

B2 – CARBOrefit® Verstärken von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton

In Zusammenarbeit mit der Firma CARBOCON GMBH wurde im FRILO Programm B2 für die Bemessung und Nachweisführung von Stahlbetonbauteilen auf Querschnittsebene die Verstärkung mit Carbonbeton – CARBOrefit® – implementiert.

Inhaltsverzeichnis

Anwendung	2
Biegetragfähigkeit	3
Eingabe	4
Bestandsquerschnitt und Beanspruchung	4
Verstärkung mit CARBOrefit® Z-31.10-182	5
Bemessungsergebnis	8
Literatur	9

Die Zulassung sowie weitere Informationen finden Sie unter folgendem Link: [CARBOrefit®](#)

Hier finden Sie die Hauptdokumentation des Programms [B2 Stahlbetonbemessung](#)

Anwendung

In B2 ist ab Release 2023-1 die Bemessung von Verstärkungen mit CARBOrefit® möglich.

CARBOrefit® bezeichnet die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) / allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) zum Verstärken von biegebeanspruchten Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton (siehe [\[1\]](#)). Der Verbundwerkstoff setzt sich aus CARBOrefit®-Feinbeton und getränkten CARBOrefit®-Carbongittern zusammen und wird auf die zugbeanspruchte Oberfläche des Stahlbetonbauteils aufgebracht.

Die extrem feine und korrosionsbeständige Carbonbewehrung ermöglicht sehr dünne Verstärkungsschichten, wodurch das Eigengewicht des Bestandsbauteiles nur unwesentlich erhöht wird. Zudem sind die Carbongitter sehr leistungsstark – sie weisen eine deutlich höhere Zugfestigkeit als üblicher Bewehrungsstahl auf. Damit kann die Bauteiltragfähigkeit bereits mit einer geringen Querschnittsfläche maßgeblich gesteigert werden.

Weitere positive Eigenschaften, wie das gute Verbundverhalten mit Stahlbeton ohne eine zusätzliche Verdübelung und minimale Rissbreiten, wodurch zusätzlich die Bauteildauerhaftigkeit verbessert wird, zeichnen Carbonbeton als Verstärkung aus.

Biegetragfähigkeit

Die abZ/aBG regelt die Verstärkung von einaxial auf Biegung beanspruchten Bauteilen unter vorwiegend ruhender Belastung.

Die Biegebemessung erfolgt iterativ, analog zur Bemessung des unverstärkten Querschnitts (Bernoulli Hypothese, Bemessung im gerissenen Zustand). Dabei gehen in die Gleichgewichtsbedingungen der inneren und äußeren Kräfte und Momente die zusätzliche Komponente aus der Carbonbewehrung mit ein. Gemäß abZ/aBG dürfen der Carbonbewehrung ausschließlich Zugkräfte zugewiesen werden.

Für eine wirklichkeitsnähere Bemessung wird die Vordehnung des Bestandsquerschnitts berücksichtigt. Diese wirkt sich auf die Versagensart, Dehnungsverteilung und Fläche der benötigten Carbonverstärkung aus.

Eine genaue Beschreibung der Vorgehensweise bei der Biegebemessung eines carbonbetonverstärkten Stahlbetonquerschnitts befindet sich im Betonkalender 2022 [2].

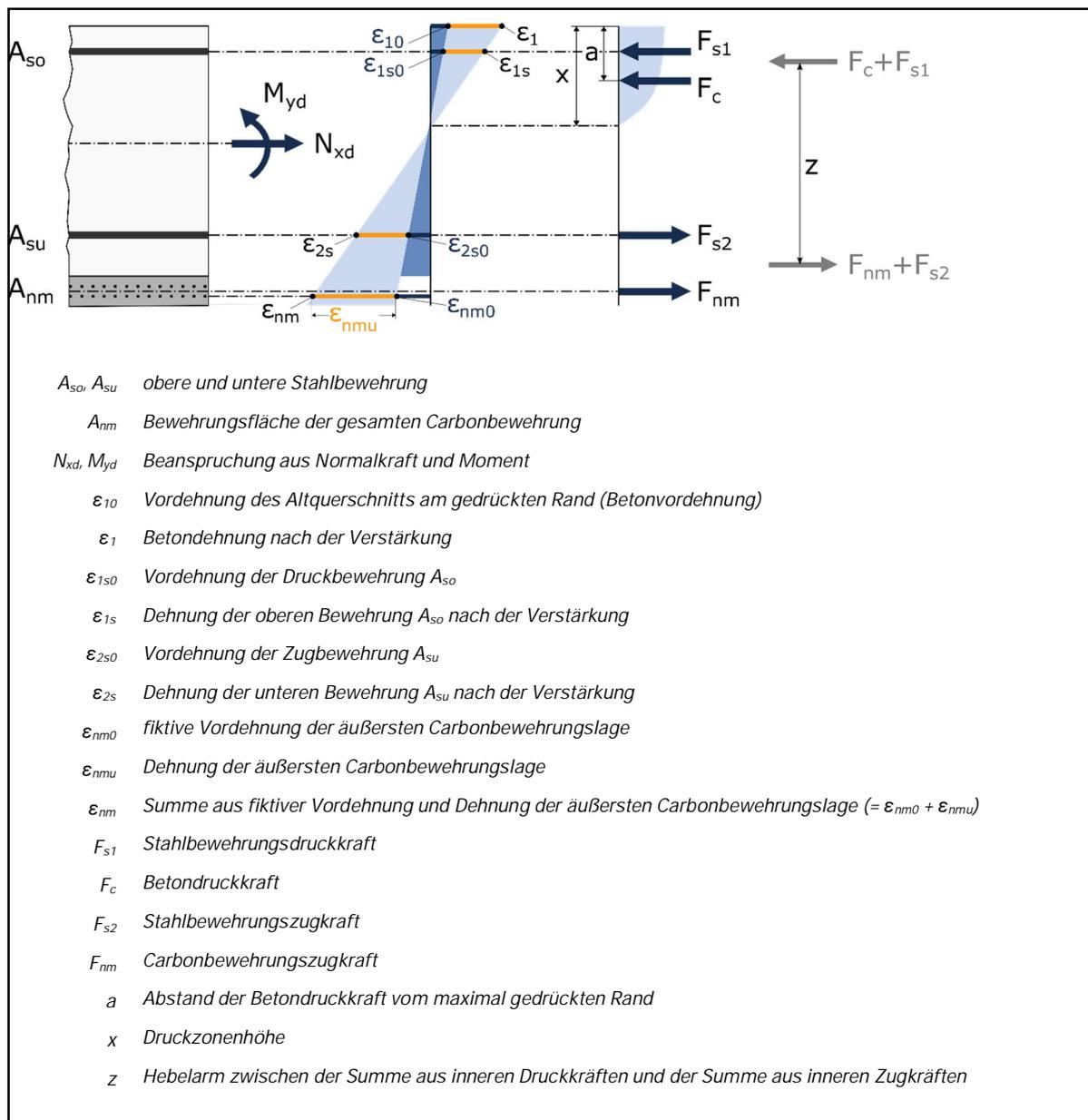


Abbildung 1 Biegebeanspruchtes Stahlbetonbauteil mit Carbonbetonverstärkung: Dehnungsverlauf und innere Kräfte

Eingabe

Bestandsquerschnitt und Beanspruchung

Im Hauptdialog werden die Geometrie und das Material des Bestandsquerschnitts und die Beanspruchungen nach der Verstärkung definiert.

Beachte: Die Beanspruchung ist mit der für den Nachweis maßgebenden Lastkombination inklusive Eigengewicht des Stahlbetonquerschnitts und der Verstärkungsschicht zu definieren.

Hinweis: Oftmals ist die Verstärkung historischer Bauteile erforderlich. Für diese kann aus der Materialbibliothek „[historisches Material](#)“ der Beton und der Bewehrungsstahl gewählt werden oder die Definition der Beton- und Betonstahlparameter erfolgt über die [freie Eingabe](#).

Verstärkung mit CARBOrefit® Z-31.10-182

Im B2-Hauptdialog gelangen Sie durch Aktivierung der Option „Verstärkung“ in den Dialog zur Verstärkung mit CARBOrefit® (siehe Abbildung 2). In diesem ist die Eingabe der für die Bemessung relevanten Eigenschaften des Bestandsquerschnitts, der Nutzungstemperatur und der Carbonbewehrung möglich. Zudem erfolgt im Dialog die Prüfung der Anwendungsgrenzen der abZ/aBG.

Die abZ/aBG ist auf bestimmte Eigenschaften hinsichtlich des Bestandsquerschnitts und der Umgebungsbedingungen beschränkt. Da in der Praxis Projekte schnell von der Anwendung nach abZ/aBG abweichen, erlaubt B2 unter bestimmten Randbedingungen auch eine Bemessung außerhalb der Zulassung. Für die Umsetzung ist dann allerdings eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) zu erlangen. Ein entsprechender Hinweis erscheint dann im Dialog.

In Abhängigkeit vom gewählten Gittertyp und der Bemessung inner- bzw. außerhalb der abZ/aBG werden die maßgebenden Materialparameter der Carbongitterbewehrung ausgegeben.

Verstärkung mit CARBOrefit® Z-31.10-182: 2021

Bestandsquerschnitt	Vordehnung am Bestandsquerschnitt
f _{ctm,surf} = <input type="text" value="1,00"/> N/mm ²	<input type="checkbox"/> nutzerdefiniert
vorh. A _{so} = <input type="text" value="0,00"/> cm ²	N _{Ed,q,st} = <input type="text" value="0,0"/> kN
vorh. A _{su} = <input type="text" value="1,00"/> cm ²	M _{Ed,q,st} = <input type="text" value="1,0"/> kNm

Zulassung

<=XC1| <=C50/60 | T<=40°C | LU<=65% | D_s<= 20 mm | f_{ctm,surf}>=1 N/mm² | c_v>= 1 cm |

max. Temperatur= °C entspricht abZ

CARBOrefit® Gittertyp Sonderausführung ak= mm

E- Modul Gitter

E_{nm,m}= N/mm² Feinbeton

Zugfestigkeit Gitter **Verbundfestigkeit**

f_{kfm,k}= N/mm² T_{kfm,k}= N/mm²

α_{nm,T,t}= α_{nm,D,t}=

α_{nm,too,t}= γ_{nm,t}= α_{nm,T,b}= α_{nm,D,b}=

f_{kfm,d}= N/mm² α_{nm,too,b}= γ_{nm,b}=

T_{kfm,d}= N/mm²

CARBOrefit® Gittertyp 1 Regelausführung ak_{f, nm}= 1.40 cm²/m nach abZ

Abbildung 2 Verstärkungsdialog in B2

Im nachfolgenden werden die für die Bemessung der CARBOrefit® relevanten Eingabewerte erläutert.

Bestandsquerschnitt

Haftzugfestigkeit

Am Stahlbetonbauteil muss für die Applikation des Carbonbetons nach abZ/aBG eine Oberflächenzugfestigkeit $f_{ctm,surf} \geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ nachgewiesen sein.

Mit einer geringeren Oberflächenzugfestigkeit ist in B2 eine Bemessung im Rahmen einer ZIE möglich.

Bewehrungsvorgaben vorh. A_{s0}/A_{su}

Für den Bestandsquerschnitt ist die vorhandene obere und untere Längsbewehrung (vorh. A_{s0} / vorh. A_{su}) zu definieren.

Da die abZ/aBG Stahlbetonbauteile behandelt, ist in B2 eine Bemessung nur für vorh. $A_{su} > 1,0 \text{ cm}^2$ möglich.

Vordehnung

Die Ermittlung der Vordehnung erfolgt programmintern. Hierfür sind die zum Zeitpunkt der Verstärkung vorhandenen Schnittkräfte $M_{Ed,q,st}$ und $N_{Ed,q,st}$ unter der quasi-ständigen Belastungskombination vorzugeben. Als Mindestwert ist in B2 eine Vorbelastung durch ein Biegemoment von $M_{Ed,q,st} = 1,0 \text{ kNm}$ hinterlegt.

Alternativ kann durch Auswahl des nutzerdefinierten Felds die vorhandene Bauteilvordehnung auch direkt vorgegeben werden. In diesem Fall sind die Vordehnungen am gedrückten Querschnittsrand $\epsilon_{1,0}$ und in Höhe der Bestandsbewehrung in der Zugzone $\epsilon_{2s,0}$ einzugeben. Für $\epsilon_{1,0}$ und $\epsilon_{2s,0}$ sind keine Mindestwerte vordefiniert.

Zulassung

Die Verstärkung mit Carbonbeton nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ/aBG) ist auf nachfolgende Anwendungen begrenzt. Werden diese nicht eingehalten, ist in B2 dennoch bedingt eine Bemessung möglich.

Es erscheint in dann der Hinweis, dass die Bemessung außerhalb der abZ/aBG und im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erfolgt.

Zudem wird dann die Bemessung nur noch ausschließlich für die CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter zugelassen.

Bedingungen nach abZ/aBG

- Expositionsklasse XC1

Für abweichende Expositionsklassen sind die nach abZ/aBG definierten Abminderungsbeiwerte für die Zug- und Verbundfestigkeit des Gittertyp 3 nicht pauschal ansetzbar. In B2 werden deshalb für bestimmte Konstellationen die Abminderungsfaktoren auf vordefinierte, konservative Werte angepasst. Die empfohlenen Werte und deren Gültigkeitsbereich basieren auf Angaben der CARBOCON GMBH und werden auf Grundlage bereits erlangter ZiE vorgeschlagen (siehe [Tabelle 1](#)).

Die Expositionsklassen XA1–3 mit einem Sulfatangriff $> 1.500 \text{ mg/l}$ und die Expositionsklasse XA3 ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen nach DIN 1045-2 sind durch die empfohlenen Werte nicht abgedeckt!

Die manuelle Eingabe der Beiwerte ist zusätzlich in B2 möglich.

Werden die Abminderungsfaktoren angepasst, sind diese im Rahmen einer ZiE nachzuweisen.

Für XM2 und XM3 wird die Bemessung generell nicht zugelassen.

Abminderungsfaktor ...		Gittertyp 1	Gittertyp 3	
		nach abZ/aBG		nach CARBOCON GMBH
... der Zugfestigkeit für Temperatureinwirkung	$\alpha_{nm,T,t}$	0,85	1,00	0,85
... der Zugfestigkeit bei Dauerlast	$\alpha_{nm,t00,t}$	0,70	0,70	0,70
... für die dauerhafte Zugfestigkeit	$\alpha_{nm,D,t}$	1,00	1,00	0,90
... der Verbundfestigkeit für Temperatureinwirkung	$\alpha_{nm,T,b}$	0,45	1,00	0,70
... der Verbundfestigkeit bei Dauerlast	$\alpha_{nm,t00,b}$	0,47	0,70	0,70
... für die dauerhafte Verbundfestigkeit	$\alpha_{nm,D,b}$	1,00	1,00	0,90

Tabelle 1 Abminderungsfaktoren der Zug- und Verbundfestigkeit nach abZ/aBG und angepasste Abminderungsfaktoren nach CARBOCON GMBH für eine von der abZ/aBG abweichende Expositionsklasse, Luftfeuchtigkeit und/oder Nutzungstemperatur

- Normalbeton mit Festigkeitsklasse \leq C50/60
Bei Festigkeitsklassen $>$ C50/60 und Leichtbeton erscheint in B2 der Hinweis, dass eine ZIE erforderlich ist.
- Relative Luftfeuchtigkeit von 65 % in der Nutzungsphase
In B2 wird die Bemessung bei einer Luftfeuchte über 65 % zugelassen. Analog zu den Expositionsklassen werden die Abminderungsbeiwerte der Zug- und Verbundfestigkeit angepasst (siehe [Tabelle 1](#)).
- Durchmesser der Betonstahlbewehrung in der Biegezugzone \leq 20 mm
Bei größeren Durchmessern der Betonstahlbewehrung erscheint in B2 der Hinweis, dass eine ZIE erforderlich ist.

Hinweis: Alle zuvor aufgeführten Eigenschaften können im Dialog „Dauerhaftigkeit, Kriechen und Schwinden“ definiert werden.

- Betondeckung \geq 10 mm
Es ist mindestens eine Betondeckung der Stahlbewehrung im Bestandsquerschnitt auf der zu verstärkenden Seite von 10 mm vorzuweisen. Ist diese unterschritten, ist im Rahmen der Betoninstandsetzung diese herzustellen.
- Maximaltemperatur von 40 °C
In B2 wird die Bemessung bei Nutzungstemperaturen über 40 °C bis 80 °C im Rahmen einer ZIE zugelassen. Analog zu den Expositionsklassen werden die Abminderungsbeiwerte der Zug- und Verbundfestigkeit angepasst (siehe [Tabelle 1](#)).

Gittertyp und Ausführung

Bei der Herstellung einer textilen Bewehrung können in Abhängigkeit von der Beanspruchung Fasermaterialien, Garnstärken, -gehalte und -abstände sowie die Anzahl der Lagen auf die Beanspruchung effektiv angepasst werden.

Momentan sind 2 Gittertypen (Typ 1 und Typ 3) in der abZ/aBG geregelt, wobei Typ 3 hinsichtlich der Eigenschaften Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Verbundfestigkeit Typ 1 übertrifft, dafür aber etwas starrer und daher bei der Verlegung unflexibler ist. Beide Gittertypen sind als Regelausführung mit einer festen Gitterweite verfügbar. Als Sonderausführung können in B2 eine Reihe größerer Gitterweiten gewählt werden.

Bemessungsergebnis

CARBOfit® Gittertyp 3 nach abZ

Regelausführung Anm= 1.40 cm² je Lage

erf.Anm= cm² Fnm= kN/m

Ausn=0.862 Ausn=0.711

Abbildung 3 Bemessungsergebnis in B2

Programmintern wird die statisch erforderliche Carbonbewehrungsmenge erf. A_{nm} sowie die daraus resultierende erforderliche Anzahl der Carbongitterlagen ermittelt (nach abZ/aBG max. 4 Lagen). Daraus ergibt sich die Gesamtdicke der Verstärkungsschicht, wobei die jeweils erforderlichen Feinbetonschichten zum Altbeton, zwischen den Carbongelegen und zur Oberfläche 3 mm für den Typ 1 und 5 mm für den Typ 3 betragen.

Zudem wird die in der Carbonbewehrung auftretende Zugkraft F_{nm} ausgegeben. Diese ist gemäß abZ/aBG auf $\max F_{nm} = 430$ kN/m beschränkt.

Die jeweiligen Auslastungsgrade (Ausn) erf. Anm / vorh. Anm und Fnm / Max Fnm werden ebenfalls ausgegeben.

Literatur

- [1] DIBt (15.12.2021): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton (Z-31.10-182).
Die Zulassung können Sie im Downloadbereich von CARBOrefit® herunterladen: www.carborefit.de
(zuletzt geprüft am 10.11.2022)
- [2] Betonkalender 2022 Teil 2: Verstärken mit Carbonbeton (M. Curbach, S. May, E. Müller, A. Schumann, E. Schütze, J. Wagner), Berlin: Ernst & Sohn, 2021, 1. Auflage, S.761-804