

Fact Sheet

Carbonbeton

—

Herausgeber: C³Verband

Dresden, Februar 2024

Bauen mit Stahlbeton

Für unsere Lebensqualität ist das Schaffen von Wohnraum und Infrastrukturen wesentlich. Dabei ist Beton das meistverwendete Baumaterial weltweit. Jedoch kann Beton lediglich hohe Druck- aber so gut wie keine Zugkräfte aufnehmen. Aus diesem Grund muss in Bauwerken aus Beton neben dem Beton ein zugfestes Material eingebaut werden, eine sogenannte Bewehrung. Seit Ende des 19. Jahrhunderts wird dafür vorzugsweise Stahl eingesetzt, daher auch der Begriff Stahlbeton.

Die Stahlbetonbauweise hat jedoch einen entscheidenden Nachteil: Stahl korrodiert!

Um eine Korrosion im Beton zu verhindern, muss ein Umfeld mit hoher Alkalität geschaffen werden und der Beton als Schutzmedium dienen. Demzufolge werden zumeist Betone mit einem hohen Gehalt an Zement eingesetzt. Zudem ist eine über den statischen Anforderungen hinausgehende Menge an Beton aufzubringen, die sogenannte Betondeckung. Die Folge: Als einer der weltweit größten CO₂-Emittenten und Verbraucher an Ressourcen wird der Betonbau immer mehr als Klimakiller wahrgenommen.



Anwendung von Carbonbeton für den Bereich Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung (Brückenbogen in Naila) | © A. al Jamous

Bauen mit Carbonbeton

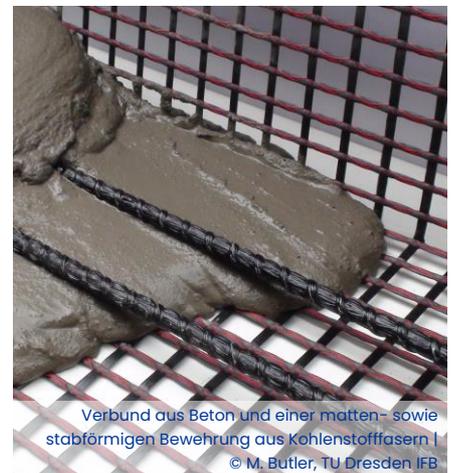
Ansatz

Carbonbeton ist ein Verbundwerkstoff aus Beton und einer nichtmetallischen Bewehrung aus Kohlenstoff- bzw. Carbonfasern (Carbon), aber auch Glas oder Basalt. Die kohlenstofffaserhaltige Bewehrung setzt sich aus einer kohlenstoffbasierten Faser, Schlichte und Tränkung zusammen. Entscheidend ist, dass die Ausführung der Bewehrung sowohl matten- bzw. gitterförmig als auch stabförmig ist, während in den Beton zugemischte Kurzfasern kein Gegenstand des Carbonbetons darstellt.

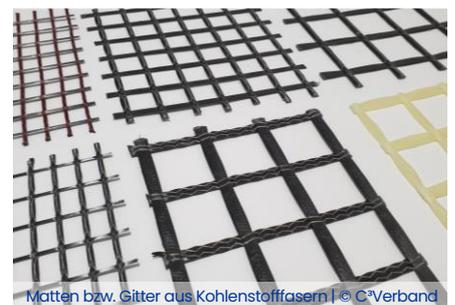
Für den Einsatz von Carbonbeton können alle im Bauwesen etablierten oder neu entwickelten Betone – die sich im Rahmen der gegenwärtigen gültigen Normen befinden oder eine Zulassung haben – verwendet werden. Das Mischungsverhältnis, vor allem die Kornverteilung, muss zur eingesetzten Bewehrung passen.

Die Besonderheit liegt in der kohlenstoffbasierten Faser, die eine Zugfestigkeit von bis zu 6.000 N/mm² hat, wobei die bisher im Bauwesen eingesetzten Fasern eine Zugfestigkeit von ca. 4.000 N/mm² aufweisen (und ist somit achtmal höher als beim Stahl). Der E-Modul solch einer Faser liegt bei etwa 210.000 bis 230.000 N/mm², was vergleichbar mit Stahl ist. Dagegen entspricht ihre Dichte nur einem Viertel und ist somit je Kubikmeter viermal leichter als Stahl. Des Weiteren kann solch eine kohlenstoffbasierte Faser nicht korrodieren, ist chloridbeständig und benötigt kein alkalisches Milieu.

Die matten- bzw. gitterförmigen Bewehrungen werden in einem textilen Prozess hergestellt. Dabei variieren Größe, Querschnitt der Bewehrung und des Faserstranges sowie der Abstand der Faserstränge. Matten bzw. Gitter sind – abhängig von der Tränkung – steif oder leicht verformbar und können als



Verbund aus Beton und einer matten- sowie stabförmigen Bewehrung aus Kohlenstofffasern | © M. Butler, TU Dresden IFB



Matten bzw. Gitter aus Kohlenstofffasern | © C³Verband



Stäbe aus Kohlenstofffasern | © 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

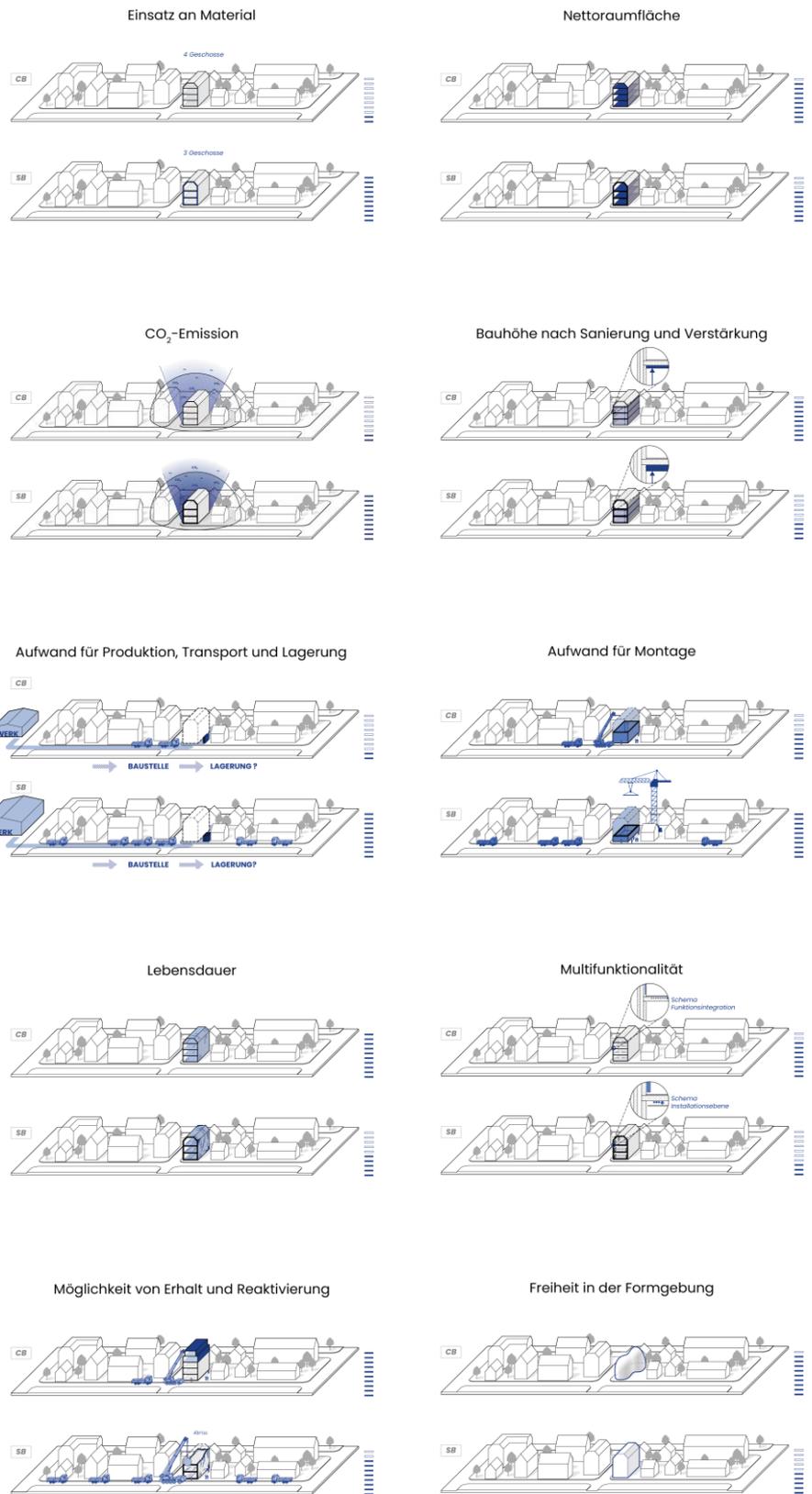
Plattenware oder auf Spulen aufgerollt erworben werden.

Dagegen werden die stabförmigen Bewehrungen in einem pultrusions-technologischen Prozess hergestellt. Die Profilierung der Oberfläche erfolgt wiederum durch Umwicklung, Fräsung, Prägung und/oder Besandung. Stäbe gibt es in verschiedenen Längen, Durchmessern (zumeist über 6 mm) und in beliebiger gebogener Form (Bügel). Eine Biegung der Stäbe auf der Baustelle und im Fertigteilwerk ist noch nicht möglich. Stäbe lassen sich zu Matten mit individuellen Abständen zueinander verbinden. Ergänzend seien noch die kohlenstoff-faserhaltige Spannnetze genannt, wo mehrere Garne miteinander verdreht sind.

Vorzüge

Erfreulicherweise stellt bereits zum heutigen Zeitpunkt das Bauen mit Carbonbeton eine wirtschaftliche Alternative im Bauwesen dar. Allein die Mitglieder des C³Verbandes haben über 200 Anwendungen genannt, wo die Carbonbetonbauweise für den Neubau sowie für die Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung eingesetzt werden. In Hinblick auf das Bauen mit Beton wirkt der Einsatz von nichtmetallischen Bewehrungen positiv auf unterschiedlichste Aspekte des Bauwesens ein, wobei deren Ausprägung von der individuellen Anwendung abhängt. Die Carbonbetonbauweise zeichnet sich dadurch aus, dass im Vergleich zu bestehenden Konstruktionen aus Stahlbeton

- bis zu 80% Material (Sande, Wasser und Zement; teilweise auch Verzicht auf Oberflächenschutzsysteme) eingespart wird. Hintergrund sind schlankere Konstruktionen, im Neubau die Einsparung der Betondeckung zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion auf ein Mindestmaß von 10 mm statt 55 mm und im Falle der Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung ein Betonaufrag mit Mindestmaß von 15 mm statt 80 mm.



Stäbe aus Kohlenstofffasern | © L. Schmidt

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

- bis zu 80 % weniger CO₂ ausgestoßen werden, was aber von der Menge an eingesetzten Ressourcen, des Einsatzes ökologischer Betone und des angepassten Aufwandes bei der Verladung und dem Transport abhängig ist.
 - 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, da die Zuladung je Bauteil geringer ist.
 - eine bis zu 200 Jahre und somit vierfache Lebensdauer zu erwarten ist, was sich durch die Beständigkeit gegenüber Korrosion und Einträgen von Chlorid begründen lässt. Im Rahmen von Zulassungen werden bereits 100 Jahre nachgewiesen.
 - baufällige Objekte aus dem Hoch-, Tief- und Ingenieurbau erhalten und reaktiviert werden können, wo andere Bauweisen – aufgrund der Anforderungen an das zusätzliche Eigengewicht oder des Denkmalschutzes – an ihre Leistungsgrenzen kommen.
 - bis zu 8 % mehr Fläche im Innenbereich für den Verkauf, der Vermietung oder Eigennutzung gewonnen werden können, da es eine größere Nettoraumfläche bei identischer Bruttogrundfläche gibt. Folglich können Baukosten pro Quadratmeter Nutzfläche reduziert werden. Zudem führt mehr Platz in einem Lager, Silo, Speicher etc. wiederum zu mehr Lagervolumen und damit zu weniger Kosten pro Kubikmeter Nutzvolumen.
 - geringere Bauhöhen erreicht werden können, wodurch neue Ansätze beim Bauen von Durchflüssen für Brücken und Flüssen, Durchfahrthöhen in Tunnels und Garagen sowie Raumhöhen in Gebäuden realisiert werden können. Unter Umständen bleiben nur auf diese Weise Unterführungen für Fuß- und Radwege nach einer Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung weiterhin erhalten, wogegen im Neubau eine zusätzliche Etage realisiert werden kann.
- der Umgang mit den Materialien und Bauteilen wesentlich erleichtert wird, insbesondere vor dem Hintergrund der leichten und flexiblen Bewehrung aus Carbon. So ist das Tragen solch einer Bewehrung zumeist ohne massive Hebezeuge (Gabelstapler, Kräne etc.) durch eine Person möglich, aber auch das Arbeiten über Kopf. Das Zuschneiden der Bewehrung erfolgt mit leichtem Gerät.
 - die Bewehrung gleichzeitig für Flächenheizungen (Wand oder Bodenheizung) verwendet werden kann, da sie elektrisch leitend ist und einen hohen Widerstand hat. Ebenfalls kann eine zusätzlich aufgebrachte Bewehrung aus Carbon als kathodischer Korrosionsschutz dienen.
 - neue Formsprachen in Hinblick auf dünne, gekrümmte bis hin zu bionisch geformten Bauteilen möglich sind, die bisher in der Vielfalt nicht umsetzbar waren.

Neubau

- Bauteile und -werke aus Carbonbeton werden nicht mehr nur bei besonderen Anforderungen an den Korrosionsschutz errichtet. Einzelne Bauteile aus Carbonbeton können aufgrund des geringeren Einsatzes von Material und somit der Einsparung von Gewicht auch unter erschwerten Zugänglichkeit (hoher, schmaler oder gerüstfreier Zugang etc.) installiert werden. Die Herstellung der zugehörigen Bauteile erfolgt in Fertigteilwerken und vor Ort.

(Halb-)Fertigteile werden vorrangig in Fertigteilwerken produziert, da nur dort gleichbleibende optimale Rahmenbedingungen in Hinblick auf interne (Qualitätskontrolle etc.) und externe Umwelteinflüsse (Witterung etc.) vorliegen. Für ein wirtschaftliches Bauen mit Carbonbeton optimieren Mitglieder des C³-Verbandes den durchgehend automatisierten Prozess, der den üblichen Prozessen im Betonbau gleicht. So werden zuerst matten- und stabförmige Bewehrungen aus Carbon hergestellt

(textil- und roboterorientierte Verfahren), anschließend Abstandselemente an die Bewehrung angebracht (roboterorientierte Verfahren), daraufhin Bewehrungen in die Schalung eingebracht (roboterorientierte Verfahren) und letztlich diese betoniert (Gießverfahren). Darüber hinaus steigt der Grad der Automatisierung, gleichzeitig ebenfalls die Umsetzung individueller Anforderungen bei der Produktion, sodass der bisherige Vorteil des Stahlbetons in diesem Bereich deutlich schwindet.

Der baustellenseitige Einbau der Anschlüsse von (Halb-)Fertigteilen lassen sich wiederum durch Ortbeton realisieren. Ausgefallene Formgestaltungen können individuell vor Ort umgesetzt werden. Aufgrund der Charakteristika der Materialien lassen sich Arbeiten auf der Baustelle einfacher ausüben (Anbringen von Bewehrungen an Wölbungen, Arbeiten über Kopf etc.).

Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung

- In einigen Fällen stellt die Sanierung, Instandsetzung und Verstärkung via Carbonbetonbauweise die einzige bautechnische und wirtschaftliche Alternative dar, um bestehende



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

Bausubstanzen vor dem Abriss oder Rückbau zu bewahren. Im Vergleich zur Stahlbetonbauweise kann mit einer nur millimeterdicken Schicht aus Carbonbeton die Tragfähigkeit bestehender Konstruktionen deutlich gesteigert werden. Das Eigengewicht der Konstruktion wird nur geringfügig erhöht. Die geometrische Abmessung wird weitgehend beibehalten und das Erscheinungsbild bleibt somit unverändert. Infolgedessen wurden bereits zahlreiche denkmalgeschützte Infrastrukturen sowie Schalen- und Kuppelkonstruktionen mit einer Eigenlast im Grenzbereich ertüchtigt und saniert.

Dank der im Jahr 2021 erweiterten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung CARBOrefit® steht den planenden und auszuführenden Akteuren des Bauwesens eine Lösung zur Verfügung, um die Ausführung barrierefrei umzusetzen. Der prinzipielle Aufbau und die Arbeitsschritte sind an das etablierte Verfahren des Spritzbetons angelehnt. So wird zuerst die Oberfläche des Altbetons vorbereitet (Säuberung und Anrauen). Anschließend wird via Spritz- oder Laminierverfahren die erste Lage Beton aufgebracht. Daraufhin wird die mattenförmige Bewehrung aus Carbon in den frischen Beton eingearbeitet. Als nächstes ist die nächste Schicht Beton aufzutragen, wobei dieser Vorgang so oft zu wiederholen ist, bis die

statisch erforderliche Anzahl an Lagen erreicht ist (zumeist zwei- bis dreilagig). Letztlich ist nach dem Einarbeiten der letzten Lage die Abschlusschicht aufzubringen. Eine weitere Besonderheit ist, dass für die Nachbehandlung der Verbundfuge keine Verdübelung erforderlich ist.

Bestimmungen und Leitlinien

Obwohl das Bauen mit Carbonbeton vor allem durch neuartige Bauprodukte bzw. -arten charakterisiert ist, erleichtern bereits verfügbare Bestimmungen und Leitlinien das Planen und Bauen mit Carbonbeton. Neben der Bereitstellung relevanter Unterlagen durch den C³Verband hat/haben beispielsweise

- das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) und/oder allgemeine Bauartgenehmigungen (aBG) im Umfeld nichtmetallischer Bewehrungen im Betonbau gelistet.
- der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) eine DAfStb-Richtlinie „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ als Gelbdruck veröffentlicht, die unter anderem für den Bereich Neubau die Bemessung und die Prüfkonzepte regelt.
- das Deutsche Institut für Gütesicherung

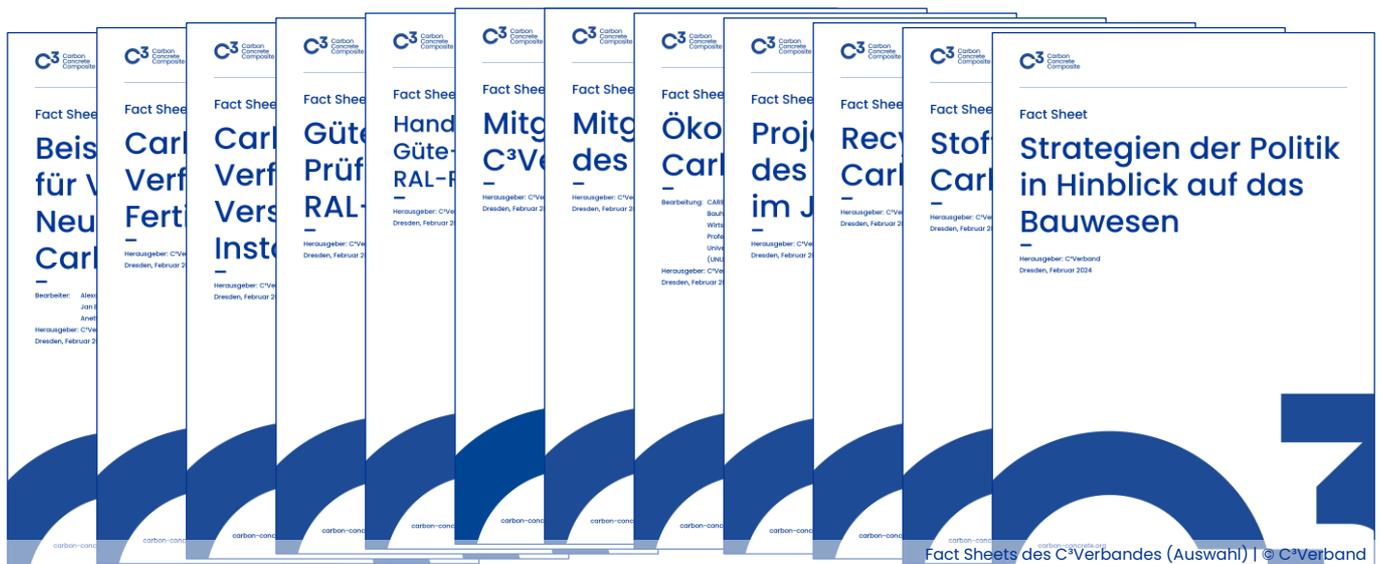
und Kennzeichnung (RAL) eine Registrierung für das Bauen mit Carbonbeton veröffentlicht (RAL-RG 351), sodass im Bauwesen für den Einsatz von matten- und stabförmigen Bewehrungen im Betonbau ausschließlich Typen von Kohlenstoffasern eingesetzt werden, die aufgrund ihres Bruchverhaltens oder ihrer Fasermorphologie im Lebenszyklus zu keiner gesundheitlich relevanten Freisetzung von Faserstäuben führen.

- FRILO Software GmbH und RIB Software GmbH jeweils für ihre renommierte Software zur Bemessung standardmäßig Kenndaten aus dem Bauen mit nichtmetallischer Bewehrung hinterlegt.

Schulungen

Gemäß den Allgemeinen Anforderungen an das Bauwesen setzt auch das Arbeiten mit Carbonbeton qualifiziertes Personal voraus. Bildungseinrichtungen, Vereine und Verbände sowie wirtschaftliche Institutionen vermitteln bereits den Stand der Technik und neuste Entwicklungen sowohl an Berufseinsteiger als auch an langjährige Fachkräfte in geeigneten Formaten, wie

- Webinare und Schulungen des C³Verbandes,



Fact Sheets des C³Verbandes (Auswahl) | © 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

- Angebote zur Weiterbildung und Seminar-Reihen durch Mitglieder des C³Verbandes,
- Vorlesungen und Seminare an zahlreichen (Fach-)Hochschulen.

Weiterentwicklung

-

Der C³Verband und seine Mitglieder übernehmen die Verantwortung, das Bauwesen schrittweise noch positiver zu gestalten. Mit dem Ziel, die Mitglieder des C³Verbandes als Leitanbieter zur Carbonbetonbauweise zu etablieren, werden beispielsweise

- neue Projekte zum Stoffkreislauf und im Konkreten zum Recycling (Projekt WIRreFa | WIR! recyceln Fasern), zur Standardisierung (Projekt ISC | Industriestandards Carbonbeton), für den Einsatz ökologischere Betone mit einem geringeren Anteil an Zement oder zur Identifikation neuer Anwendungsfelder mit besonderen Anforderungen in Hinblick auf Feuchte und Alkalität initiiert, koordiniert und gesteuert.

- Positionspapiere in Hinblick auf ein klimaneutrales Bauen für die politische und verwaltungsorganisatorische Ebene erstellt und Plattformen für einen fachlichen Austausch organisiert.
- vielversprechende Schnittstellen zu branchenfernen Entwicklungen aufgebaut, wie der Herstellung des Carbons auf Grundlage des nachwachsenden Rohstoffes Lignin (Holzabfallprodukt aus der Papierherstellung), durch das Extrahieren von CO₂ aus der Luft, der Herstellung aus Polyethylen oder durch das Erzeugen von lipidreicher Algenbiomasse.

Weiterführende Literatur

-

Curbach M., Hegger J., Schladitz F., Tietze M., Lieboldt M.: Handbuch Carbonbeton. Einsatz nichtmetallsicher Bewehrung. 2023. 595 S.

RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.: Verhinderung von Gefährdungen durch biobeständige, lungengängige Faserstäube bei der Carbonbetonbauweise. Güte- und Prüf-

bestimmungen. RAL-RG 351. 2021. 5 S.

Tagungsbänder zu den Carbon- und Textilbetontagen (<https://www.carbon-textilbetontage.de/tagungsband>)

Fachartikel in den renommierten Zeitschriften zum Bauwesen, wie Bauingenieur, Beton- und Stahlbetonbau, BWI – BetonWerk International etc.

Weiterführende Links

-

[https://carbon-](https://carbon-concrete.org/carbonbeton/download)

[concrete.org/carbonbeton/download](https://carbon-concrete.org/carbonbeton/download)

<https://www.dibt.de/de/Service/Service-Suche.html>

<https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:362887890>

<https://www.frilo.eu>

<https://www.rib-software.com/home>



Anwendung von Carbonbeton für den Bereich Neubau (CUBE in Dresden) | © S. Gröschel, TU Dresden IMB

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

