

Carbonbeton

Die neue Art des Bauens

Wegen Korrosionsschäden bleibt die Lebenserwartung vieler Stahlbetonbauten hinter den Erwartungen zurück. Um Stahlbewehrungen vor dem Verrotten zu schützen, wird deshalb heute Beton dick aufgetragen. Das muss nicht sein, sagen deutsche Forscher. Sie propagieren nichtrostende textile Carbonbewehrungen.

Von Gabriel Diezi

Beton ist das unersetzbare «Schmiermittel» der weltweiten Bauindustrie. Schliesslich werden jährlich acht Milliarden Kubikmeter des wandelbaren Baustoffs verbraucht. «Um diese Zahl greifbar zu machen, muss man sich einen gewöhnlichen Tennisplatz vorstellen, um den wir einen Turm mit einer Wandstärke von 30 Zentimetern bauen. Dieser Turm hätte eine Höhe von etwa 384 000 Kilometern – und würde bis zum Mond reichen», erläutert Professor Manfred Curbach, Leiter des Instituts für Massivbau an der Technischen Universität Dresden.

Damit ist der ressourcenintensive Beton das weltweit am häufigsten verwendete Material nach

Wasser. In der Konsequenz wird der für die Betonherstellung benötigte Sand in vielen Regionen der Welt langsam knapp. «Es gibt heute sogar Länder, in denen sich die Baufirmen den Sand gegenseitig von den Baustellen klauen», so Curbach pointiert. Zum hohen Rohstoffverbrauch kommen enorme CO₂-Emissionen hinzu. Allein die Zementherstellung verursacht 6,5 Prozent des globalen Kohlendioxidausstosses. Das entspricht etwa der dreifachen Menge CO₂, die durch die globale Luftfahrt emittiert wird.

Problematisch ist zudem, dass viele der Stahlbetonkonstruktionen wegen Korrosionsschäden nicht so lange halten, wie dies ihre Erbauer ein-

mal dachten. Autobahnbrücken bröckeln beispielsweise bereits nach 40 bis 80 Jahren und müssen für teures Geld saniert werden. «Allein aus diesen wenigen Zahlen wird klar, dass wir so nicht weiterbauen können», sagt Curbach. Es brauche Veränderungen im Bauwesen, ja eigentlich eine neue Art des Bauens.

80 Prozent Beton einsparen

Ein Ansatzpunkt um den Betonverbrauch zu reduzieren und dauerhafter zu bauen, ist der Ersatz des korrosionsanfälligen Bewehrungsstahls durch Carbonbelege. Da diese technischen Textilien aus Kohlenstofffasern nicht rosten, lässt sich all der

Bild: Ulrich van Stipriaan, TU Dresden

Pavillon in Kahla, Thüringen:
Carbonbeton ermöglicht eine
filigrane Architektur.



Beton einsparen, der nur den Stahl vor dem Korrodieren schützen soll. Und das ist nicht wenig. Drei bis fünf Zentimeter dick ist heute jeweils die Schicht, welche die Stahlbewehrung schützend umhüllt. Bei der Herstellung von Carbonbeton kommt man folglich mit der Hälfte der Betonmenge aus, die für klassischen Stahlbeton benötigt wird. «Mit durchdachten, kreativen Entwürfen lässt sich der Betonverbrauch gar um bis zu 80 Prozent reduzieren», ist Professor Curbach überzeugt. Denn Leichtbau und Beton seien dank der Carbonfasern kein Widerspruch mehr. Eine andere architektonische Formensprache werde möglich. Das scheint plausibel, schliesslich ist Carbon viermal leichter und sechsmal tragfähiger als Stahl.

Seit Mitte der 90er-Jahre wird an den Technischen Universitäten in Dresden und Aachen der Textilbeton im Allgemeinen und der Carbonbeton im Besonderen erforscht. Die deutschen Wissenschaftler haben sich in dieser Zeit eine weltweit führende Position beim neuartigen Verbundwerkstoff erarbeitet – und wollen diese nicht mehr abgeben. Professor Curbach und seine Kollegen haben vor drei Jahren mit Bundesunterstützung das ambitionöse Forschungsprojekt «C³ – Carbon Concrete Composite» aufgesetzt. Dem interdisziplinären Konsortium, das vom Dresdner Institut für Massivbau angeführt wird, gehören über 170 Firmen, Verbände und Institutionen an. Das grösste Forschungsprojekt im deutschen Bauwesen will bis im Jahr 2020 alle Voraussetzungen schaffen, um Carbonbeton erfolgreich im Markt einzuführen. Bis 2025 soll dann die Bauweise dauerhaft etabliert sein. «Gelingt es uns, etwa 20 Prozent des Stahlbetonbaus durch den Carbonbetonbau zu ersetzen, können in Deutschland über 3000 Arbeitsplätze entstehen», so Curbach. Bei allen Unwägbarkeiten ist das wirtschaftliche Potenzial des Verbundwerkstoffs also gross. Wohl deshalb erhielt Manfred Curbach zusammen mit zwei anderen Carbonbetonforschern 2016 den Deutschen Zukunftspreis, den vom Bundespräsidenten verliehenen Preis für Technik und Innovation.

Leistungsfähige «Verbundpartner»

Carbonbeton ist ein Verbund von textiler Bewehrung aus Kohlenstofffasern und sogenanntem Feinbeton, einer Art Hochleistungsbeton. Die Technische Universität Dresden widmet sich der Weiterentwicklung beider Komponenten. In der Halle des Instituts für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik läuft bei der Besichtigung die «Malitronic» gerade auf Hochtouren. Auf der Multiaxial-Kettenwirkmaschine entstehen gitterartige textile Mattenbewehrungen aus Carbon, die insbesondere bei der bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung von Decken und Brücken zum Einsatz kommen. In der Wirkstelle, dem Kernstück der Textilmaschine,



Bilder: Jörg Singer

Carbongarne sind das Ausgangsmaterial für die Produktion der textilen Bewehrungssysteme.



Auf der Textilmaschine entsteht Schritt für Schritt das Carbongelege, also die textile Bewehrung.

werden handelsübliche Carbongarne – also sogenannte Rovings, die aus bis zu 50 000 Endlosfasern respektive Filamenten bestehen – in den gewünschten Winkeln abgelegt und zum feinschichtigen Gitter vernäht. Eine einzelne der zum Multifilamentgarn verarbeiteten Kohlenstofffasern hat einen Durchmesser von gerade einmal fünf bis neun Mikrometern, was einem millionstel Meter entspricht. Das als Gelege bezeichnete technische Textil, welches zwischen den Fasersträngen Abstände von zwei bis drei Zentimetern aufweist, durchläuft als nächstes die Beschichtungseinheit. Dort werden in Wasser gelöste Polymere aufgetragen. Die Beschichtung sorgt dafür, dass alle Filamente aktiviert sind und die textile Bewehrung später die volle Tragfähigkeit entfaltet. Nachdem in der Trocknungseinheit das

Wasser verdampft ist, wird das Gelege auf die gewünschte Breite zugeschnitten und transportfähig gewickelt.

Aufgrund der geringen Gitterabstände bei der Carbonbewehrung kann zur Herstellung des Verbundwerkstoffs keine Standardbetonmischung verwendet werden. Normalbeton besteht in der Regel aus Gesteinsmaterial mit Grösstkorn zwischen 16 und 32 Millimetern, sowie Zement, Sand und Wasser. Da der Durchmesser der grössten Steine jedoch maximal ein Drittel der Maschenweite betragen darf, wird am Dresdner Institut für Baustoffe an Feinbetonen getüftelt, die für die Carbonbeton-Herstellung massgeschneidert sind. «Bei den hochfesten Betonen setzen wir als grobe Gesteinskörnung Splitt mit Grösstkorn fünf Millimeter ein, bei normalfesten Beto-



Auf der Suche nach dem idealen Feinbeton: Im Labor werden neue Rezepturen angerührt (links) und in Gussversuchen ausgetestet (rechts). Der Beton muss im Fluss bleiben – trotz der in die Form eingelegten, bremsenden textilen Bewehrung.

nen solche mit Grösstkorn acht Millimeter», erläutert Kai Schneider, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts. Das Hauptziel des ausgebildeten Bauingenieurs und Baustoffforschers ist aber, den Zementanteil bei Feinbetonen zu reduzieren und dadurch die Carbonbeton-Ökobilanz zu verbessern. «Es ist uns gelungen, den Anteil des Portlandzementklinkers, der in der Herstellung sehr CO₂-intensiv ist, deutlich zu drücken», so Schneider. In den Feinbeton-Bindemitteln ersetzt nun Hüttensand mit abgestufter Mahlfineinheit einen Teil des Portlandzementklinkers. Den hydraulisch aktiven Stoffen werden zudem Quarz- oder Kalkmehle kleinster Kornfraktionen zugegeben, was zu einer sehr hohen Feststoffdichte führt, wie Schneider ausführt. «Damit ist trotz niedrigem Bindemittelgehalt und folglich geringer Wasserzugabe ein ausreichendes Leimvolu-

men für gute Verarbeitungseigenschaften vorhanden.» Das Dresdner Institut hat ein praxistaugliches Kombiprodukt entwickelt, das neben Zement auch Feinstoffmaterial enthält, welches mit dem Lasergranulometer zerkleinert wurde. Der Kostenpunkt des neuartigen Grundstoffs für den Feinbeton: 300 bis 350 Euro pro Tonne.

Normen sollen den Neubau befeuern

Neubauteile aus Carbonbeton wie etwa Fassadenplatten werden im Gussverfahren hergestellt. Dabei wird die textile Carbonbewehrung zuerst in eine Form eingelegt und anschliessend der Feinbeton eingegossen. «Der Beton muss im Fluss bleiben, deshalb ist die richtige Korngrösse für den erfolgreichen Guss ausschlaggebend», sagt Schneider, der im Dresdner Laboratorium zusammen mit seinen Kollegen zahlreiche Versuchs-

reihen realisiert hat. Im Gussverfahren können beispielsweise zwei Zentimeter dicke Carbonbeton-Fassadenplatten hergestellt werden, welche die gleiche tragende Wirkung wie frühere zehn Zentimeter dicke Stahlbetonplatten haben. Ultradünne Güsse seien jedoch nur mit feinmaschiger Bewehrung zu realisieren, erläutert Schneider. Weitmaschigere Carbongitter könne man erst ab Wandstärken von vier Zentimetern einsetzen.

Carbonfasern im Beton: Das sei aber eine diffizile Partnerschaft, sagt Arbeitsgruppenleiter Marko Butler vom Institut für Baustoffe: «Leider können die Oberflächen der Carbonfasern keine «natürliche» Zuneigung zu frischem Beton entwickeln.» Und so erforscht Butler mit seinem Team denn auch die optimale Beschichtung der Multifilamentgarne, die erst einen leistungsfähigen Verbund der beiden Materialien ermöglicht. Auf



Diese Fassadenelemente an einem Dresdner Bürogebäude bestehen aus Carbonbeton.

Carbonbeton im Neubau

Vorteile

- › weniger Materialeinsatz dank schlanker Bauweise
- › reduziertes Transportgewicht erleichtert und verbilligt die Logistik

Anwendungen

- › Sandwichwandelemente mit einem Innenbauteil aus Stahlbeton und einer Aussenschale aus Textilbeton
- › Fassadenelemente
- › Versagensplatten
- › Brückenbauten
- › Verkleidungselemente für Brückenpfeiler

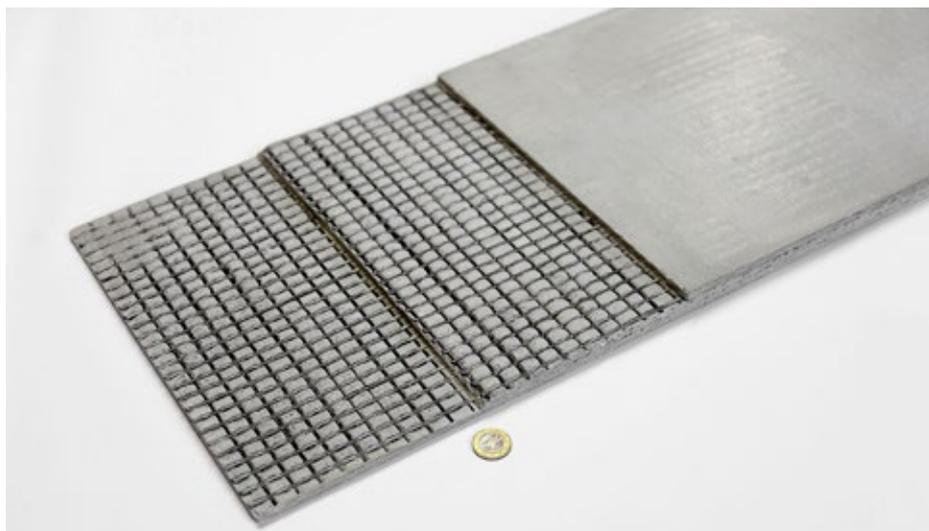
(gd)

der sogenannten Schlichte, die heute hauptsächlich aus Epoxidharz besteht, könne sich «der Beton über Formschlag verankern». Um die Brandschutzwerte der Carbonbauteile zu verbessern, arbeitet Butlers Team daran, die Kunststoffbeschichtungen in Zukunft durch nichtmineralische Stoffe zu ersetzen. Schliesslich ist die Tragfähigkeit je nach Bauteil während ein bis drei Stunden zu garantieren. Der Brandschutz sei noch ein Knackpunkt, so Butler. Die grösste Markteintrittshürde für Bauteile aus Carbonbeton ert Butler aber bei der notwendigen Zustimmung im Einzelfall, wenn eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung fehle.

Robert Zobel vom Dresdner Institut für Masivbau führt aus, was darunter zu verstehen ist: «Für jedes Carbonbeton-Bauprojekt sind heute immer wieder von neuem experimentelle Versuche zu machen, Kennwerte zu ermitteln und beispielsweise die Belastbarkeit einer Brücke nachzuweisen. Das ist ziemlich bürokratisch und kostenintensiv.» Im Klartext heisst das, dass man heute jede Brücke eigentlich zweimal baut: das erste Mal nur, um sie in Belastungstests gleich wieder zu zerstören. Am Otto-Mohr-Laboratorium arbeitet Zobel deshalb mit seinen Kollegen an der Schaffung etablierter Regeln, die eine einfache Erfüllung baurechtlicher Auflagen ermöglichen. «Normen sind die eigentliche Basis einer breiten Anwendung und Akzeptanz des Werkstoffs Carbonbeton bei Bauherren, Tragwerksplanern und Architekten», so Zobel. Erste Erfolge gibt es. Seit 2014 liegt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die Verstärkung von Stahlbeton mit Carbongelegen der Marke «Tudalit» vor.

Ertüchtigte Brücken und Decken

Mit Carbonbeton zu verstärken, ist eine naheliegende Lösung, wenn bestehende Stahlbetonbrücken oder -decken aufgrund von Nutzungsänderungen an ihre Belastungsgrenze kommen. Aufgrund des geringen Eigengewichts ist er eine ernsthafte Alternative zu herkömmlichen Methoden wie Spritzbeton oder faserverstärkten Kunststoffen. Denn bereits eine hauchdünne, lediglich einen Zentimeter dicke Schicht – respektive eine Textillage – reicht aus, um etwa die Tragfähigkeit einer normalen Decke zu verdoppeln. Dabei kommt das Laminierverfahren zur Anwendung, wie Zobel in der Betonierhalle seines Instituts erläutert: «Auf die Oberfläche der zu verstärkenden Stahlbetonbauteile, beispielsweise der Brückenunterseite, wird zuerst eine Schicht Feinbeton aufgetragen. In diese wird das textile Carbongelege eingedrückt und erneut eine Schicht Feinbeton aufgetragen.» Diese könne dann als Abschlusschicht oder als Trägerschicht für eine weitere Lage Textilbewehrung dienen, so Zobel. «Gemäss der Zulassung dürfen bis zu vier Tudalit-Lagen verwendet werden.» FORTSETZUNG AUF SEITE 28



Das Innenleben eines äusserst dünnen Verbundwerkstoffs: Carbonbeton für Verstärkungen entsteht Schicht um Schicht im Laminierverfahren.

Bild: Ulrich van Strijdonk, TU Dresden



Bilder: Gabriel Diezi



Auf dem in die erste Feinbetonschicht eingearbeiteten textilen Carbongelege wird die zweite Feinbetonschicht aufgetragen (oben). Nach dem Abziehen (unten) können bis zu drei weitere Textillagen folgen.

Carbonbeton-Verstärkungen

Vorteile

- geringes Eigengewicht bei gleicher Tragfähigkeit wie Spritzbetonlösungen
- Verstärken statt Abreißen schont die Ressourcen und erhält die originale Bausubstanz
- kurze Bauzeiten, einfache Handhabung und geringere Kosten

Anwendungen

- Instandsetzung von Brücken
- Verstärken von Silos
- Decken- und Stützenverstärkungen bei Geschäftshäusern
- Verstärkung von Schalentragwerken

(gd)

Die Rad- und Fussgängerbrücke in Naila, Bayern, wurde 2016 mit Carbonbeton saniert.



Bild: Annmar Al-Jamous

Von Labor- und Praxistests

Ebenfalls im Laminierverfahren fertigen Mitarbeiter des Otto-Mohr-Laboratoriums jeweils die Textilbetonplatten, aus denen sie anschliessend Probekörper für ihre Versuchsreihen sägen. Zobel: «Bei unseren experimentellen Untersuchungen testen wir die Biegezugfestigkeit ebenso wie die Druckfestigkeit des Verbundwerkstoffs.» Um die entsprechenden Messwerte zu ermitteln, führen die Wissenschaftler in der Prüfhalle normierte

Dehnkörper- und Auszugsversuche in Serie durch. In den Testanlagen wird die angewendete Kraft kontinuierlich erhöht. Da zeigt sich dann, wie belastbar ein gewisser Carbonbetontyp ist und wann erste Risse im Probekörper dessen Versagen ankünden. Risse seien per se nichts Schlechtes, führt Zobel aus: «Der Verbundwerkstoff funktioniert nur, wenn sich bei ihm unter Belastung Risse bilden. Die Kraft kann erst dann von der Carbonbewehrung aufgenommen werden.» Am Dresd-

ner Institut laufen aber auch Langzeitversuche als Vorbereitung der angestrebten Normierung, so etwa Dauerstandtests mit Versuchszeiten von über 200 Tagen, um die Ermüdungsfestigkeit von gewissen Carbonbeton-Bauteilen zu ermitteln.

Seine Praxistauglichkeit hat der Werkstoff aber längst bewiesen. Mit Carbonbeton saniert wurden unter anderem das Tonnengewölbe des sächsischen Finanzamts (2008), zwei Zuckersilos in Uelzen, Niedersachsen (2012 und 2015) sowie eine Rad- und Fussgängerbrücke in Naila, Bayern (2016). Aber auch Neubau-Anwendungen gibt es bereits. So wurden beispielsweise 2012 im thüringischen Kahla ein Pavillon und 2015 im bayrischen Albstadt-Ebingen eine Fuss- und Radwegüberführung aus Carbonbeton realisiert. «Im Moment sind es viele, viele Einzelfälle, die zeigen, was möglich ist. Aber der grosse Durchbruch braucht eine Richtlinie», sagt C³-Konsortialführer Manfred Curbach. «Und irgendwann wird dann ein Carbongelege für das Bauwesen ganz normales Material sein.» ■

Weitere Informationen: www.bauen-neu-denken.de

Bild: Jörg Singer



In der Prüfhalle des Dresdner Instituts für Massivbau läuft ein Test zur Ermittlung des Auszugswiderstands von Carbonbeton (oben). Sukzessive werden die Kräfte erhöht, bis der Probekörper reisst (rechts).



Bild: Gabriel Diezi



51028

DIE GELBE WANNE®

SikaProof® FRISCHBETONVERBUNDABDICHTUNG: DIE INNOVATIVE LÖSUNG FÜR QUALITATIV HOCHWERTIGE UND DAUERHAFT WASSERDICHTE BAUWERKE

Die Gelbe Wanne® ist die optimale Ergänzung zur Weissen Wanne. Eine innovative Lösung für Abdichtungen, speziell bei höchsten Anforderungen an die Dichtigkeit.

SikaProof® A ist eine hochflexible vlieskaschierte FPO Abdichtungsbahn mit gitternetzartigem Hinterlaufschutz. Durch die Penetration des Frischbetons ins Vlies entsteht ein vollflächiger dauerhafter mechanischer Verbund.

Neu: SikaProof® P als nachträglich applizierte Abdichtung. Die hochflexible FPO Abdichtungsbahn mit gitternetzartigem Hinterlaufschutz. Die optimale Ergänzung zum bestehenden und bewährten SikaProof® A.