Autobahnbrücke der A 648 über die Nidda bei Frankfurt am Main wurde im Jahr 1971 unter Verwendung von spannungsrisskorrosionsgefährdetem Spannstahl errichtet. Im Jahr 2020 wurden aufgrund der rechnerisch nicht ausreichenden Versagensankündigung zwei der drei Teilbauwerke mit Carbonbeton verstärkt, das dritte folgte im Jahr 2021.

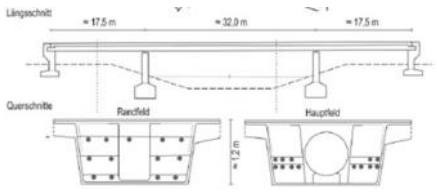
Die Verstärkung von Teilbauwerk eins und zwei erfolgte mit sechs Lagen auf der Oberseite der Brücke und fünf Lagen auf der Unterseite, die in einer 40 bzw. 30 mm starken Schicht abgestuft angeordnet wurden. Zum Vergleich erfolgte für dieses Beispiel die Bilanzierung eines Ersatzneubaues vereinfacht gemäß den Bestandsplänen (woraus sich eine Einsparung an Material von 94 % ergeben würde). Es sei angemerkt, dass gegenwärtig die Brücke nicht nochmal entsprechend der Bestandspläne gebaut werden darf.

Bei Abriss und Errichtung eines Ersatzneubaues werden statt 137 t über 378 t CO_2-Äquivalent und somit fast dreimal so viel CO_2-Äquivalente ausgestoßen wie bei der Verstärkung aus Carbonbeton.

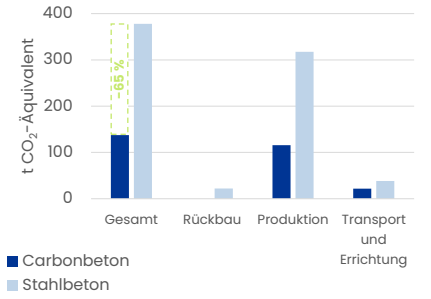
In diesem Vergleich ist dabei noch nicht berücksichtigt, dass bei einem Ersatzneubau die Überfahrung der Brücke für mehrere Wochen nicht möglich wäre oder eine Behelfsbrücke errichtet werden müsste. Bei einer Umleitung wären pro Woche zusätzlich noch einmal 622 t CO_2-Äquivalente allein infolge der längeren Strecke angefallen.

Die zugehörige Studie wurde von der CARBOCON GMBH durchgeführt, unter Anwendung der Ökobilanzmethode nach DIN EN ISO 14040 und 14044. Die Grundlage für die Berechnung bildeten die Datenbank ÖKOBAUDAT, LCAonline und Daten aus dem Projekt C³ – Carbon Concrete Composite, wobei sich der Blickwinkel auf cradle-to-gate mit Optionen bezieht.

© cbing



© cbing



© C³Verband in Anlehnung an CARBOCON GMBH

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

Beispiel
Potenzial
-

Im Jahr 2019 wurde ein bestehendes Parkhaus mit fünf Ebenen um einen Anbau erweitert. Zur Ausbildung der Parkebenen kamen unter anderem 256 Elemente des Systembauteiles „Parkhausdeckenplatte“ zum Einsatz, was eine Fläche von 5.120 m² entspricht.

In diesem Fall ist die matten- und gleichzeitig biegeförmige Bewehrung aus Carbon und die schlaufenartige Schulterschubbewehrung aus Stahl ausgeführt worden. Die Stärke der Deckenplatten beträgt die üblichen 10 cm.

Aufgrund der mattenförmigen Bewehrung aus Carbon wird das CO_2-Äquivalent der Parkhausdecke je m² von 53,3 kg auf 51,1 kg bzw. um 4 % reduziert. Unter Berücksichtigung der restriktiven Annahme, dass sich die Lebensdauer von 50 auf 75 Jahre erhöht, würde sich der Wert auf 34,0 kg bzw. um 36 % reduzieren. Für den gesamten Anbau ergebe das eine Einsparung von 87,6 t CO_2-Äquivalent. In Hinblick auf den Transport ergeben sich weitere (oftmals nicht berücksichtigte) Vorzüge. In Anlehnung an die Kennwerte aus diesem Bauprojekt würde für den erforderlichen Transport von Bewehrungen pro km je Woche nur noch 518 statt 3.139 kg CO_2-Äquivalent anfallen, was eine Reduktion von 84 % entspricht.

Unter idealisierten Rahmenbedingungen würde der Anbau ausschließlich mit Carbonbeton umgesetzt werden können, wodurch sich die Stärke der Deckenplatten von 10 auf 8 cm reduzieren würde. In Bezug auf das Parkhaus als Ganzes würden 133 t CO_2-Äquivalent bzw. 49 % eingespart werden können. Weitere Einsparungen an Ressourcen (Sand, Zement, Zuschlagsstoffe etc.) oder der Einsatz klimaneutralere Ressourcen sind hierbei noch nicht einmal berücksichtigt. In Hinblick auf den Transport der Bewehrung pro km je Woche kämen in diesem Fall gerade einmal 364 kg CO_2-Äquivalent bzw. eine Einsparung von 88 % zusammen. Bei der Verladung und dem Transport der Fertigteile ergibt sich auch noch einmal ein 20 %iges Einsparpotenzial, aufgrund des geringeren Gewichtes der Parkhaus-deckenplatten.

Die zugehörige Studie wurde von der Goldbeck Bauelemente Bielefeld SE durchgeführt, wobei sich der Blickwinkel auf cradle-to-gate bezieht.

Weiterentwicklung
-

Allein die ausgewählten Beispiele verdeutlichen das Potenzial der Carbonbetonbauweise, dass allein durch die bisherige Einsparung an Material und den geringeren Aufwand bei der Herstellung und für den Transport die wesentlich bessere ökologische Bilanzierung als beim Einsatz von Stahlbeton aufweist. Künftig wird sowohl der Einsatz ökologischere Betone mit einem geringeren Anteil an Zement als auch das Hinzuziehen von recycelten und/oder nichterdölbasierten Ausgangs-materialen für die Herstellung von Kohlenstofffasern noch weitere positive Effekte bewirken. Mit zunehmender Erfahrung werden noch weitere Vorteile zum Tragen kommen, wie durch eine weitere Optimierung bei der Konstruktion oder den Abläufen bei der Ausführung.

Aus diesem Grund unternehmen der C³Verband und seine Mitglieder alles, um klimaneutrale Ansätze für das Bauwesen zu initiieren (Projekt WIRreFa | WIR! recyceln Fasern etc.) und deren vielversprechende Entwicklungen zusammenzuführen, um die Erkenntnisse und Ergebnisse nutzergruppenorientiert zu transferieren. Dabei liegt der Schwerpunkt stets auf dem Einsatz markrelevanter Produkte und Dienstleistungen, sodass Umwelt und Gesellschaft gleichermaßen davon profitieren werden.

Weiterführende Datenbanken
-

ecoinvent
https://ecoinvent.org

ECO Platform
www.eco-platform.org

EPD-Online Tool
https://epd-online.com

LCA Managed Content
https://sphera.com/datenbank-zur-lebenszyklusbeurteilung-lca/?lang=de

ÖKOBAUDAT
www.ökobaudat.de

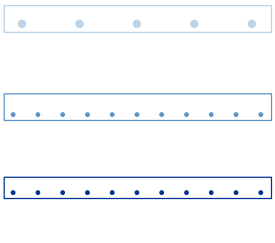
Weiterführende Modellierungstools
-

CAALA:
www.caala.de

eLCA
https://www.bauteileditor.de

GENERIS
https://www.generis.live/#/signin

Parkhaus mit Parkhausdeckenplatten aus Carbonarbonbeton | © Goldbeck GmbH



Stahlbeton C40/50 (Referenz)
h = 10 cm
53,3 kg CO_2–Äquivalent pro m³
entspricht 100 %

Carbonbeton
h = 10 cm
51,1 kg CO_2–Äquivalent pro m³
entspricht minus 4 %

Bei Berücksichtigung einer 50 %igen längeren Lebensdauer:
34,0 kg CO_2–Äquivalent pro m³
entspricht minus 36 %

Carbonbeton
h = 8 cm
42,0 kg CO_2–Äquivalent pro m³
entspricht minus 21 %

Bei Berücksichtigung einer 50 %igen längeren Lebensdauer:
27,3 kg CO_2–Äquivalent pro m³
entspricht minus 49 %

Optimierung der Parkhausdeckenplatten aus Carbonbeton | © C³Verband in Anlehnung an O. Heppes

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19

LCA for Experts
https://sphera.com/life-cycle-assessment-lca-software

LEGEP-Bausoftware
https://legep.de

openLCA
https://www.openlca.org/openlca

SimaPro
https://simapro.com

Umberto

https://www.ifu.com/umberto/lca-software

Weiterführende Literatur

-

Hauke B.: Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen – Aktueller Stand der Technik. 2021. 350 S.

Weiterführende Links

-

https://carbon-concrete.org/carbonbeton/recycling

https://www.wir-recyceln-fasern.de

Quellenverzeichnis

-

[1] United Nations Environment Programme: 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. 2022. pp. 41 and pp. 71.

[2] Miller S. A., Horvath A., Monteiro P. J.: Readily implementable techniques can cut annual CO_2 emissions from the production of concrete by over 20 %. Environmental Research Letters. Volume 11. Issue 7. 2016. p. 6.

[3] International Energy Agency (IEA): Tracking Report. Cement. 2022. https://www.iea.org/reports/cement, abgerufen am 01.06.2023.

[4] World Steel Association. Steel Statistical Yearbook 2018. p. 38.

[5] International Energy Agency (IEA). Tracking Report. Cement. 2022. https://www.iea.org/reports/cement, abgerufen am 01.06.2023.

[6] International Energy Agency (IEA). Tracking Report. Aviation. 2022. https://www.iea.org/reports/aviation, abgerufen am 01.06.2023.

[7] International Energy Agency (IEA): Tracking Report. Energy Data Explorer. 2022. https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer, abgerufen am 01.06.2023.

[8] Verein Deutscher Zementwerke (VDZ): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2021. 2022. S. 20.

[9] World Steel Association: Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient societies. 2018. p. 3.

[10] Statista: Weltweiter Primärenergieverbrauch bis 2021. 2023. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/42226/umfrage/welt-insgesamt-verbrauch-an-primaerenergie-in-millionen-tonnen-oelaequivalent, abgerufen am 31.05.2023.

[11] Braune A., Durán C. R., Gantner J.: Leitfaden zum Einsatz der Ökobilanzierung. In: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Schriftreihe DGNB Leitfaden. 2018. 20 S.

[12] Die Bundesregierung: Klimaschutzgesetz. Generationenvertrag für das Klima. 2022.

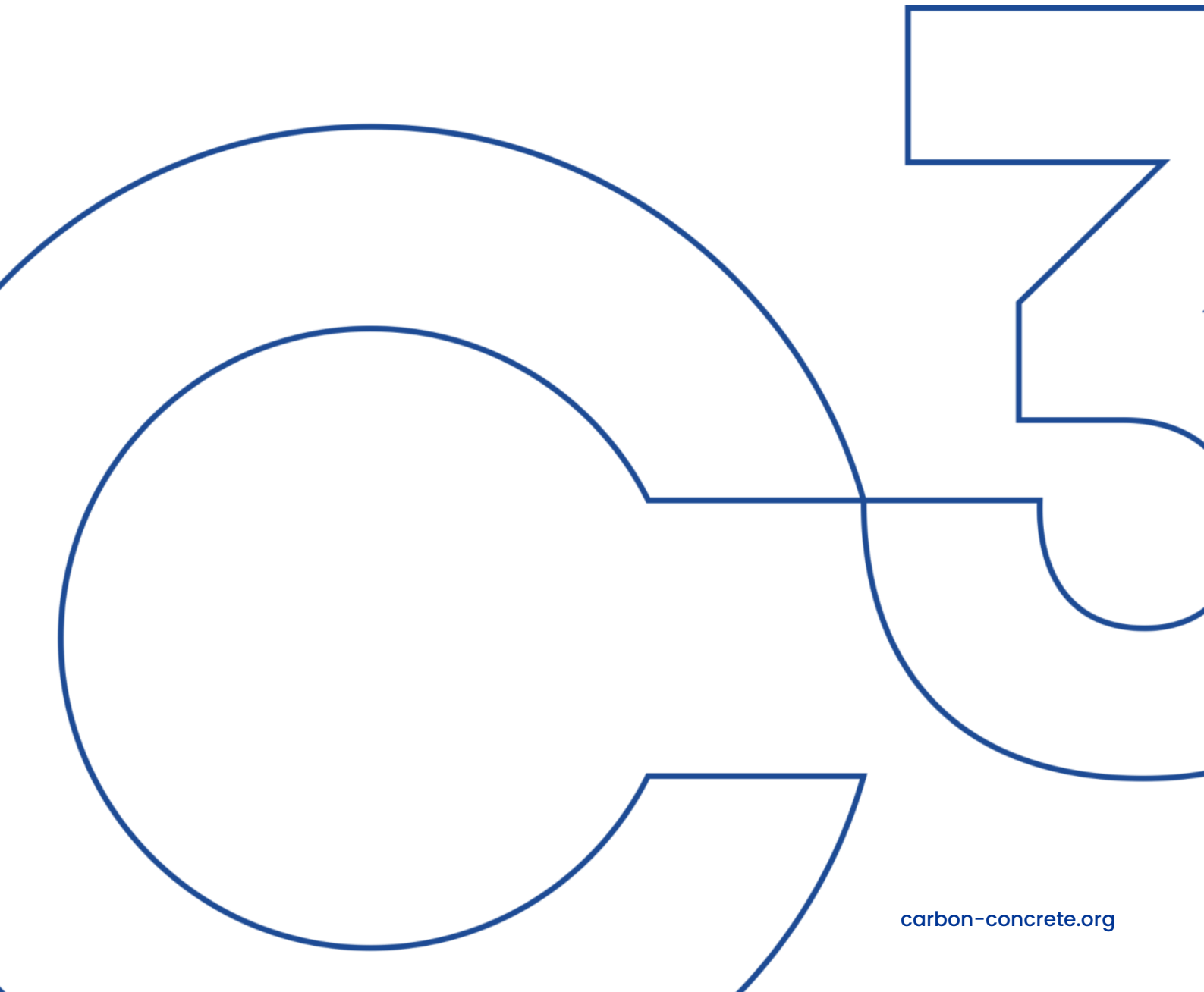
[13] Institut Bauen und Umwelt e. V.: Was ist eigentlich eine EDP. 2020. https://ibu-epd.com/was-ist-eine-epd, abgerufen am 01.06.2023.

[14] Bayerische Architektenkammer: Nachhaltigkeit gestalten. 2018. S. 89-91.

[15] WWF Deutschland: Alles aus Holz. Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise. Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie. 2022. S. 45.

Contact
C³ — Carbon Concrete Composite e. V.
WTC Dresden, Ammonstraße 72 | 01067 Dresden, Germany
carbon-concrete.org • info@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 00

Dr.-Ing. Stefan Minar
s.minar@carbon-concrete.org • +49 351 48 45 67 19



carbon-concrete.org