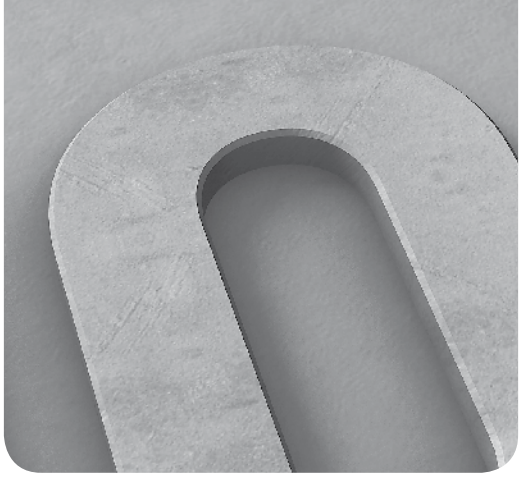
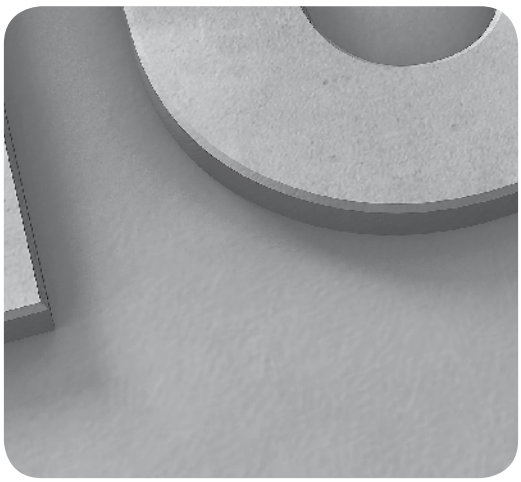
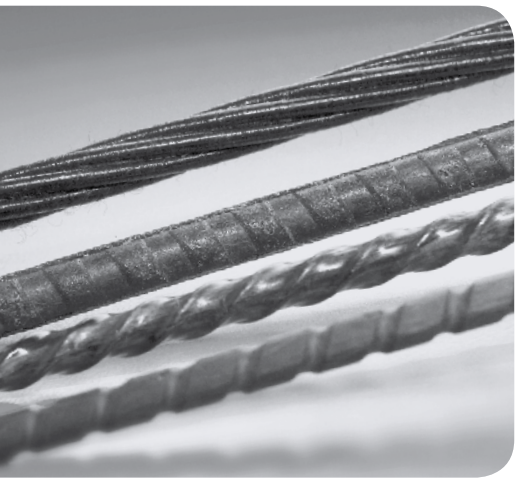




10. CARBON- UND TEXTILBETONTAGE

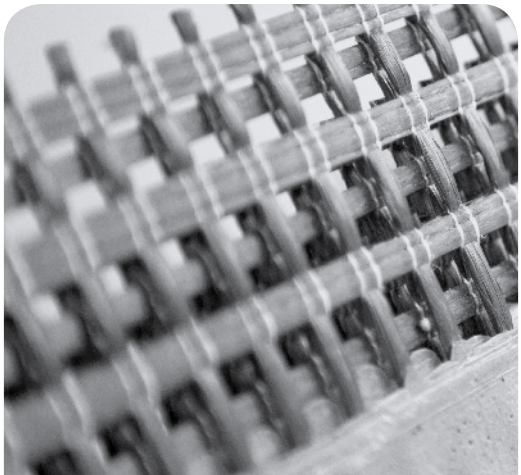


25. UND 26. SEPTEMBER 2018 DRESDEN

TAGUNGSBAND

C3 carbon concrete composite

TUDALIT®
Leichter bauen – Zukunft formen

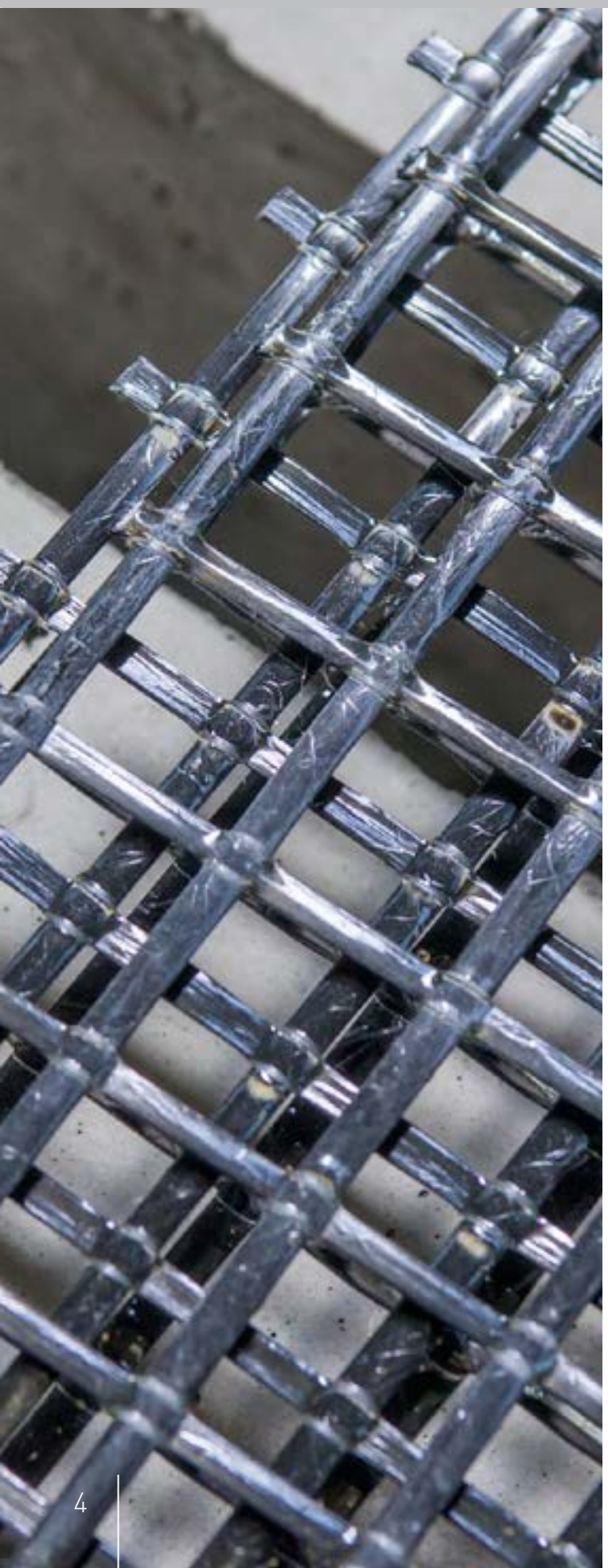


10. CARBON- UND TEXTILBETONTAGE

DIE WICHTIGSTEN INNOVATIONEN SIND JENE, DIE DAS DENKEN VERÄNDERN.

© Prof. Dr. Hans-Jürgen Quadbeck-Seeger
(*1939), deutscher Chemiker, Mitglied der Enquête-Kommission für Gentechnik des Deutschen Bundestages, wurde für sein Engagement mit dem Bundesverdienstkreuz ausgezeichnet

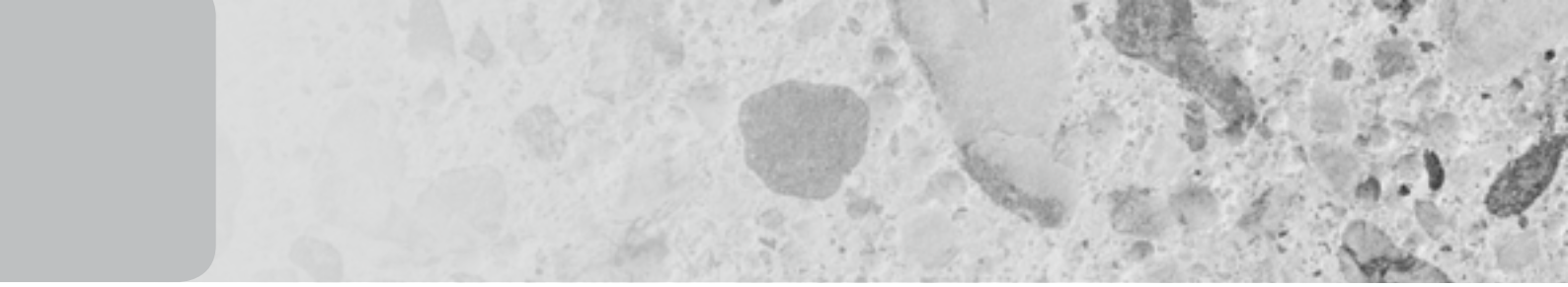
Inhalt



Grußwort 6
Grußwort 8
Das Programm-Komitee....10

VORTRÄGE TUDALIT 15

ALLES CARBON ODER WAS
Im Spannungsfeld zwischen Baukunst, Technologie und holistischen Prozessen....16
Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Carbonbeton 18
Beanspruchungsorientierte Textilbewehrungen 20
Befestigungsysteme für großformatige, textilbewehrte Betonfassadenplatten nach Z-21.8-2067....22
Carbonbeton in der Betoninstandsetzung – Baustellenberichte und neue Anwendungsmöglichkeiten 24
Carbon-fasern – Optionen für Leichtbau in Architektur und Bauwesen....26
Carbon- und Textilbewehrung für 3D-gedruckten Beton....28
Charakterisierung textilbewehrter Betone mittels photogrammetrischer Messtechnik 30
CPC - mit Carbon biaxial vorgespannte Betonplatten – Industriell hergestellt – individuell konfektioniert 32
Das Sicherheitsniveau von realisierten Textilbetonbauteilen 34
Einbauteile für Carbonbeton-Doppelwände 36
Entwicklung von Prüfmethoden zur Bestimmung der Zugfestigkeit von textilen Bewehrungen 38
Ermittlung von Materialkennwerten für die Bemessung von textilbewehrten Bauteilen 42
Experimentelle Untersuchungen zur Querkraft-tragfähigkeit von dünnwandigen Carbonbetonbauteilen 44
Serienreife modulare Fertigteilgaragen aus Textilbeton.... 46
Fugenprofile in Carbonfaser-Verbundbauweise werden weltweit in Industrie- und Parkhausböden eingesetzt.... 48
Herstellung dreidimensionaler mineralisch getränkter Carbonfaserbewehrungen | rebar^{M} 52
Konstruktions- und Verfahrenstechniken für mehrfach gekrümmte Schalen aus Carbonbeton 54
Neue Anwendungen und Lösungen für Architektur, Kunst, Design....56
Sanierung Hyparschale Magdeburg....58
Segmentierte Flächentragwerke aus Carbonbeton 60
Tastversuche zur linienförmigen Lasteinleitung über ein Stahl-Carbon-Einbauteil 62



Textilbetonforschung in Vietnam 66
Textilbewehrter UHPC – Mechanische Eigenschaften und Tragverhalten als Aufbeton 68
Untersuchungen zum Biegetragverhalten dünnwandiger Tragelemente aus carbon-bewehrtem UHPC.....70
Zustimmung im Einzelfall – Textilbeton in der Baupraxis.....72

VORTRÄGE C³ 77

V1.1 - Innovative Fertigungstechnologie zur Herstellung von vorgeformten textilen Bewehrungen 78
V1.2 - Das Arbeitspapier Bemessung – Ein Beitrag zur Tragwerksplanung mit Carbonbeton 80
V1.3 & 3.2 - Partikelemissionen aus dem Trennen von Carbonbeton.....82
V1.5 - Abbruch, Rückbau und Recycling von C³-Bauteilen..... 84
V2.1 - Dauerstand- und Ermüdungsverhalten von Carbonbeton 86
V2.2 - Dauerhaftigkeit von C³-Bemessungskonzept, Nachweisverfahren, Prüfmethoden..... 88
V2.3 - Brandverhalten von Carbonbeton..... 90
V2.4 - Garnstrukturen mit verbesserter Kraft-übertragung durch Formschluss..... 94
V2.6 - Anorganisch gebundene Bewehrungsstrukturen 96
V2.7 - Nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton.....98
V2.9 - Modulare Bausysteme Ingenieurbau 100
V3.1 - CUBE – Ergebnishaus des C³-Projekts.....102
V4.1 - Robotergestützte Fertigung von Bewehrungsstrukturen für das Bauen mit Carbonbeton.....104
V4.2 - Vorgespannter Carbonbeton.....106
V4.7 - Planungstool – Variantenkonfiguration im visualisierten Raum 108
V4.9 - Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken durch dünne C³-Schichten 110
V4.12 - Instandsetzung von geschädigten Betonfahrbahndecken mit Carbonbeton 112
V4.13 - Carbon-Concrete-Heating-Too..... 114
V4.14 - Bauelemente aus Carbonbeton mit integrierten bauklimatischen Funktionen 116
V4.15 - Anforderungen an marktreife anorganisch gebundene Carbonbetonbewehrungselemente ... 118
V-I.3 - Carbon-Carbon Strukturen zur Betonbewehrung.....120
V-I.4 - Interaktion mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung.....122
V-I.5 - Entwicklung von Betonimplantaten für den Einsatz in dünnwandigen Carbonbeton-Fassadenelementen 124
V-I.6 - Brückenkappen mit Carbonbewehrung 126
V-I.10 - Carbonbetonherstellung mittels Infusion, Injektion und Prepreg 128
V-I.11 - Carbonbetonstab.....130
V-I.13 - Branchenübergreifender Einsatz von recycelten Carbonfasern aus C³-Bauteilen.....132
V-I.14 - Tragfähigkeit von Carbonbeton-Bauteilen mit Querkraftbewehrung 134
W - Wirtschaftliche Herausforderungen der Wertschöpfungskette von Carbonbeton 136

POSTER-PRÄSENTATIONEN C³ 139

V-I.12 - Maschinelle flächendeckende Applikation von Abstandhaltern auf Beweh-rungsgelege.....140
Maßgeschneiderte Oberflächen-modifizierung von Verstärkungsfasern für den Carbonbeton mittels Oxifluorierung.....142
Carbonbeton-Pavillons „Tiny House“: klare Formen, mobile Module.....144
V. Fraas Solutions in Textile setzt mit SITgrid® 041 neue Standards bei Carbonbeton....146
Übersicht der C³-Partner 151
Impressum.....155
Notizen 156

INITIIERT DURCH
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
zwanzig20

Grußwort

Dirk Hilbert, Oberbürgermeister der Landeshauptstadt Dresden

Foto © Michael Schmidt

Innovation made in Dresden

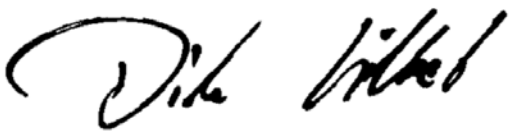
Stellen Sie sich vor, die Dresdner Baumeister hätten in der Vergangenheit schon die Möglichkeiten gehabt, über die Sie heute verfügen. Wie würde Elbflorenz aussehen, wenn im Barock Carbon- und Textilbeton eingesetzt worden wären? Unser Bild von Dresden wäre heute sicherlich ein ganz anderes.

Natürlich hat beim Wiederaufbau des barocken Dresdens der Sandstein eine tragende Rolle gespielt. So können wir uns in die Zeit Augusts des Starken zurückversetzen und uns für kommende Projekte inspirieren lassen. Dresden ist dafür genau die richtige Stadt, denn hier treffen alt und neu zusammen.

Dass die Carbon- und Textilbetontage – vormals als Konferenz des C³ - Carbon Concrete Composite e.V. und der Anwendertagung des TUDALIT e.V. – nun ihr zehntes Jubiläum in Dresden feiern, kommt nicht von ungefähr. Schließlich bildet die Grundlagenforschung an der Technischen Universität Dresden und der RWTH Aachen in den 1990er-Jahren die Basis für den Erfolg von Carbon- und Textilbeton. Heute bündelt Deutschlands größtes Bauforschungsprojekt C³ in Dresden die Kompetenz von über 170 Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Verbänden. Hinzu kommt, dass die Landeshauptstadt nicht nur Standort für diese Akteure ist, sondern gleichzeitig ein idealer Ort zum Erforschen, Erproben und Verbessern von urbanen und technischen Innovationen.

Als Smart City beschäftigt sich Dresden mit den Anforderungen und Möglichkeiten der Stadt der Zukunft. Dabei spielen auch die Erforschung und zukünftige Anwendung von Carbon- und Textilbeton eine große Rolle. Das Carbonbetongebäude CUBE, das in den nächsten Jahren am Zelleschen Weg entstehen wird, ist ein ausgezeichnetes Beispiel. Gerade angesichts wachsender Städte und schwindender Ressourcen wird energieeffizientes Bauen und Wohnen immer wichtiger. Das gilt auch für den Straßenbau. Trotz der zunehmenden Digitalisierung sind die Straßen noch immer die Adern unserer Stadt und Stadtplaner, Autofahrer und Anwohner profitieren von Materialien, die ressourcenschonend und lange haltbar sind.

Ich freue mich, dass Sie sich hier in Dresden diesem spannenden Thema widmen und wünsche Ihnen viel Erfolg bei Ihrer Tagung und einen angenehmen Aufenthalt. Sie werden sehen: Dresden kann nicht nur mit seiner Vergangenheit inspirieren, sondern bietet auch für die Zukunft viele Perspektiven.



Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Dirk Hilbert
Oberbürgermeister
der Landeshauptstadt Dresden

Grußwort

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach *(links)* **und Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ulrich Assmann**

Foto © Sven Hofmann

Die Zukunft des Bauens mitgestalten

Mit den 10. Carbon- und Textilbetontagen setzen wir das überaus erfolgreiche Tagungsformat aus dem vergangenen Jahr fort und freuen uns in diesem Jahr über dieses ganz besondere Jubiläum.

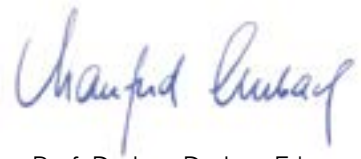
Gemeinsam blicken wir auf eine richtungsweisende Idee zurück: Zu Beginn der 1990er-Jahre wurden in Deutschland verschiedene Untersuchungen zu alternativen Bewehrungsmaterialien intensiviert. Mit dem Ansatz, technische Textilien als Substitution des Bewehrungsstahls zu verwenden, war der Grundstein für den Carbon- und Textilbeton gelegt. Ein maßgeblicher Anteil an der nachfolgenden Entwicklung in Deutschland wurde in den Jahren 1999 bis 2011 – im Rahmen zweier Sonderforschungsbereiche – an der TU Dresden und der RWTH Aachen geleistet.

Der gegenwärtige Forschungsstand und die umfangreichen Erfahrungen aus der Praxis bestätigen, dass Carbon- und Textilbeton eine adäquate Alternative zu Stahlbeton darstellen kann. So konnten eine stetige Verbesserung des Materials sowie innovative Errungenschaften im Bereich der Produktion und Verarbeitung erreicht werden. Außerdem wurden durch umfangreiche Untersuchungen wichtige Fragen zu den Themenbereichen Recycling und Arbeitsschutz beantwortet. Zudem belegen mittlerweile zahlreiche Referenzobjekte die positiven Leistungsmerkmale des Verbundwerkstoffs, so dass wir uns Schritt für Schritt dem großen Ziel nähern, Carbon- und Textilbeton fest im Markt zu etablieren.

Mit dem bisherigen Wissensstand und einem großen Spektrum an Partnern, wie Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Verbänden sowie dem in den letzten Jahren deutlich verbesserten Wissenstransfer blicken wir mit Freude und Spannung auf die kommenden Monate.

Freuen Sie sich währenddessen auf eine Konferenz mit 50 Vorträgen, Posterpräsentationen und zahlreichen Ausstellern, die die neusten Erkenntnisse aus der Praxis und Wissenschaft präsentieren. Der vorliegende Tagungsband zeigt, an welchem Punkt der Entwicklung wir derzeit stehen und gibt einen Ausblick, was darüber hinaus noch alles möglich sein wird.

Wir wünschen Ihnen einen regen Austausch und konstruktive Gespräche mit den wichtigsten Akteuren der Carbon- und Textilbetonbranche.



Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.
Manfred Curbach
C³–Carbon Concrete Composite e. V.
Vorstandsvorsitzender

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Ulrich Assmann
TUDALIT e. V.
Vorstandsvorsitzender

Das Programm-Komitee

Dieter Babiel
Hauptverband
der Deutschen
Bauindustrie e.V.

Jürgen Feix
Universität Innsbruck
Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften
Arbeitsbereich
Massivbau und Brückenbau

Gerhard Breitschaft
Deutsches Institut
für Bautechnik

Oliver Fischer
TU München
Lehrstuhl für Massivbau

Harald Budelmann
TU Braunschweig
Institut für Baustoffe,
Massivbau und Brandschutz

Josef Hegger
RWTH Aachen
Fakultät für
Bauingenieurwesen

Chokri Cherif
TU Dresden
Institut für Textilmaschinen
und textile Hochleistungs-
werkstofftechnik

Klaus Holschemacher
HTWK Leipzig
Lehrbereich Stahlbetonbau,
Brückenbau, Massivbau

Ralf Cuntze

Jan Knippers
Universität Stuttgart
Institut für Tragkonstruktionen
und Konstruktives Entwerfen

Manfred Curbach
TU Dresden
Institut für Massivbau

Christian Kulas
solidian GmbH

Viktor Mechtcherine
TU Dresden
Institut für Baustoffe

Luc Taerwe
Universität Gent, Belgien
Department of Structural Engineering

Peter Offermann
TUDALIT e.V.

Roy Thyroff
V. FRAAS
Solutions in Textile GmbH

Jens Ridzewski
IMA Material-
forschung und
Anwendungstechnik
GmbH

Udo Wiens
Deutscher Ausschuss für
Stahlbeton e.V.

Frank Schladitz
C³ – Carbon Concrete
Composite e.V.

Mike Schlaich
TU Berlin
Fakultät VI
Bauen Planen Umwelt

Werner Sobek
Werner Sobek
Stuttgart GmbH & Co. KG

ANZEIGE

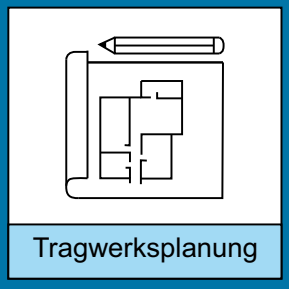
Das Haus der Astronomie –
mit Baustoffen von
HeidelbergCement
FORM
FARBE
FUNKTION
www.heidelbergcement.de
HEIDELBERGCEMENT
ECHT. STARK. GRÜN.
Haus der Astronomie, Heidelberg
Architekten Bernhardt + Partner, Darmstadt

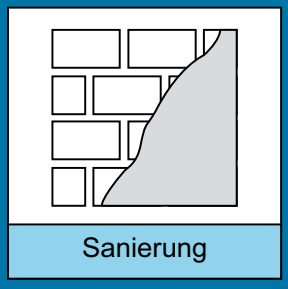
IBB

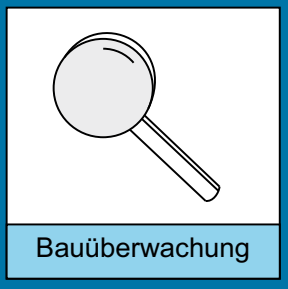
Ingenieurbüro Baustatik Bautechnik

Ihr Partner für Beratung, Planung und Bemessung von Textil- und Carbonbetonprojekten
–
bei Neubauteilen und Sanierung im Bestand.

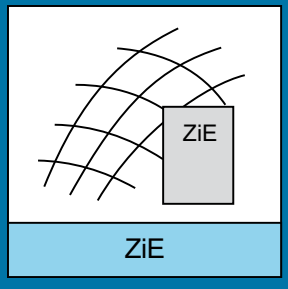
Wir helfen Ihnen gerne bei der Umsetzung Ihrer Ideen!


Tragwerksplanung

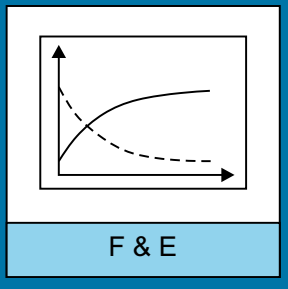

Sanierung


Bauüberwachung

Consulting



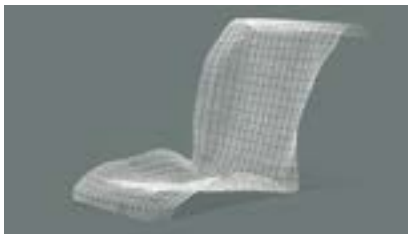
ZiE

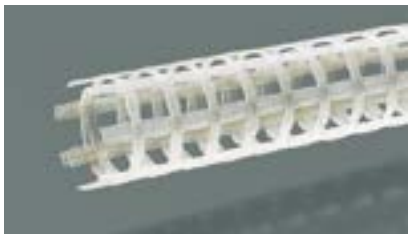

F & E

IBB Ingenieurbüro Baustatik Bautechnik
Altcoschütz 17 | D-01189 Dresden
Tel: +49 351 401 96 02
info@ibb-wilhelm.de | www.ibb-wilhelm.de

ANZEIGE

solidian®





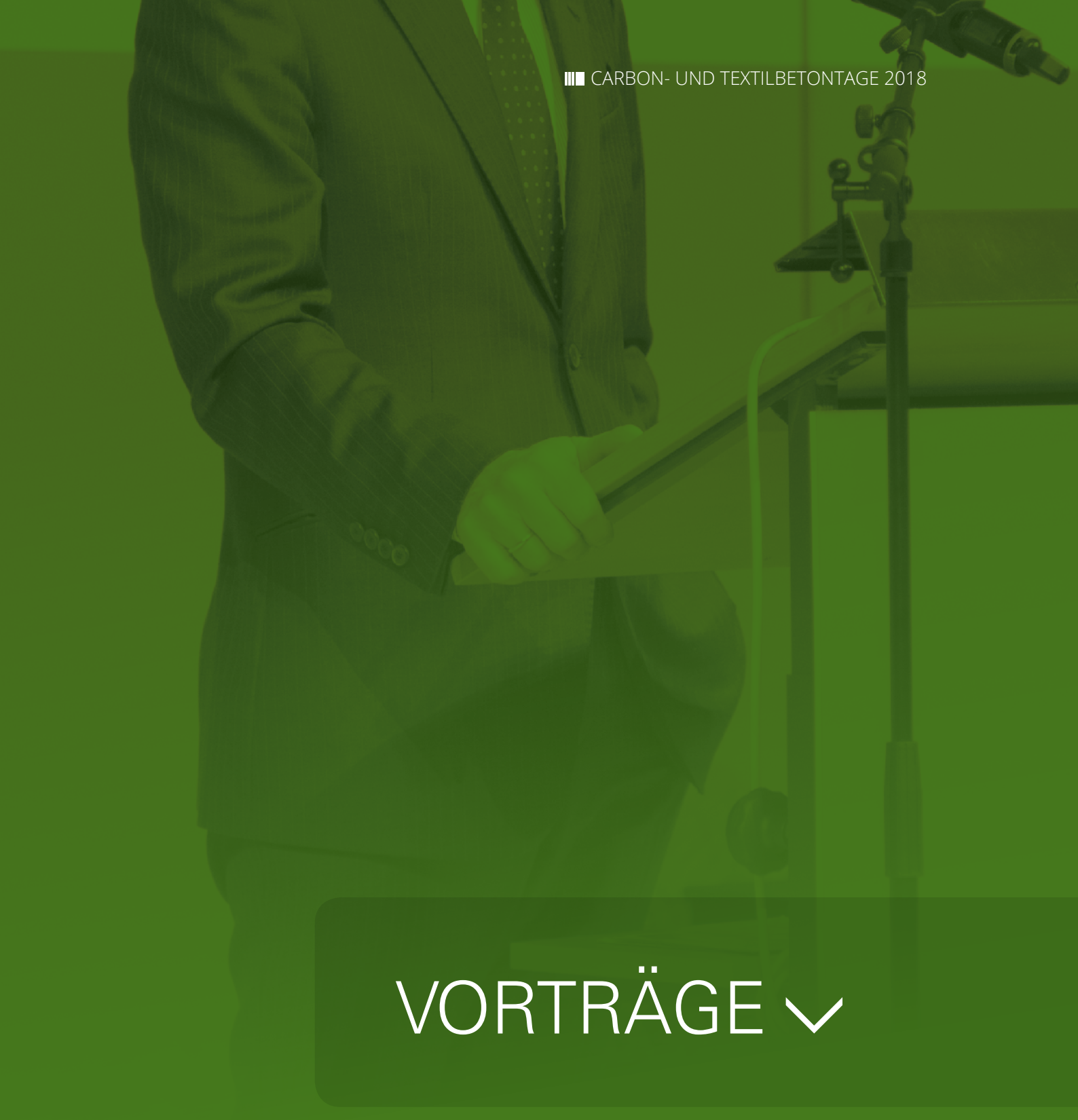
Beton hat einen neuen Partner

Produktlösungen und technische Dienstleistungen von solidian weisen neue Wege im modernen Betonbau. Korrosionsfreie Carbon- und Glasfaserbewehrungen bieten innovative Möglichkeiten zum leichten, wirtschaftlichen und ökologisch nachhaltigen Bauen mit Textilbeton. Dabei betreut solidian alle Projekte und Produktentwicklungen auf Wunsch mit umfassendem Service von Beratung über Berechnung bis zur Unterstützung vor Ort.

Mehr zu Technologie, Anwendungen und Referenzprojekten finden Sie unter **www.solidian.com**

- Mehr architektonische Freiheit in Form und Konstruktion
- Innovative Produktlösungen im Fertigteilbereich
- Vielseitige Einsatzmöglichkeiten von der Fassadenplatte bis zum Brückenbau
- Dauerhafte und wartungsfreie Beton-Sanierung

Führend in textiler Bewehrung und beim Bauen mit Textilbeton.



VORTRÄGE

TUDALIT®

Leichter bauen – Zukunft formen

ALLES CARBON ODER WAS…
Im Spannungsfeld zwischen Baukunst, Technologie und holistischen Prozessen

Carbon Pavillon · Foto/Visualisierung © Gerd Priebe, GPAC

Schalentragwerke sind keine Erfindungen unserer Zeit. Trotz ihrer enormen Tragfähigkeit haben sich Schalentragwerke bis heute nicht durchsetzen können. Doch jede Ingenieur- und Architektengeneration erarbeitet neue Lösungen für die Herausforderungen ihrer Zeit. Neu ist heute das Material: CARBONBETON. Erste Anwendungen versprechen einen neuen Typus moderner und leichter Gebäude. Hier liegen die Herausforderungen und Potentiale nah beieinander: Es gilt, geeignete Methoden und Verfahren zur Gestaltung freier Formen zu entwickeln und diese mit flexiblen Industrieprozessen effektiv herzustellen.

Das Berliner Institut für Bevölkerung und Entwicklung geht davon aus, dass bereits im Jahr 2025 die Weltbevölkerung 8 Milliarden Menschen betragen wird. Damit steigt der Bedarf an vielfältigen Ressourcen, die wir zum täglichen Leben benötigen. Die Folge daraus könnte sein, dass die Kosten für diese Ressourcen steigen. Im Bauwesen können wir dieser Entwicklung mit neuen Lösungen, Formen, Konstruktionen und Herstellungsverfahren, die deutlich weniger Ressourcen benötigen und erheblich leistungsfähiger sind, begegnen.

Daraus hat sich das Leitmotiv – Mehr mit weniger – entwickelt: mehr Qualität, mehr Konsistenz – weniger Ressourcenbedarf, weniger CO^2-Belastung.

Leichtbaukonstruktionen, und damit auch Schalentragwerke, sind nicht nur bezüglich ihres Gewichtes, sondern auch ihres Volumens zu betrachten. Entmaterialisierte Baustoffe für die Konstruktionen auf der einen Seite und Ressourcenzunahme für Dämmfunktionen auf der anderen Seite sind keine Antwort auf die Herausforderungen unserer Zeit.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Fragen:

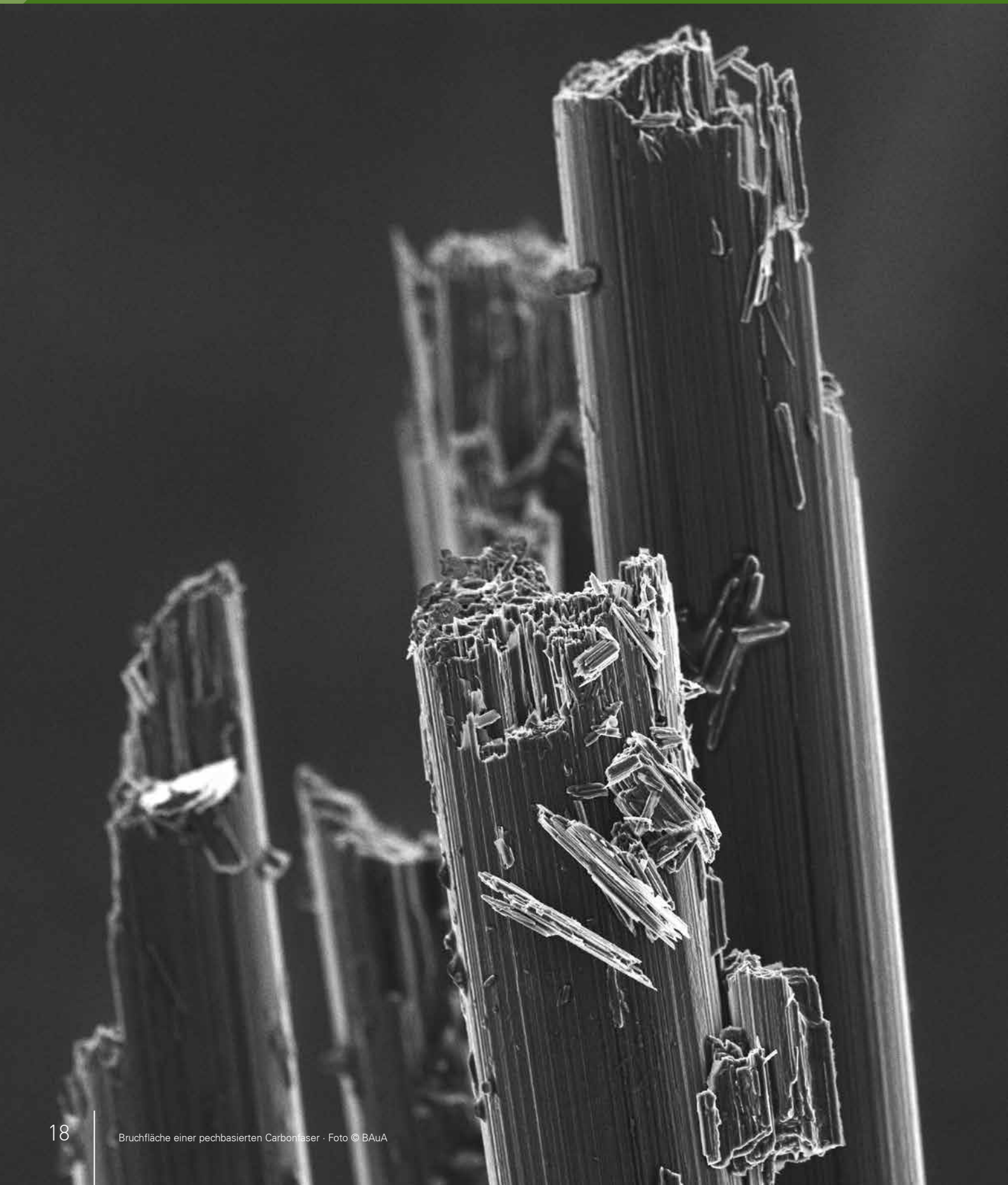
- Welche Funktionen erhalten raumabschließende Wände in Zukunft?
- Bleibt es bei der Trennung zwischen horizontalen und vertikalen Bauteilen oder verschmelzen diese?
- Wer sind die Teilnehmer des neuen Bauens?

Die Erfahrungen bei der Verwirklichung des CARBON PAVILLON zeigen, dass künftige Gebäude vom Entwurf, über die Herstellung bis zum Recycling mit einem ganzheitlichen Ansatz betrachtet werden müssen. Die digitale Be- und Verarbeitung von Daten führt zu gemeinsamen Schnittstellen, die ein effektives und qualitätssicherndes Arbeiten bis in die Herstellungsverfahren gewährleisten. Damit haben schlanke Design to Production Prozesse erheblichen Anteil an der Wirtschaftlichkeit objekt- und kundenspezifischer Bauteillösungen.

Der verwirklichte **CARBON PAVILLON** mit 5,0 m Durchmesser ist ein Beispiel, mit neuen technologischen Möglichkeiten interessante und zukunftsfähige Leichtbaulösungen zu schaffen. Die Materialdicke des **CARBONBETON**s beträgt 25mm, an den Verbindungsfugen 50mm. Der formschöne Baukörper wird in den nächsten Jahren als Studienobjekt zur Beobachtung des Trag-, Verformungs- und Schwingungsverhaltens bei alltäglichen Belastungen sowie zum Monitoring möglicher Rissbildungen dienen. Während dieser Zeit wird der **CARBON PAVILLON** als Anschauungsobjekt und Infolounge für Interessierte, Fachkollegen, Bauleute und Studierende zur Verfügung stehen. Mittelfristig dient der Leichtbaukörper als vorbereitendes Objekt zur Herstellung einer Wohnlinse mit einem Durchmesser von 18,0 m. Diese soll weitere technologische Entwicklungen beinhalten: wie z.B. eine holographische Außenbeschichtung, integrierte Leuchtfäden und eine hochwirksame Flächentemperierung.

Gerd Priebe steht neuen Entwicklungen und Herausforderungen offen und neugierig gegenüber. Seit fast 10 Jahren schafft der ambitionierte Architekt wunderbare Entwürfe aus Carbonbeton, die darauf warten, realisiert zu werden. Er ist Mitglied in verschiedenen Forschungskooperationen. Seine langjährigen Auslandserfahrungen schärften seinen Blick für das Wesentliche, was sich auch in seinen Arbeiten widerspiegelt. Im Sommer 2018 wurde der 1. Baukörper nach seinem Entwurf – der CARBON PAVILLON – in Dresden verwirklicht. Gerd Priebe ist Sachverständiger für Nachhaltiges Bauen und Querdenker.

Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Carbonbeton



Bruchfläche einer pechbasierten Carbonfaser · Foto © BAuA

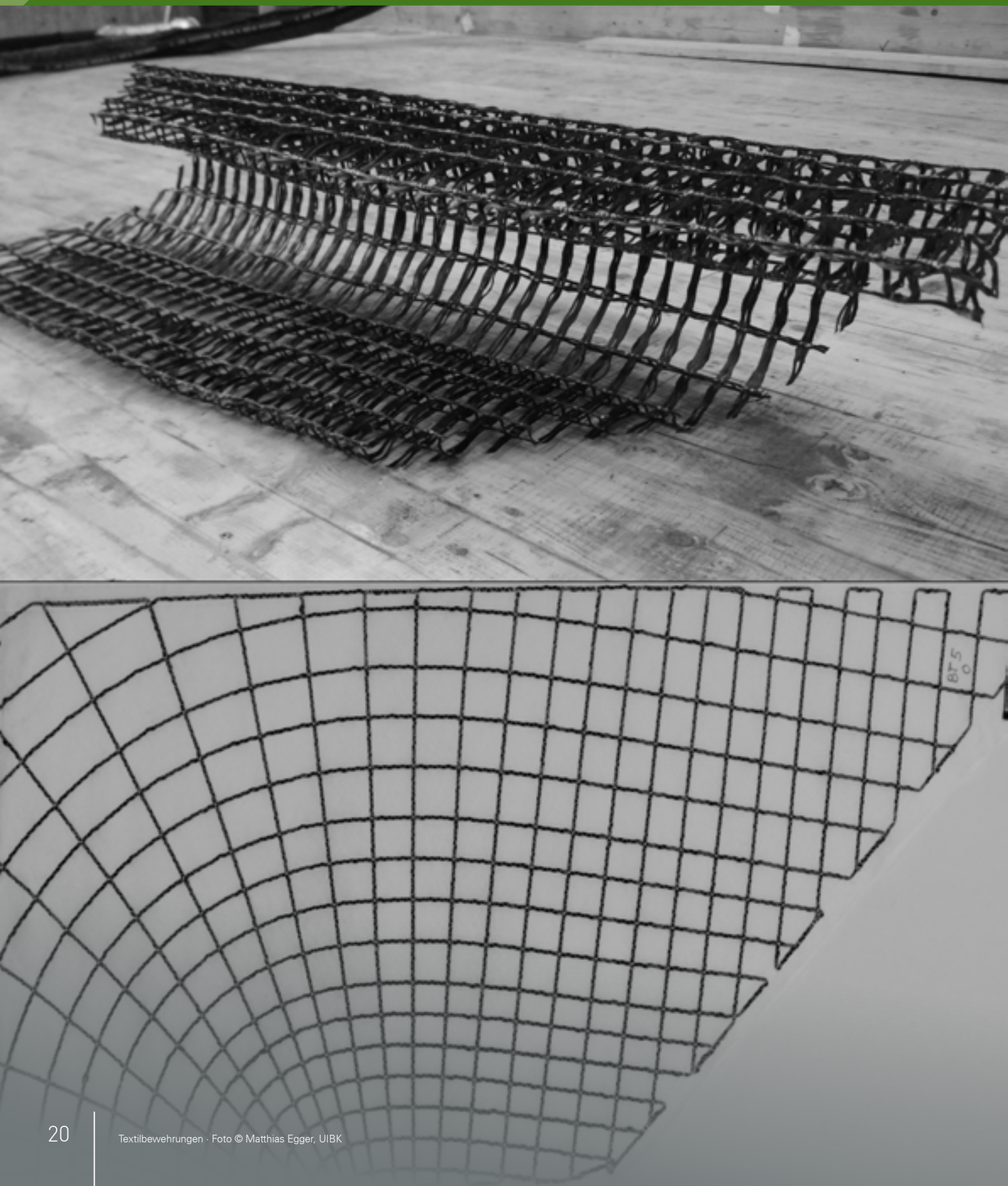
Das Einatmen von Staub am Arbeitsplatz ist immer noch eine der Hauptursachen für berufsbedingte Erkrankungen der Atemwege, Lungen, des Rippen- und Bauchfells. Die Bauwirtschaft ist hiervon in überdurchschnittlichem Maße betroffen. Trotz Asbestverbot und staubmindernder Maßnahmen in der Gefahrstoffverordnung, wie das Verbot des trockenen Kehrens und die Verpflichtung, Bearbeitungsgeräte mit einer wirksamen Absaugung zu versehen, zeigt sich bei der Anzahl der Berufskrankheiten bislang keine deutliche Besserung. Ursache sind vor allem die langen Latenzzeiten von bis zu 40 Jahren zwischen Belastung und Erkrankung. Es ist daher ein zentrales Anliegen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), innovative Werkstoffe wie Carbonbeton von vornherein anwendungssicher zu gestalten und zu verhindern, dass altbekannte Gefährdungen wieder in neuem Gewand in der Arbeitswelt auftauchen.

Der Wunsch, eine Vielzahl arbeitsbedingter Erkrankungen durch Asbest und silikogene Stäube wissenschaftlich aufzuklären, hat erhebliche Fortschritte in der Partikeltoxikologie bewirkt. Ein wichtiger Durchbruch gelang Ende der siebziger Jahre mit dem „Faserprinzip“: lang, dünn, biobeständig. Durch Einatmen gelangen feine Staubpartikel in die Lungenbläschen (Alveolen) und werden dort von Fresszellen (Makrophagen) unschädlich gemacht (phagozytiert). Dieses gelingt jedoch nicht bei lungengängigen Fasern, deren Länge in der Größenordnung der Fresszellen liegt. Sie durchstechen die Fresszellen und können in das Rippen- und Bauchfell wandern. Biobeständige Fasern reichern sich im Körper an und führen langfristig zu Entzündungen und Krebserkrankungen. Dies erklärt die fatale Wirkung eingeatmeter Asbestfasern. Forschungsvorhaben, u. a. der BAuA, belegten dann die Gültigkeit dieser Hypothese auch für andere lungengängige, biobeständige Faserstäube, z. B. aus keramischen Fasern.
Carbonfasern wurden in dieser Hinsicht nicht auffällig, da ihre Faserdicke mit etwa 8 Mikrometern im Regelfall deutlich oberhalb des für eine Lungengängigkeit kritischen Bereiches liegt. Erst durch die viel dünneren Nanocarbonröhrchen (CNT) steht die Frage nach einer asbestartigen Wirkung freigesetzter Faserstäube aus Kohlenstoff seit etwa 10 Jahren erneut auf der Agenda des Arbeitsschutzes. Die inzwischen gewonnenen toxikologischen Erkenntnisse sind komplex. Während einige starre CNT-Fasertypen mit Durchmessern im oberen Nanometerbereich im Tierexperiment eine deutliche kanzerogene Wirkung zeigen, ist dies bei eher flexibleren Faserarten im unteren Nanometerbereich nicht der Fall. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das toxikologische Faserprinzip wahrscheinlich um den Aspekt „Rigidität“ ergänzt werden muss. Dieses „erweiterte Faserprinzip“ ist derzeit Gegenstand von intensiven Forschungsaktivitäten der BAuA.

Im vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt ELSE zur Entwicklung von Modulen zur Kurzzeitenergiespeicherung in Kooperation mit Projektpartnern aus dem Netzwerk NanoCarbon haben wir durch Zufall entdeckt, dass auch eine bestimmte Art von „klassischen“ Carbonfasern bei der Bearbeitung verstärkter Werkstoffe lungengängige Faserstäube mit kritischen Dimensionen in gesundheitlich relevanter Größenordnung freisetzt. Dieses hängt offensichtlich mit dem spezifischen Bruchverhalten der Fasern zusammen, das wir nun in weiteren Vorhaben untersuchen wollen. Ziel ist herauszufinden, für welche Arten von Carbonfasern eine gesundheitlich relevante Faserfreisetzung zu erwarten ist. Wie auch bei den Nanocarbonröhrchen wird dies auf eine notwendige Differenzierung der Fasertypen hinauslaufen. Diese ist dann Voraussetzung für Empfehlungen zur anwendungssicheren Gestaltung von Materialinnovationen, wie z. B. Carbonbeton, die auch im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung nachfolgende Generationen nicht mit negativen Folgen belasten.

Dr. Rolf Packroff
ist Wissenschaftlicher Leiter des Fachbereichs „Gefahrstoffe und Biologische Arbeitsstoffe“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Er koordiniert die Forschungsaktivitäten zur Chemikaliensicherheit und deren Vernetzung mit Politik und Praxis. Als Mitautor einer kürzlich veröffentlichten Leitlinie der Weltgesundheitsorganisation zum Schutz der Arbeitnehmer vor möglichen Risiken von hergestellten Nanomaterialien greift er auf langjährige Erfahrungen aus der Rechts- und Regelsetzung für Asbest und künstliche Mineralfasern zurück.

Beanspruchungsorientierte Textilbewehrungen



Textilbewehrungen · Foto © Matthias Egger, UIBK

Der Verbundwerkstoff Textilbeton, bestehend aus Feinkornbeton und textilen Bewehrungen, ermöglicht den Bau von dauerhaften, leistungsstarken, leichten und ressourcenschonenden Konstruktionen. Ein Kennzeichen der verwendeten Hochleistungsfasern sind dabei deren anisotrope Materialeigenschaften. Ein optimierter und wirtschaftlicher Materialeinsatz der teuren High End-Fasern wird durch einen belastungs- und formorientierten Materialeinsatz möglich. Auf Basis der Technologie der klassischen Stickerei ist man in der Lage, diese Anforderungen sowohl für 2D- als auch 3D-Bewehrungsstrukturen erfüllen zu können.

In den letzten Jahren hat der Arbeitsbereich für Massivbau und Brückenbau der Universität Innsbruck, das textiltechnische Herstellungsprinzip der Stickerei erstmalig zur Fertigung von textilen Bewehrungen für Betonbauteile erforscht.
Die Sticktechnik eröffnet dem Material Textilbeton erweiterte und projektspezifischere Anwendungen als die bisher bekannten Methoden zur Herstellung textiler Bewehrungen. Durch die Abfolge von neu entwickelten Arbeitsschritten kann mithilfe des Stickvorgangs erstmals eine 3D-Bewehrung zur Aufnahme von multiaxialen Zugbeanspruchungen produziert werden. Zusätzlich können gestickte Bewehrungen belastungsorientiert - d.h. den Zugtrajektorien des Bauteils angepasst - hergestellt werden. Außerdem ist es möglich die Textilbewehrung örtlich zu verdichten, um konzentrierte Lasteinleitungen (z.B. Verankerungspunkte) zu ermöglichen. Durch diese neuen Möglichkeiten kann das Tragverhalten von Textilbetonbauteilen wesentlich verbessert und der Materialbedarf von teuren Funktionsfasern, wie Carbon, wirtschaftlich optimiert werden. Zuschnittsarbeiten und Materialabfall werden eingespart bzw. minimiert.
Die Herstellung der gestickten textilen Bewehrung basiert auf dem Tailored Fiber Placement (TFP) Verfahren. Dabei können unterschiedliche Funktionsmaterialien, wie zum Beispiel Carbon- oder Glas Rovings, auf einem ebenen Stickgrund (sog. Trägermaterial) mit einem Sonderstickkopf und einem Fixierfaden befestigt werden. Eine beliebige Bewehrungsgeometrie wird mithilfe von CAD/CAM-Programmen an die TFP-Maschine weitergegeben und mit dieser automatisch produziert. Zudem ist die Verarbeitung von textilfremden Elementen möglich, wie beispielsweise Lichtwellenleitern oder Metalldrähten, was die Integration von zusätzlichen Funktionen zur herkömmlichen Bewehrungsfunktion erlaubt. Die Ablage der Bewehrungsmaterialien erfolgt lagenförmig in gestreckter Weise. Dadurch sollen spätere Umlenkkräfte im Betonbauteil vermieden werden. Der Stickprozess kann also die Anforderungen an ein textiles Flächenbildungsverfahren erfüllen und ermöglicht eine offene, verschiebefeste Struktur mit geradlinig verlaufenden, belastungsorientierten Bewehrungselementen.

An der Universität Innsbruck wurde ein gesamter Prozessablauf – von der Bemessung über den Entwurf, die Herstellung einer belastungs- und formorientierten Bewehrung bis zu deren Einbau – an einem schalenförmigen Sitzmöbel, als Demonstrationsbauteil, umgesetzt. Die textile Bewehrung wurde dabei auf die Hauptzugspannungsrichtungen der maßgebenden Belastung, die mittels der Finiten Elemente Methode ermittelt wurden, angepasst. Eine 3D-Bewehrung wurde in gekrümmten Bauteilelementen zur Aufnahme von Umlenkkräften verwendet. Ein Auszug der verwendeten Bewehrung ist in der Abbildung ersichtlich.

Um den Schritt in die Praxis zu schaffen, werden derzeit weitere wesentliche Punkte sowohl auf Materialebene und konstruktiver Ebene als auch im Bereich der Modellierung und Bemessung untersucht. Zukünftig sollen damit gestickte textile Bewehrungen als Verstärkung von Bestandsbauteilen bzw. als Bewehrung von Neubauteilen im Verbund mit Beton einer breiten Anwendung zugeführt werden.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix
studierte Bauingenieurwesen und promovierte an der Technischen Universität München. Nach Tätigkeiten in der Praxis ist er seit 2003 Leiter des Arbeitsbereichs für Massiv- und Brückenbau der Universität Innsbruck. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung von neuen Verstärkungsmethoden für Betonstrukturen sowie der Einsatz von alternativen Bewehrungsmaterialien im Betonverbund.

Befestigungsysteme für großformatige, textilbewehrte Betonfassadenplatten nach Z-21.8-2067

Exponat des Befestigungssystems der Firma Halfen · Foto © HALFEN.com

Für textile Plattenbewehrung gibt es keine Anforderungen aus Korrosionsschutzgründen an die Betondeckung. Somit kann die Bauteildicke eines bewehrten Betonelementes deutlich reduziert werden, was besonders bei Beton-Fassadenplatten zu wirtschaftlichen Bauweisen führt. Zur Befestigung solcher Fassadenplatten wurde das HALFEN Fassadenplattenankersystem FPA um ein Befestigungssystem ergänzt, das in Betonplatten mit einer Bauteildicke zwischen 3 und 5 cm eingesetzt werden kann.

Inhalt der Zulassung

Derzeitiger Zulassungsgegenstand der Z-21.8-2067 ist ein speziell für diese Anwendung modifiziertes Einbauteil des HALFEN Fassadenplattenankersystems. Dieses Einbauteil FPA-E SL30 darf in Kombination mit den in der Zulassung Z-21.8-1910 geregelten Komponenten zur Weiterleitung von Vertikallasten aus dem Eigengewicht von Fassadenplatten in die Tragschicht verwendet werden. Zusätzlich wird die Z-21.8-2067 Einbauteile zur Aufnahme von Horizontallasten umfassen. Wie beim herkömmlichen FPA-System lassen sich hierbei zwei Typen unterscheiden:

- Der Druck-/Zug-Verankerungskörper wird aufgrund der höheren Tragfähigkeiten vornehmlich zur Übertragung des Anpressdrucks am oberen Plattenrand eingebaut.
- Das Verstiftungssystem wird randnah an vertikal benachbarten Plattenrändern eingebaut, und dient zur Weiterleitung von Horizontalkräften aus der obenliegenden in die untenliegende Fassadenplatte.

Beschreibung der Bauteile

Vertikal: Das Einbauteil FPA-E SL30 unterscheidet sich vom Standard-FPA-Einbauteil im Wesentlichen durch die in den Beton eingreifenden Komponenten, die der Bauteildicke angepasst wurden. Die Anschlusskonstruktionen wie Verriegelungsbolzen oder Auflagerwinkel wurden nicht verändert, somit können sämtliche bereits bekannte Komponenten des FPA-Systems der Größe 5,0 wie gewohnt verwendet werden.
Horizontal DS13-SL30 Die Horizontalverankerung besteht aus dem Verankerungskörper und der typengeprüften Druckschraube DS1, die in den Verankerungskörper eingedreht wird. Zur Lasteinleitung in den Beton ist der Verankerungskörper mit vier Verankerungswellen ausgebildet. Um ein Spalten des Betons zu vermeiden, sind zusätzliche nichtrostende Bewehrungsstäbe anzuordnen. Ein Justierweg von ± 20 mm wird sichergestellt.
HFV-SL30: Wie bei herkömmlichen Verstiftungssystemen werden aus baupraktischen Gründen die Horizontalkräfte über einen eingemörtelten Edelstahldorn von der oben- in die untenliegende Platte übertragen. Da bei dünnen Fassadenplatten eine Verankerung in der Platte nicht möglich ist, sind die Verankerungskörper als überstehende Vergusstaschen ausgebildet, die randnah an vertikal benachbarten Plattenrändern einzubauen und mit Mörtel zu verfüllen sind.

Bemessung

Vertikal: In Abhängigkeit von der Neigung α des Montageteils ist nachzuweisen, dass die Bemessungslast aus Eigengewicht der Fassadenplatte V_{Ed} kleiner ist als die Design-Tragfähigkeit V_{Rd}. Auf eine Berücksichtigung des Randeinflusses kann beim Nachweis verzichtet werden, wenn definierte Grenzmaße in Lastrichtung und rechtwinklig dazu eingehalten werden. Horizontal: Die Horizontalverankerungen sind für Einwirkungen aus Anpressdruck und Winddruck bzw. –Sog nachzuweisen. Bedingt durch die dünne Plattendicke kann bei hohen Windsogbelastungen die Anbringung von Sogsicherungen erforderlich werden. Hierfür können die bekannten HALFEN Luftspaltdrehanker LD bzw. LD-A verwendet werden.

Zusammenfassung

Mit der in Kürze vorliegenden Ergänzung der Z-21.8-2067 liegt ein bauaufsichtlich geregeltes Komplett-System zur Befestigung von 3 – 5 cm dicken Vorhangfassaden vor. Dieses System umfasst neben dem bereits zugelassenen Einbauteil zur Aufnahme der Vertikallasten zwei Typen von Horizontalverankerungen: einer Druck-Zugverankerung und der Plattenverstiftung. Die Plattenbemessung ist nicht Gegenstand der Zulassung; Anforderungen hinsichtlich der Plattenbewehrung bestehen nicht.

Dr.-Ing. Matthias Roik

Research–Development-Engineering Halfen GmbH, Diplom an der Ruhr-Universität Bochum, Angestellter im Technischen Büro Brückenbau der Firma Thyssen Engineering. 1994 bis 1998 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Stahlbeton- und Spannbetonbau an der Ruhr-Universität Bochum, Abschluss mit Promotion, anschließend tätig als Tragwerksplaner im Ingenieurbüro. Seit 2006 Mitarbeiter bei der Halfen GmbH. In der Abteilung Forschung & Entwicklung. Seit 2011 Leiter der Gruppe Fassadensysteme/Zugstabsysteme.

Carbonbeton in der Betoninstandsetzung – Baustellenberichte und neue Anwendungsmöglichkeiten

Risssanierung mit KKS-Carbonbeton · Fotos/Grafiken © Koch GmbH

Seit 30 Jahren arbeitet die Koch GmbH im Bereich der Betoninstandsetzung mit der Kernkompentenz Parkbauten und ist seit 2007 auf den kathodischen Korrosionsschutz (KKS) von Stahl in Beton spezialisiert. Seit 2010 werden in Kooperation mit verschiedenen Instituten und Universitäten wie der BAM (Berlin), dem IBAC (Aachen) und dem KIT (Karlsruhe) neue Systeme für den kathodischen Korrosionsschutz und die Anwendung von Carbonbeton entwickelt. Als erste Eigenentwicklung wird der sogenannte KKS-Carbonbeton eingesetzt, aber immer häufiger ergeben sich auch Anwendungen für Carbonbeton in der Instandsetzung abseits des KKS.

Generell zeigt sich nach vielen verschiedenen baupraktischen Anwendungen, dass der Carbonbeton ein breitgefächertes Spektrum an Instandsetzungsbedarf erfolgreich abdecken kann. Besonderen Erfolg erzielten die Aussteifung von Rissbereichen, Fugenlösungen, die Wiederherstellung zerstörter Bewehrung, Instandsetzungen mit kombinierter Traglasterhöhung, schnelle Sanierungsvarianten für Stahlverbundbauwerke und die Verstärkung lokaler Druckzonen.
Die Geschichte der Betoninstandsetzung ist gleichzeitig eine Geschichte der Symptombekämpfung. Die Ursachen werden häufig nicht beseitigt. Dies liegt einerseits daran, dass man auf Umwelteinflüsse wie CO_2, Feuchtigkeit, Temperaturen, Chloride oder Frost nur bedingt Einfluss nehmen kann und andererseits mechanisch statische Komponenten und Zwänge – wie dynamische Lasten, Setzungen etc. - nicht abänderbar sind.

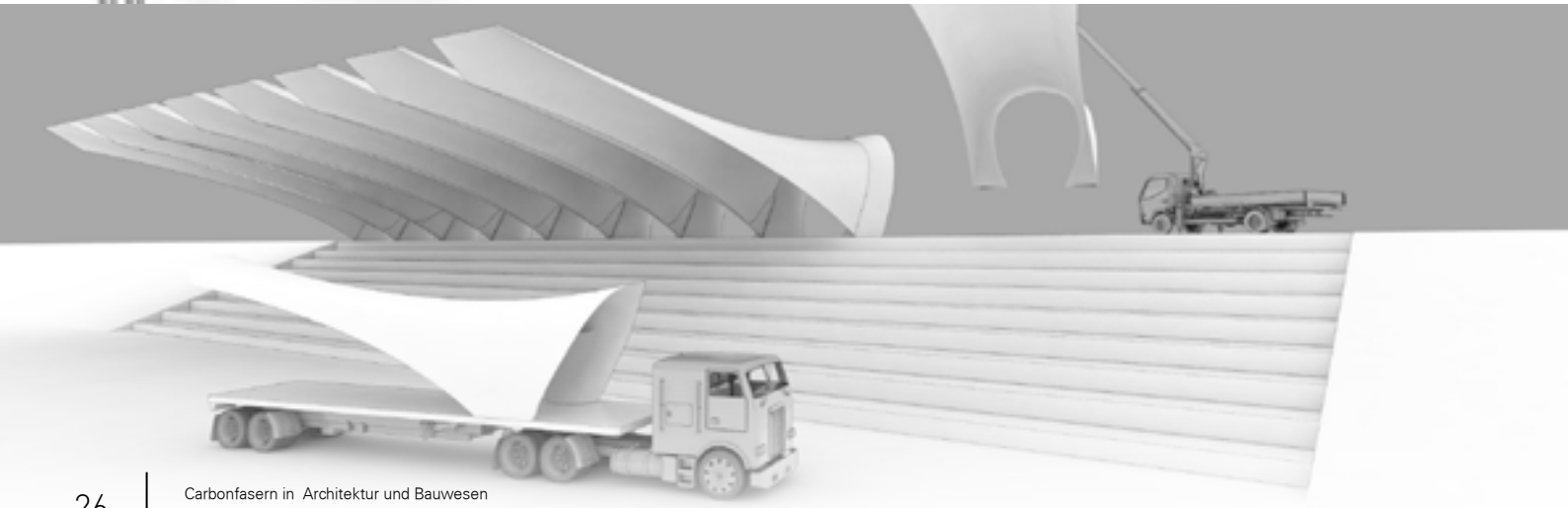
Folglich werden Abplatzungen beseitigt, Ausbrüche reprofiliert, Bewehrung ersetzt und ein Oberflächenschutz appliziert. Normen und Regelwerke sehen meist nur die Wiederherstellung der alten, konzeptionell oft unzureichenden Substanz vor, nicht aber – mal abgesehen von sehr hochwertigen Beschichtungen - eine Verbesserung oder Aufwertung. Im statischen Bereich kann häufig nur durch eine Einschränkung der Lasten ein schneller, neuerlicher Schaden vermieden werden. Dies ist jedoch in Bereichen wie Industrie oder Parkbauten kaum umsetzbar. Teilweise geregelte Verstärkungsmaßnahmen wie Stahl- oder CFK-Lamellen, Glasfaserverbundbewehrung, Zulage, Einkleben und Einschweißen von Stahl sind oft teuer, aufwendig oder wenig praktikabel.

Charmant wird diese Art der Sanierung besonders dadurch, dass mehrere positive Eigenschaften kombiniert wirken können (z.B. Bewehrungsergänzung und kathodischer Schutz im KKS-Carbonbeton). Aber auch außerhalb dieser Anwendungen finden sich vielfältige Möglichkeiten.
Die Firma Koch setzt den Carbonbeton in unterschiedlichsten Mörtel-/Gewebe-Kombinationen ein. Die für den spezifischen Anwendungsfall ideal geeignete Kombination gilt es in Relation zu den Kosten auszuwählen. 2D- oder 3D-Varianten, ein- oder mehrlagig, EP- oder SBR-Coating, Gewicht und Maschenweite sind die wichtigsten Gewebeparameter. Als Mörtel kommen z.B. hochfeste Eigenentwicklungen, Fließbeschichtungen, PCC-M3-Mörtel, Spritzmörtel aber auch elastifizierte Kunstharzmörtel-Varianten zur Anwendung.

Bisher wurde der Carbonbeton im Bereich von Fertigteilfugen, Stahlskelettverbundkonstruktionen, Rissbereichen, Anschlussfugen, Bewehrungsersatz und –ergänzungen, Betonierabschnittsfugen und diversen KKS-Projekten eingesetzt. Als neuestes Forschungsprojekt werden derzeit KKS-Carbonbeton-Sheets für eine schnelle oder temporäre Brückeninstandsetzung entwickelt.

Dipl.-Chem. Detlef Koch
Als geschäftsführender Gesellschafter der Koch GmbH leitet Herr Koch sowohl den operativen Bereich, als auch die Forschungs- und Entwicklungsabteilung, mit der Kernkompetenz im Bereich der Sanierung von Parkbauten. 2012 wurde eine F+E-Abteilung gegründet, die sich auf die Entwicklung von Systemen für den Kathodischen Korrosionsschutz und den Carbonbeton spezialisiert hat. Die Koch GmbH versteht sich als wissenschaftsorientierte Handwerksunternehmung.

Carbonfasern – Optionen für Leichtbau in Architektur und Bauwesen



Carbonfasern in Architektur und Bauwesen
Visualisierungen © Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) University of Stuttgart

Bewehrungen von Beton mit Carbonfasern sind eine leistungsfähige und korrosionsbeständige Alternative zur Stahlbewehrung. Die Bemessung erfolgt mit den gleichen Modellen, wie sie dem Stahlbetonbau zugrunde liegen. Es müssen jedoch zusätzlich die besonderen Eigenschaften des textilen Materials berücksichtigt werden

Grundsätzlich konzentriert sich die Architektur von Gebäuden auf die Gestaltung von räumlichen Strukturen und deren speziellen Anordnung im Gesamtkontext. Die Funktionalitäten solcher Strukturen werden u.a. maßgeblich von den Materialeigenschaften beeinflusst. In zunehmendem Maße werden hier ökologische und umweltspezifische Aspekte, sowie die Verfügbarkeit der Materialien in den Vordergrund gestellt. Massenspezifische Eigenschaften spielen hier eine wichtige Rolle spielen, weshalb zwangsläufig Leichtbau-Konstruktionen in ihrer Bedeutung zunehmen.

Im Bereich des Hoch- und Tiefbau, sowie im Brückenbau sind die gestalterischen Zielsetzungen anders vorgegeben, aber auch hier gilt die Notwendigkeit resourceneffizient zu Planen und zu Bauen. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Dauerhaltbarkeit und der Sanierungsmöglichkeiten werden Materialien wie Carbonfasern und carbonfaserverstärkte Composites deutlich an Bedeutung gewinnen.

Carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) und Composites im Allgemeinen sind Hochleistungswerkstoffe, die sich in faserparalleler Richtung durch sehr hohe Zug- und Druckfestigkeiten auszeichnen. Die hohe Dauerhaftigkeit, Ermüdungsfestigkeit, Chemikalienresistenz und Korrosionsbeständigkeit in Kombination mit diesen herausragenden Eigenschaften favorisieren sie zusätzlich für Anwendungen, wo klassische Materialien an ihre Einsatz-Grenzen kommen.

Carbonfasern sind über kontrolliert ablaufende Stabilisierungs- und Pyrolysereaktionen von kohlenstoffhaltigen Polymerverbindungen, wie z.B. Polyacrylnitril, Pech, Cellulose oder Lignin, zugänglich. Die chemischen Reaktionen sind sehr komplex und bis heute nur in einfacher Form verstanden. Entscheidend ist die Umwandlung des Ausgangsmaterials unter der Bildung ausgerichteter graphitischer Strukturen, sodass die hochfesten Kohlenstoff-Kohlenstoffbindungen in Faserlängsrichtung genutzt werden können.
Die so erhaltenen Fasern können sowohl als Kurz-, als auch als Endlosfaser in Materialien eingebracht werden, um so ihre hohe Festigkeit und Steifigkeit zu nutzen. Als Endlosfasern werden sie historisch bedingt bevorzugt als Gewebe und Gelege eingesetzt, die stapelweise und unterschiedlich ausgerichtet eingearbeitet werden.
Unter dem Gesichtspunkt des werkstoffgerechten Einsatzes und zur Realisierung von Ultraleichtbau sollten die Fasern unbedingt kraftflussgerecht im Werkstück angeordnet sein, was mit den klassischen Laminaten bislang nur eingeschränkt möglich ist. Dadurch ergeben sich zwangsläufig grundsätzlich andere Konstruktions- und Auslegungsprinzipien, wie sie heute in ersten Ansätzen nach und nach zum Einsatz kommen und auch für additive Fertigungsverfahren nutzbar sind.
Die konsequente Umsetzung von Funktions-Modellen mit topologischer Optimierung der Carbonfaser-Tows und eine Kopplung mit einer virtuellen Prozess-Entwicklung ermöglicht eine zielgerichtete Umsetzung des Ultraleichtbaus.

Die Berücksichtigung werkstoffspezifischer Hybridansätze, im Hinblick auf eine spätere Rückgewinnung und Wiederverwendung der einzelnen Materialkomponenten, ist ein weiterer Schlüsselansatz für die Verwendung von Carbonfasern in der Architektur und im Bauwesen.

Prof. Dr. rer. nat. Michael Heine verfügt über langjährige Wirtschaftserfahrung und hat Zugang zur aktuellen Forschung über eine weitreichende interdisziplinare Vernetzung. Er ist seit mehr als 30 Jahre Erfahrung im Bereich der Carbonfasern. und Verbundwerkstoffe tätig, davon 25 Jahre bei SGL Carbon. Als Mitglied des Managing Commitees hat er entscheidend an der Entwicklung des carbonfaserverstärkten Keramikmaterials und der großtechnischen Umsetzung der Carbon-Keramikbremsscheibe für Porsche mitgewirkt. Seit Ende 2013 vertritt Professor Heine den Lehrstuhl Materials Engineering am Institut für Materials Resource Management der Universität Augsburg. Er ist gleichzeitig Leiter der AG CFK Roadmap, der AG Matrices und der UAG Neue prozessangepasste Matrix-Polymere innerhalb des CCeV.

Carbon- und Textilbewehrung für 3D-gedruckten Beton

Carbon-Garn-Versuch · Foto © DI Robert Schmid

3D-Druck wird innerhalb verschiedener Wissenschaftsfelder von vielen Institutionen erforscht. Ob PLA, Holz oder in diesem Fall Beton, die additive Fertigung spielt in der Produktion eine immer wichtigere Rolle. Die Freiheit, die durch den Einsatz solcher Technologien geschaffen wird, ermöglicht es, völlig neue Formen zu schaffen. Ein anderer Begriff, der üblicherweise mit 3D-Drucken in Verbindung gebracht wird, ist Rapid Prototyping. In der Regel bedeutet Prototyping, dass kein fertiges Endprodukt hergestellt werden kann, sondern nur vorläufige Testproben. Das ist hier nicht der Fall, da jeder „Prototyp" für sich ein fertiges Produkt darstellen soll.

Beton hat eine Reihe von Vorteilen als Baumaterial. Er ist in Österreich gut verfügbar und kostengünstig. Er kann jede Form annehmen und ist nur an die Schalungsform gebunden. Die Schalung komplexer Bauteile ist jedoch extrem aufwendig und daher auch sehr teuer. Additive Fertigungsmethoden könnten dafür eine Lösung sein, da sie komplexe Formen abbilden können. Diese wiederum könnten die Standardschalung ersetzen und in weiterer Folge die Produktionskosten für komplexe Formen und Geometrien reduzieren. Eine Frage, die noch nicht beantwortet wurde, lautet: „Wie können diese Formen bewehrt werden?"

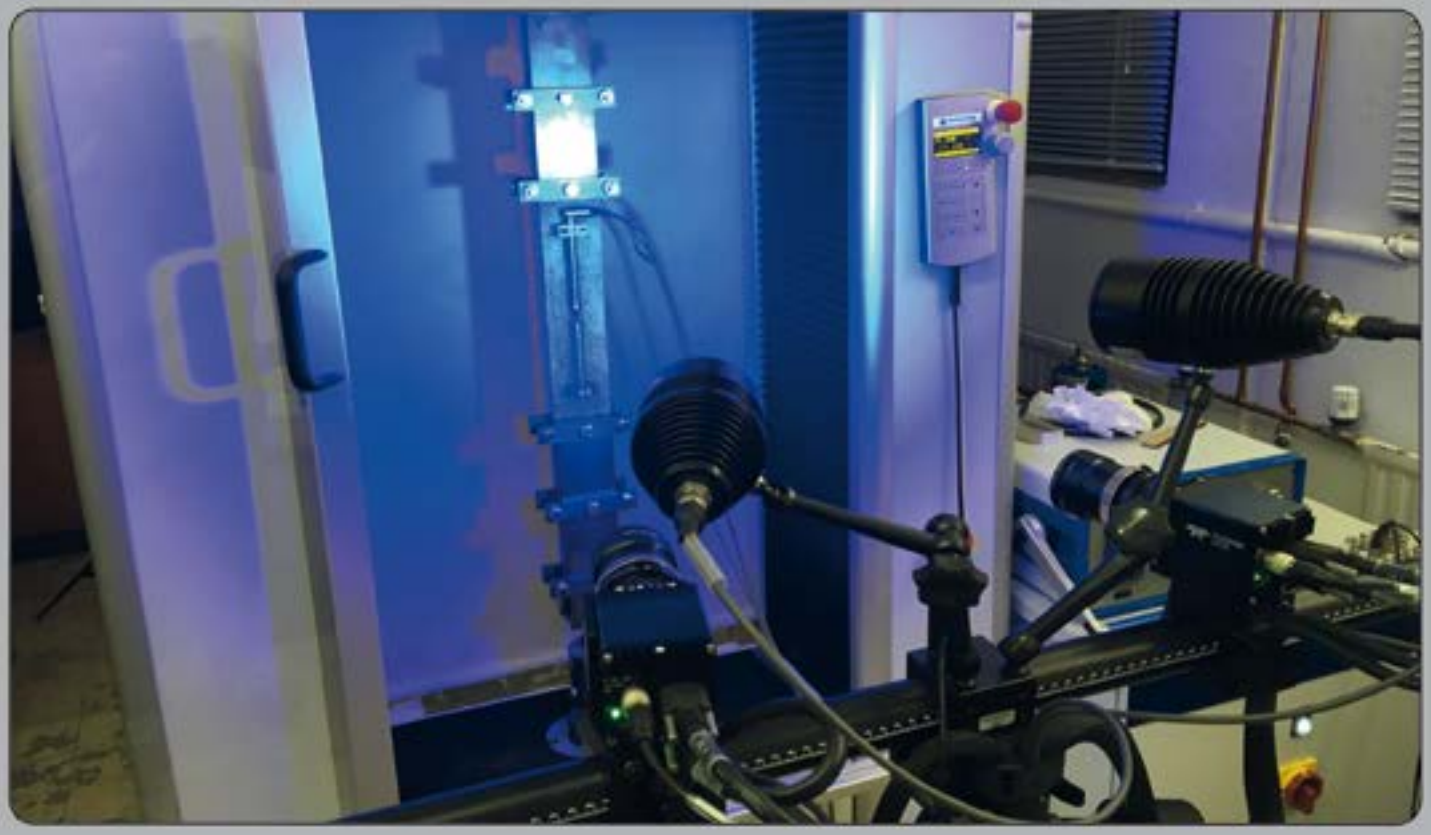
Die Bewehrung für traditionell hergestellten Beton besteht aus Stahlbewehrungsstäbe, Stahlfasern und Matten, die nicht korrosionsbeständig sind. Komplexe Formen, wie zum Beispiel doppelt gekrümmte Bauteile, zu bewehren ist geometriebedingt sehr aufwendig, da der Stahl mit sehr geringen Toleranzen in Form gebogen werden und anschließend noch richtig eingebaut werden muss. Die Betondeckung und Bewehrungslage einzuhalten ist nahezu unmöglich oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand machbar. Andere moderne Materialien, die zur Bewehrung verwendet werden, umfassen unter anderem Glasfaser- und Kohlefasermatten sowie Bewehrungsstäbe aus diesen Materialien. Diese sind jedoch sehr eingeschränkt in der Art, wie sie manipuliert werden können. Für den Betondruckprozess wird also eine besondere Verstärkungsmethode benötigt.

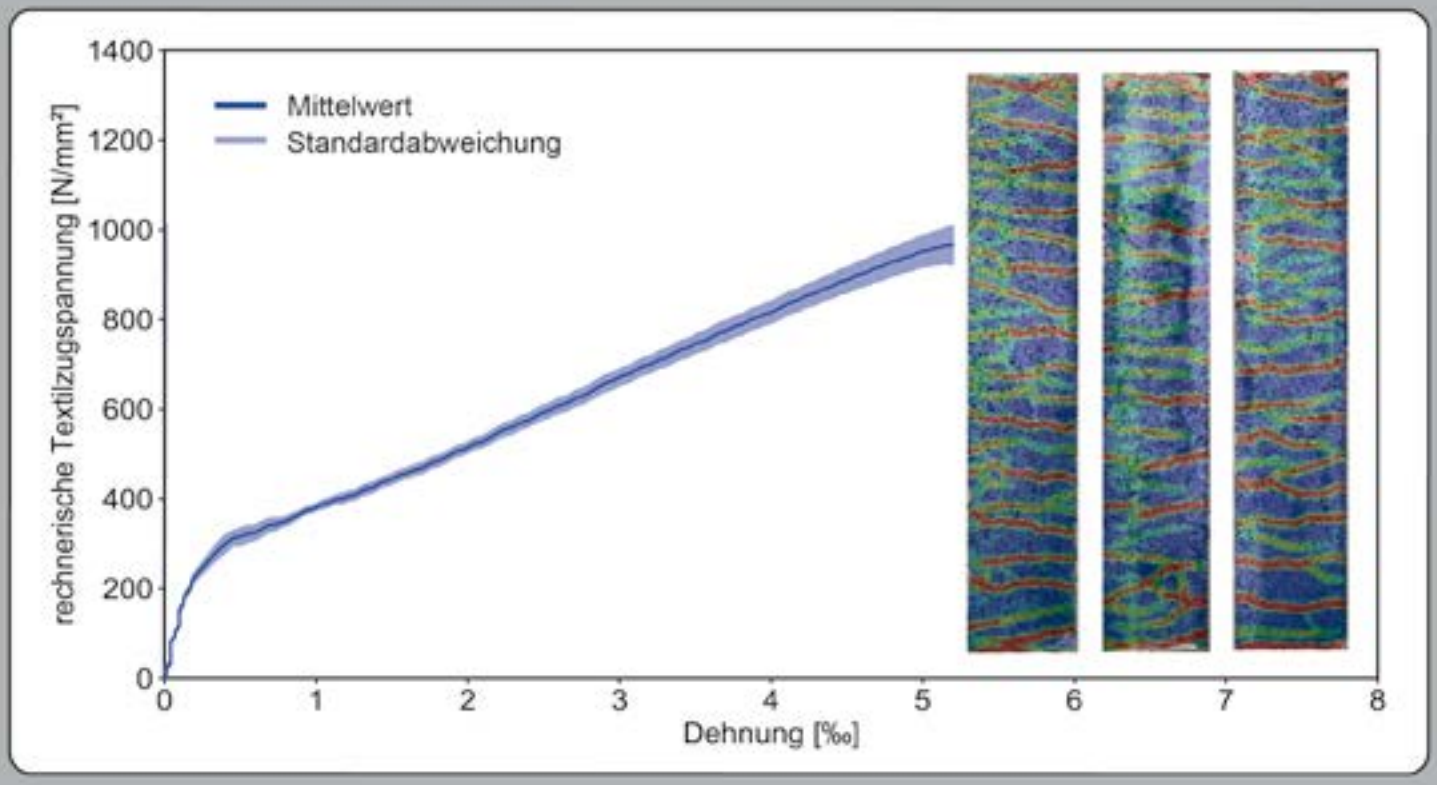
Das Institut für Tragwerksentwurf an der Technische Universität Graz hat eine Methode für den Druck von Betonbauteile entwickelt. Dies beinhaltete die Entwicklung eines geeigneten Betons und eines komplexen Verfahrens zum Drucken von 3D-Geometrie. Dieses spezielle Verfahren ermöglicht die Einarbeitung von Drähten und Garnen in „Printed Concrete Lines" (PCLs).
In diesem Forschungsprojekt werden verschiedene Materialien für die Verstärkung von Beton untersucht, einschließlich Carbon, Basalt, Aramid und Glas. Diese wurden vorab in 4-Punkt-Biegeversuchen getestet. Nicht nur das Material wurde in diesen Tests variiert, sondern auch die Struktur der Bewehrung. Es wurden sowohl gerade gerichtete, ungebundene Rovings, als auch geflochtene Garne untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Versagensmechanismen und die Tragfähigkeit sehr stark vom Einbau und vom Typ der Bewehrung abhängig sind. Zukünftig sollte es möglich sein, tragende, bewehrte Bauelemente drucken zu können.

Dipl.-Ing.
Joshua Tapley BSc

Geboren in England 1980 zog er in 2004 nach Graz um. 2007-2014 studiert er Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Graz, seit 2014 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tragwerksentwurf der Technische Universität Graz. Sein Forschungsschwerpunkt ist 3D gedruckter Beton und Verstärkung von gedrucktem Beton mit Carbon/Textilien.

Charakterisierung textilbewehrter Betone mittels photogrammetrischer Messtechnik





Charakterisierung von Textilbeton · Foto/Grafik © Martin Lenting

Die präzise Ermittlung reproduzierbarer Kennwerte für die Charakterisierung von Textilbeton stellt eine der wichtigsten Aufgaben zur Weiterentwicklung des Hochleistungsverbundwerkstoffes dar. Die Verwendung von photogrammetrischen Systemen zur Verformungsmessung ermöglicht diese Bewertung. Weiterhin kann der Versuchsaufbau überprüft und anhand der Ergebnisse optimiert werden.

Technische Textilien im feinkörnigen Beton ermöglichen aufgrund der textilen Maschenweite und Garnstruktur theoretisch eine feine Rissentwicklung mit geringen Rissbreiten < 0,1 mm und Rissabstände ≤ 10 mm. Damit erfüllt der Verbund-Werkstoff Textilbeton die Anforderung an einen wasserundurchlässigen, mechanisch hoch belastbaren Baustoff.
Die Entwicklung eines feinen Rissbildes in Abhängigkeit von den Ausgangsmaterialien kann während der Durchführung von Zugversuchen nur unzureichend mittels Wegaufnehmern erfasst werden. Photogrammetrische Messtechniken nach dem Prinzip der digitalen Bildkorrelation (DIC) weisen bei der Charakterisierung von Textilbetonen wesentlichen Vorteile auf:

- Berührungslose Messtechnik
- Erfassung des kompletten Versuchsaufbaus (Einflüsse unterschiedlicher Versuchsaufbauten in der Lasteinleitung sind messbar)
- Live-Visualisierung der Dehnungsverteilung und Rissentwicklung während der Versuche
- Erfassung von Dehnungen an beliebigen Messstellen
- Umfangreiche Auswertungen der Messergebnisse nachträglich möglich

Eine optische 3D-Verformungsanalyse bietet das ARAMIS® System 12 M der Fa. GOM. Die berührungslose Messung der auftretenden Verformungen über zwei Kameras mit einer Auflösung von je 4000 x 3000 Pixeln ermöglicht die flächige Auswertung bereits geringfügiger Verformungen im Bereich von 0,02 % bis > 100 % mit einer Genauigkeit von bis zu 0,01 %. Das Anlegen von Messflächen anstelle der üblichen Messpunkte/Messstrecken (Wegaufnehmer) erlaubt eine beliebige Wahl der Messpunkte und ein stufenloses Anlegen von Messlängen. Durch nachträgliches Anlegen der Messpunkte können die maßgebenden Probenbereiche gezielt untersucht werden.
An der Technischen Universität Dortmund, Lehrstuhl Werkstoffe des Bauwesens, wird die beschriebene photogrammetrische Messtechnik derzeit für Rovingzugversuche, Pull-Out-Versuche und Zugversuche an Textilbetonen eingesetzt.

Anhand von aufgeklebten Markierungspunkten erfolgt bei Rovingzugversuchen die berührungslose Erfassung von Dehnungen über beliebige Messlängen. Mittels Ofen mit Sichtfenster, kann die Messtechnik auch für Rovingzugversuche bei unterschiedlichen Temperaturen verwendet werden.
Die Beschreibung der Verbundcharakteristiken technischer Textilien mit unterschiedlichen Beschichtungen und Knotenpunkten erfolgt anhand von Pull-Out-Versuchen. Hierbei erlaubt das photogrammetrische Messsystem u.a. die Kontrolle und Bewertung des Versuchsaufbaus. Unplanmäßiges Abkippen der Probe, durch beispielsweise nicht zentrisches Belasten, kann betrachtet werden. Die Optimierung des Versuchsaufbaus verringert die Ergebnisstreubreite.
Zugversuche an textilbewehrten Betonen ermöglichen die Beurteilung des Verbundwerkstoffes hinsichtlich Rissentwicklung/-verteilung, Spannungs-Dehnungsentwicklung, Zugfestigkeit und Versagensbild (Bewehrungsauszug, Bewehrungsbruch, etc.). Fokus aktueller Untersuchungen ist die Weiterentwicklung von Materialien dahingehend, dass ein feines Rissbild mit geringen Rissbreiten < 0,1 mm und Rissabstände ≤ 20 mm im Textilbeton während einer Zugbeanspruchung entsteht. Die Materialentwicklung soll Alternativen zur Beschichtung der Textilien mit Duromeren aufzeigen. Mit dem in der Entwicklung befindlichem Beschichtungssystem für Carbonrovings, 50 K, kann das Ziel, unter Einhaltung definierter Randbedingungen, erreicht werden.

Martin Lenting, M.Sc.
studierte Bauingenieurwesen an der FH Münster. Seit 2012 arbeitet er im Labor Bauphysik von Prof. Dr.-Ing. Martin Homann. Seit 2016 forscht er kooperativ mit der TU Dortmund zum Thema Rissbildung von Textilbeton.

Markus Beßling, M.Sc.
studierte an der TU Dortmund Bauingenieurwesen. Seit 2016 arbeitet er am Lehrstuhl Werkstoffe des Bauwesens der TU Dortmund mit dem Forschungsschwerpunkt Verbundeigenschaften von Textilbeton.

Prof. Dr.-Ing. habil. Jeanette Orlowsky

CPC - mit Carbon biaxial vorgespannte Betonplatten – Industriell hergestellt – individuell konfektioniert

Herstellung CPC-Betonplatten · Foto © CPC AG

Die neu entwickelte, sehr einfach vorspannbare Carbonbewehrung ermöglicht erstmalig eine industriell fertigbare, hoch belastbare, sehr dünne Betonplatte (Pat.Pend.), die preislich sehr günstig hergestellt, transportiert und weiterverarbeitet werden kann. Die CPC-Betonplatte setzt auch hinsichtlich der Nachhaltigkeit neue Massstäbe. Die Platten 2 bis 8 cm stark, 1 bis 16-lagig, kreuzweise bewehrt, werden in einer Standardgrösse hergestellt, in transportierbare Einheiten geteilt (Bp. 2.5 m x 10 m) und vom Kunden analog zu Stahlplatten oder Holzwerkstoffplatten als Halbfabrikat weiterverarbeitet. Im Hochbau soll sie in Zukunft auch als Ersatz für Schalung und Armierung eingesetzt werden können. Zurzeit wird auf der Pilotanlage in der Schweiz für den Schweizer Markt produziert. Die Produktion soll in nächster Zeit wesentlich vergrössert werden. Dazu werden Partner gesucht und für den Einsatz in Deutschland wird eine DIBT-Zulassung angestrebt.

Im Auftrag der Firma Silidur AG, Andelfingen Schweiz, wurde an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Winterthur während 5 Jahren intensiv an der Entwicklung von dünnen mit Carbonfasern vorgespannten Betonplatten geforscht. Nach Abschluss der Forschungsarbeiten entschieden sich die Investoren ein start up - die Firma CPC AG - zu gründen, eine Pilotanlage zu errichten und die neuartigen Platten auf den Markt zu bringen. Die Pilotanlage hat Anfang 2016 ihren Betrieb erfolgreich aufgenommen. Auch wurden die Idee, die Platte und das Herstellungsverfahren, zum Patent angemeldet.

Die Versuche haben gezeigt, dass die CPC-Betonplatten bis zum Rand ein hohes Tragvermögen aufweisen, das auch unter Wechselbelastung und über die Zeit nicht abnimmt. CPC-Platten sind bis zu vier Mal dünner und haben ein bis zu 80 % geringeres Gewicht als Stahlbetonplatten für den gleichen Einsatz. Dank der Vorspannung bleiben die Platten unter Gebrauchslast „rissfrei". Für die Verbindung und Befestigung der dünnen CPC-Platten zu anderen Bauteilen oder untereinander werden spezielle Verbindungsmittel entwickelt, da die marktüblichen Verbindungsmittel oft nicht verwendet werden können. So entstanden bereits Verbindungstypen, mit welchen trotz der Schlankheit der Platten hohe Kräfte übertragen werden können. Die CPC-Platten werden momentan in einer Größe von 2.400 x 10.000 mm und in den Stärken 24, 40, 60 und 80 mm gefertigt. In einem eigens eingerichteten 5-Achs-Bearbeitungszentrum können die Platten durch Sägen, Bohren oder Fräsen konfektioniert werden. An der Schnittkante sind die Bewehrungsdrähte praktisch nicht sichtbar. Verschiedene Oberflächen und beliebige Gravuren sind herstellbar. CPC-Platten weisen keine Korrosion auf und können daher in feuchter Umgebung und in Kontakt mit aggressiveren Medien eingesetzt werden. Auch an den Schnittflächen entsteht keine Korrosion, da die Carbonbewehrung korrosionsfrei ist. Der eingesetzte, hochwertige Beton ist zudem frosttausalzbeständig. Der Einsatz der produzierten Platten ist vielseitig: So wurden z. B. bereits Brückenbeläge, Tischplatten, Treppenstufen, Balkonplatten, Podeste und Gartenmöbel aus den CPC-Betonplatten gefertigt. Auch ganze Brücken oder Unterstände wurden bereits mit den Platten hergestellt, unter anderem die leichteste Fuss- und Fahrradbrücke der Welt und ein 50 m langer Fahrradunterstand für ein Schulhaus. In den letzten 2 Jahren wurden bereits über 80 Projekte realisiert.

Mit der bestehenden ersten Fabrikationsanlage (Pilotanlage) wurde der Beweis erbracht, dass die CPC-Platten im Großformat industriell und günstig herstellbar sind. Weiter konnte aufgezeigt werden, dass ein sehr gutes Marktinteresse vorhanden ist. Mit der Pilotanlage können nur ein paar tausend m² CPC Betonplatten pro Jahr hergestellt werden. Um die Produktionskapazitäten auszubauen werden Partner gesucht.

Prof. Dipl. Ing.
Josef Kurath
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW Leiter Fachgruppe Faserverbundwerkstoffe, Dozent; bis 1991 Studium Bauingenieurwesen Eidgenössisch Technische Hochschule ETH Zürich; seit 1991 Ingenieurbüro Staubli, Kurath & Partner AG, Konstruktiver Ingenieurbau; seit 1998 F&E im Bereich Faserverbundkunststoffe im Bauwesen an der ZHAW, Leiter Fachgruppe Faserverbundkunststoffe im Bauwesen; seit 2006 Professor an der ZHAW; 2001 Mitgründung Start up Swissfiber AG, FVK im Bauwesen; 2013 Mitgründung Start up CPC AG, Vorgespannte Carbonbetonplatten

Das Sicherheitsniveau von realisierten Textilbetonbauteilen

Fuß- und Radwegbrücke in Albstadt-Ebingen und Fertigteilgarage
Foto oben © solidian GmbH, unten © Institut für Massivbau, RWTH Aachen University

„Sichere" Ansätze für die Bemessung von Textilbetonbauteilen werden aktuell in keinen Normen oder Regelwerken vorgeschlagen. Im Rahmen von probabilistischen Untersuchungen wurde für zwei bereits realisierte Tragwerke mit textiler Bewehrung überprüft, ob diese das geforderte Sicherheitsniveau nach Eurocode 0 für den Nachweis des Biegewiderstandes einhalten. Dabei stellte sich heraus, dass beide Tragwerke ausreichend zuverlässig sind sowie wirtschaftlich bemessen wurden.

Neuartige innovative Baustoffe in der Praxis zu etablieren und von Beginn an wirtschaftlich einzusetzen, stellt eine große Herausforderung im Bauwesen dar. Gleichzeitig erwartet die Allgemeinheit, dass Bauwerke „sicher" und „zuverlässig" sind.
Das Vorhandensein praxistauglicher Ingenieurmodelle und die anschließende Überführung in Bemessungsmodelle ist Grundvoraussetzung für die Erarbeitung anerkannter Regelwerke. Der wesentliche Unterschied zwischen einem Ingenieur- und einem Bemessungsmodell besteht darin, dass letzteres ein gefordertes Sicherheitsniveau gewährleistet. Allein auf Basis statistischer Betrachtungen und den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung lässt sich das Sicherheitsniveau von Bauteilen widerspruchsfrei und objektiv ermitteln.

Der aktuelle Eurocode 0 gibt einen Sollwert der Zuverlässigkeit an. Für Gebäude mittlerer Schadensfolge (Klasse RC2) und für einen Bezugszeitraum von 50 Jahren liegt der Zuverlässigkeitsindex bei 3,8. Dies entspricht einer operativen Versagenswahrscheinlichkeit von weniger als 10^{-4}.

Das Sicherheitsniveau bzw. die operative Versagenswahrscheinlichkeit eines Bauwerks hängt von einer Vielzahl streuender Parameter ab. Je nach Bauwerk variiert der Einfluss dieser Größen. Somit weisen Bauteile mit abweichenden geometrischen Parametern oder Materialkennwerten trotz identischer Teilsicherheitsbeiwerte unterschiedliche Sicherheitsniveaus auf.

Zur Berechnung der Biegetragfähigkeit eines textilbewehrten Bauteils steht ein geeignetes Ingenieurmodell zur Verfügung. Deshalb wurden die Zuverlässigkeitsanalysen für den Nachweis des Biegewiderstandes durchgeführt. Es wurden die Fuß- und Radwegbrücke in Albstadt-Ebingen und eine Fertigteilgarage untersucht. Die Brücke in Albstadt-Ebingen besteht aus Carbonbeton und weist eine Breite von 3 m und eine lichte Spannweite von 15 m auf. Der Trogquerschnitt besitzt eine variable Steghöhe. Die vorwiegend mit AR-Glas bewehrte Fertigteilgarage wurde von den Unternehmen Beton-Kemmler GmbH und solidian GmbH entwickelt und ist seit 05/2018 bauaufsichtlich zugelassen.

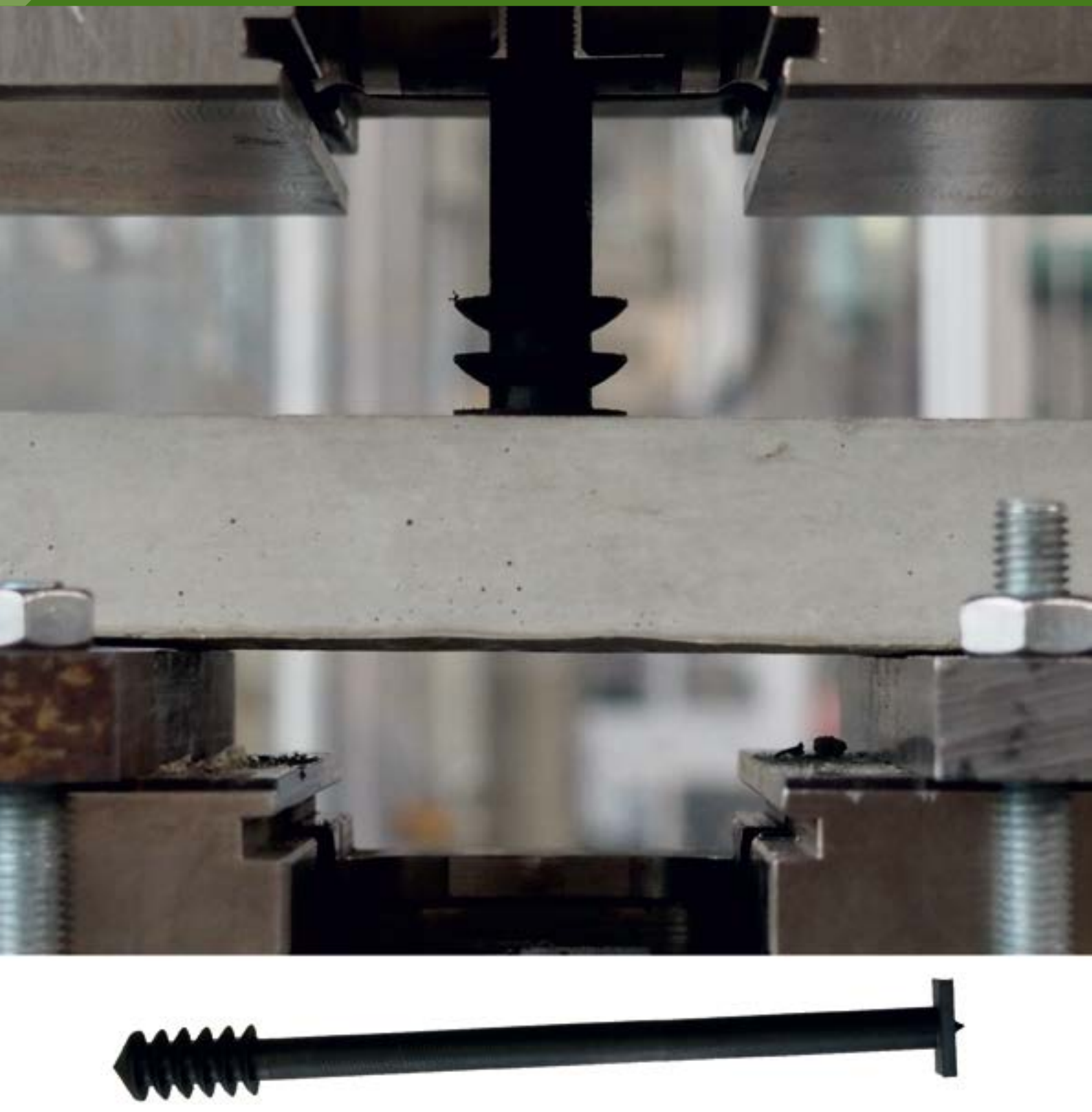
Die Berechnungen erfolgten mittels First Order Reliability Method (FORM) und der Monte-Carlo-Methode. Die verwendeten Basisvariablen konnten entweder aus Material- und Bauteilversuchen mittels deskriptiver und induktiver Statistik abgeleitet werden oder wurden sinnvoll festgelegt. Beide Rechenverfahren zeigen gute Übereinstimmungen hinsichtlich des berechneten Zuverlässigkeitsniveaus. Aufgrund der variablen Steghöhe der Fußgängerbrücke liegt der maßgebende Querschnitt nicht in Feldmitte sondern etwa 3,2 m vom Auflager entfernt. Bei der Garage wird die Decke unter der Lastkombination aus Eigengewicht und Schnee maßgebend.

Die Untersuchungen zeigten, dass beide Bauwerke das geforderte Sicherheitsniveau nach EC 0 einhalten. Ohne den geforderten Zuverlässigkeitsindex zu unterschreiten, könnte die Spannweite der Brücke um 1,5 % erhöht werden, während bei der Garage ein Anstieg des charakteristischen Werts der Schneelast um 5 % zulässig wäre.

Durch die Zuverlässigkeitsanalysen konnte mit probabilistischen Methoden bewiesen werden, dass bereits heute – trotz fehlender normativer Regelungen – ausreichend zuverlässige Tragwerke aus Textilbeton hergestellt werden können. Zudem wurden die Tragwerke sehr wirtschaftlich dimensioniert, da nur geringfügige zusätzliche Tragreserven identifiziert werden konnten.

Sarah Bergmann, M. Sc.
studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Anschließend war Sie als Bauingenieurin im Bereich Textilbeton tätig. Seit 04/2017 forscht sie am Institut für Massivbau der RWTH Aachen und beschäftigt sich mit dem Verstärken von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton.

Einbauteile für Carbonbeton-Doppelwände



Mechanische Untersuchung am neu entwickelten Einbauteil · Foto © Juliane Wagner

In der Carbonbetonbauweise werden dünnere und filigranere Bauteile angestrebt, als man es aus dem Stahlbetonbau gewohnt ist. Auch Doppelwände sollen zukünftig mit Wandschalen aus Carbonbeton ausgeführt werden. Schalendicken von lediglich 30 mm führen hierbei zum einen zur Reduzierung des Transportgewichtes einer Doppelwand, zum anderen wird dadurch der Bauteilquerschnitt verringert und somit Nutzfläche gewonnen. Die geringen Schalendicken und die damit verbundenen geringeren Einbindetiefen führen allerdings dazu, dass bekannte und bewährte Ein- und Anbauteillösungen aus dem Stahlbetonbau nicht mehr ohne weiteres verwendbar sind.

Im Verbundvorhaben C³-V1.1 wurde daher unter anderem die Entwicklung eines Einbauteils zur parallelen Verbindung der Wandschalen einer Doppelwand aus Carbonbeton angestrebt. Das Ziel hierbei war es eine Lösung zu finden welche nicht sichtbar auf den Oberflächen der Wandschalen ist und welche trotz geringer Einbindetiefe einen guten Verbund zum Beton sicherstellt und Wärmebrücken im Bauteil vermeidet. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Betonbau der HTWK Leipzig, dem Betonwerk Oschatz GmbH, der EnergieAutark GmbH und FISSEK GmbH entstand ein optimal an den Herstellprozess einer Carbonbeton-Doppelwand angepasster Thermoanker.

Die Wandschalen sollen mit einem Carbongelege der Firma solidian GmbH mit einem mittleren Faserstrangabstand von 38 mm bewehrt werden. Die Herstellung der Doppelwand erfolgt nach folgendem Schema: Das Ende des Thermoankers mit dem quadratischen Teller wird durch die textile Bewehrung der ersten zu betonierenden Schale hindurchgeführt und anschließend so verdreht, dass das Textil auf dem Teller aufliegt, hierdurch wird die Position des Textils im Bauteil gesichert. Die Größe des Tellers ist an die Maschenweite des Textils angepasst. Dieser Teller gewährleistet auch den Verbund zum Beton. Die Spitze unter dem Teller sorgt für dessen Positionierung und der des Textils im Bauteil. Durch ihre filigrane Ausführung ist sie an der Oberfläche der fertigen Wandschale nicht sichtbar. Um das Kippen des Ankers zu vermeiden, wird dieser mit einer Klemme fixiert. Anschließend kann die Wandschale betoniert und mit Wärmedämmung versehen werden. Nach einem Tag wird der komplette Aufbau gewendet und die noch freien Enden der Verbindungsmittel in die frisch betonierte zweite Wandschale, in welcher bereits die Carbonbewehrung liegt, eingetaucht. Aufgrund der Engmaschigkeit der textilen Bewehrung besteht jedoch die Gefahr, dass der Thermoanker an dieser hängen bleibt. Daher ist das zweite Ende des Thermoankers schlanker ausgebildet. Die Spitze ist derartig ausgebildet, dass diese, sollte sie beim Eintauchen auf einen Faserstrang treffen, von diesem abrutscht und durch die Masche des Textils hindurchgeführt wird. Die Profilierung sorgt außerdem für einen ausreichenden Verbund zum Beton. Die Vermeidung von Wärmebrücken wird durch die Verwendung von glasfaserverstärktem Kunststoff erzielt.

An Prototypen des Thermoankers wurden am Institut für Massivbau der TU Dresden Tastversuche durchgeführt. Neben Längszug- und -druckversuchen erfolgten auch Querzugversuche zur Ermittlung der Tragfähigkeit. Da die Belastung der Einbauteile im Fertigteilwerk schon bereits am ersten Tag nach der Herstellung erfolgen kann, wurden ausgewählte Tragfähigkeitsuntersuchungen bereits nach einem Tag statt nach den üblichen 28 Tagen nach der Herstellung durchgeführt. Zusätzlich erfolgten Vergleichsuntersuchungen an einem Thermoanker für Stahlbetondoppelwände, einbetoniert in eine dünne Carbonbeton-Wandschale. Die Ergebnisse aus den Tragfähigkeitsuntersuchungen sind durchaus positiv zu bewerten. Im Längszugversuch nach 28 Tagen konnte zum Beispiel nahezu eine Verdopplung der Tragfähigkeit des neu entwickelten Thermoankers im Vergleich zum Stahlbeton-Thermoanker erzielt werden.

Dipl.-Ing.
Juliane Wagner
studierte an der TU Dresden Bauingenieurwesen mit der Vertiefung Konstruktiver Ingenieurbau. Seit 2015 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Massivbau der TU Dresden und seitdem maßgeblich beteiligt an den Carbonbeton Forschungsprojekten C³-V1.1 „Produktion“ und C³-V2.1 „Dauerstand“.

Entwicklung von Prüfmethoden zur Bestimmung der Zugfestigkeit von textilen Bewehrungen

Geprüfter Faserstrang neben Bewehrungsgelege · Foto © ITM/TU Dresden

Für die Etablierung von Carbonbeton in die technische Praxis sind Prüfmethoden zur verlässlichen Bestimmung der mechanischen Kennwerte der Zugfestigkeit, der Höchstzugkraftdehnung und des E Modul essentiell. Im Rahmen des Vorhabens C³-V1.2 – Nachweis- und Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen – wird seitens des ITM und weiterer Partner zu diesem Zwecke eine neuartige Prüfmethode entwickelt.

Die Prämisse ist hierbei, eine Prüfmethode für Bewehrungsmaterial des Typs „Flexibles Textil" zu entwickeln, die sowohl eine verlässliche Kennwertermittlung garantiert als auch vergleichsweise schnell durchgeführt werden kann, um beispielsweise auch bei einer Produktionsüberwachung der textilen Bewehrungen eingesetzt zu werden.

Hierzu wurden in erster Instanz etablierte Prüfmethoden, wie die Prüfung mit Umschlingungsprobenhaltern gemäß der ISO 3341 sowie mit aufgebrachten Krafteinleitungselementen gemäß DIN EN ISO 10618, kritisch in Bezug auf den vorliegenden speziellen Anwendungsfall untersucht. In dieser Analyse wurde festgestellt, dass die ISO 3341, welche speziell für ungetränkte Faserbündel (Rovings) angewendet wird, für ein getränktes Bewehrungsgelege aufgrund geometrischer sowie methodenbedingter Unzulänglichkeiten nicht genutzt werden sollte. Insbesondere wird das Material aufgrund der Umschlingung um den Probenhalter partiell in seiner Struktur geschwächt und zudem einseitig belastet, was zu einer fehlerhaften Kennwertermittlung führt.

Bei dem Verfahren gemäß der DIN EN ISO 10618 „Kohlenstofffasern – Bestimmung des Zugverhaltens von harzimprägnierten Garnen" soll ein ungetränktes Faserbündel für die Prüfung komplett mit Harzmaterial imprägniert und an den Enden mit ebenfalls aus Harz bestehenden Krafteinleitungselementen versehen werden. Obgleich der erste Schritt im vorliegenden Anwendungsfall aufgrund der bereits bestehenden Tränkung entfällt, wird für den zweiten Schritt eine entsprechende Gießform benötigt um die vorgegebene Probengeometrie zu erzielen. Dieses Prüfverfahren liefert verlässliche Kennwerte, ist jedoch aufwendig und zeitintensiv.

Aus diesem Grund wird eine neue Prüfmethode entwickelt, mit der unter geringem Zeitaufwand reproduzierbare und verlässliche Kennwerte ermittelt werden können. Hierbei werden spezielle Ledertüllen eingesetzt, in welche ein aus einem Gelege herausgetrennter Kett- oder Schussfaden eingelegt wird. Diese Ledertüllen werden durch Vulkollanklemmbacken in einer hydraulischen Prüfklemme unter geringem Druck eingespannt, was eine schonende Materialprüfung ermöglicht. Durch Einsatz von optischen Längenänderungsaufnehmern kann zudem eine exakte Bestimmung der Dehnung und somit des E-Moduls erzielt werden.

Um die neue Prüfmethode mit der Lederklemmung zu verifizieren, wurden Vergleichsversuche mit dem Verfahren nach DIN EN ISO 10618 sowie Ringversuche in Zusammenarbeit mit der solidian GmbH durchgeführt. Unabhängig vom ITM wurde seitens solidian in Zusammenarbeit mit der Fa. Zwick GmbH & Co. KG ein ähnliches Prüfsystem entwickelt, was derzeit für die Prüfung des Bewehrungsmaterial des Typs „steifes Textil" eingesetzt wird.

Die hohe Übereinstimmung der Vergleichs- sowie Ringversuche bei verschiedenen Materialvarianten des „flexiblen Textils" mit unterschiedlichen Tränkungsmitteln bestätigt die Einsatztauglichkeit dieses neuartigen Prüfverfahrens zur Erfassung von zugmechanischen Kennwerten des textilen Bewehrungsmaterials.

Dipl.-Ing. Johannes Wendler

Johannes Wendler, Jahrgang 1985, schloss sein Maschinenbau-Studium Ende 2012 als Diplom-Ingenieur an der TU Dresden in der Vertiefungsrichtung Textiltechnik ab. Seit Anfang 2013 ist er Mitarbeiter am ITM der TU Dresden und ist hierbei in der Forschungsgruppe Mess- und Sensortechnik tätig. Für seine geplante Promotion beschäftigt sich der Doktorand mit dem Thema der textilbasierten Bio-Sensorsysteme für die In-situ-Erfassung physiologischer Parameter. Seit 2016 ist er in der Bearbeitung von C³-V1.2 in der PG 3 involviert und befasst sich hierbei mit der Evaluation neuartiger Prüfmethoden.

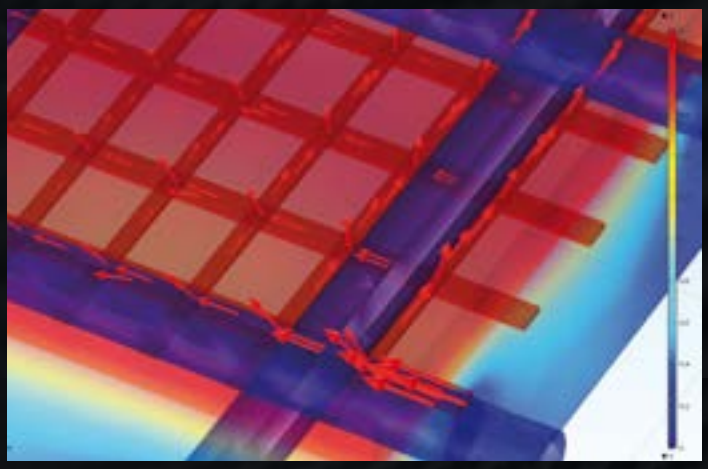
ANZEIGE

KOCH
Korrosions- & Oberflächenschutz

KOCH
Cathodic Concrete Protection

Innovative Instandhaltung mit Carbonbeton

Kathodischer Korrosionsschutz

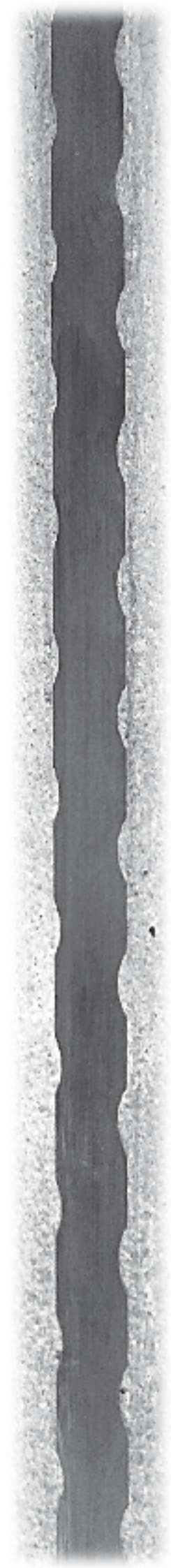


Bemessung und Modellierung

Effiziente Fugenlösungen

Statische Verstärkungen

KOCH GmbH | Hagener Str. 87 | 57223 Kreuztal
Telefon: +49 2732 1426 | Telefax: +49 2732 25510
koch@betonbeschichtung.net | www. betonbeschichtung.net



engineering.tomorrow.togehter.

thyssenkrupp Carbon Components GmbH · Frankenring 1, 01723 Kesselsdorf · Tel.: +49 351 320395-04,
E-Mail: Carbon-components@thyssenkrupp.com

Carbon4ReBAR (C4R)

Excellent corrosion resistance

- No additional surface coating required compared to competitor's glass fiber (gfrp) reinforced bars
- Minimized degradation of strength over time due to utilization of alkali resistant raw materials
- Reduced concrete covering enables advanced architectural designs

Excellent thermal resistance

- Sustainable building design resulting from increased component life-time and decreased maintenance measures

Excellent mechanical properties

- Superior tensile strength compared to gfrp and steel rebars

Significantly lighter than steel rebars

- Decreased weight and space-savings of constructions realized by less concrete usage and lightweight rebars
- Slim and filigree structures become possible expanding the scope of architectural freedom

Efficient, reliable, cost-saving

- Large series manufacturing processes for cost-efficient high volume output
- Continuous quality management methods for highest product standards including extensive pre- and post-monitoring

Automotive Traceability

- Standards from automotive industry allow for complete tracking of manufactured products

✓ Superior Strength of Rebar

✓ Excellent Alkali Resistance

✓ Significant Increase of the Structure's Life-Time

✓ Highest Quality Management Standards

✓ Continuous Manufacturing Processes for Cost-Efficient Production

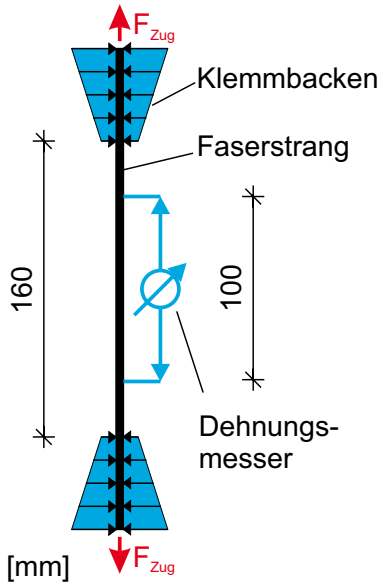
Feel free to contact us:

Carbon-components@thyssenkrupp.com

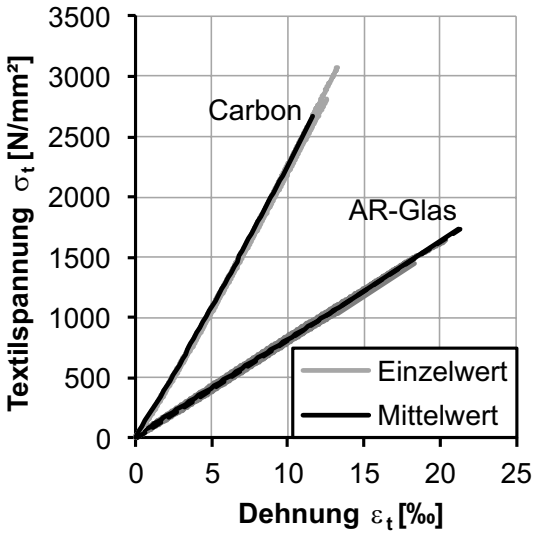
In cooporation with C³ - Carbon Concrete Composite e.V.
Carbon Concrete was awarded with Deutscher Zukunftspreis

thyssenkrupp

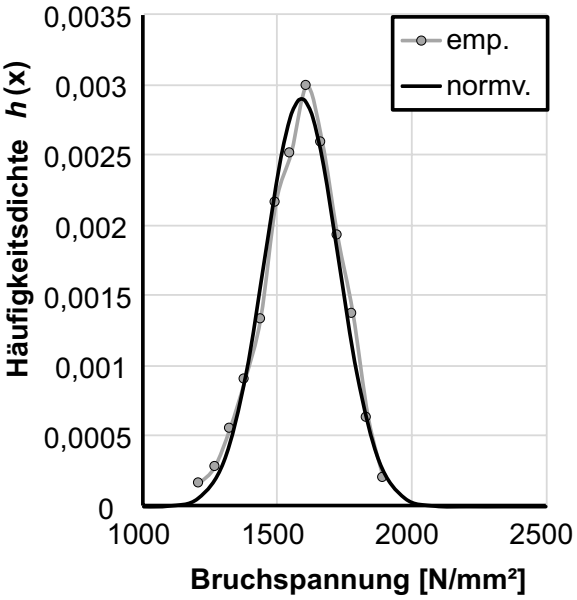
Ermittlung von Materialkennwerten für die Bemessung von textilbewehrten Bauteilen



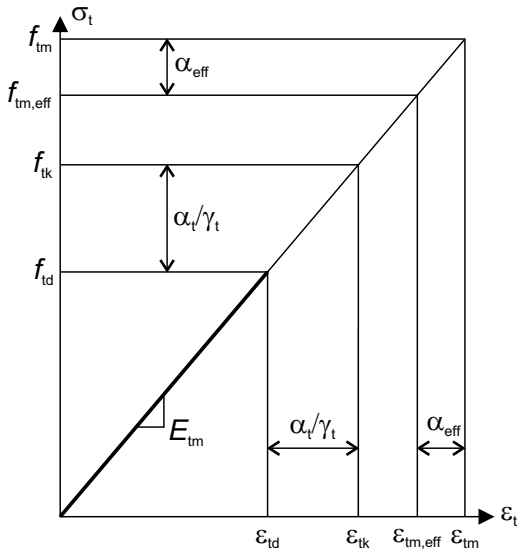
a)



b)



c)



d)

a) Versuchsaufbau des standardisierten Faserstrangzugversuches, b) Spannungs-Dehnungs-Linie von Carbon- und AR-Glasfasersträngen, c) Dichtefunktion der Bruchspannung eines AR-Glasfaserstranges, d) Materialgesetz eines Faserstranges für die Bemessung · Grafiken © Sergej Rempel

Für die Bemessung von textilbewehrten Bauteilen sind die mechanischen Kennwerte der Bewehrung erforderlich. Für deren Ermittlung ist ein standardisierter Versuch erforderlich, der wirtschaftlich durchführbar ist. Hierfür wurde ein Prüfverfahren entwickelt, das nicht nur von Forschungseinrichtungen sondern von jedem Bewehrungshersteller eingesetzt werden kann. Damit lassen sich die Materialeigenschaften schnell und günstig ermitteln und vergleichen. Zusätzlich lassen sich mit dem Versuch statistische Daten erheben und darauf aufbauend die Bemessungswerte ermitteln.

Für den standardisierten Faserstrangzugversuch (FSZ) werden einzelne Faserstränge aus den Textilgelegen herausgeschnitten und geprüft. Das hat den Vorteil, dass die Einflüsse aus der Produktion auf die Materialkennwerte bei der Prüfung berücksichtigt werden. Der Faserstrang wird mit einer freien Prüflänge von 160 mm gezogen, dabei erfolgt die Lasteinleitung über Klemmbacken. Neben der Kraftmessung erfolgt die Aufnahme der Dehnung über eine Messlänge von 100 mm. Bei den vollständig getränkten Fasersträngen werden die gleichen Bruchspannungen und E-Moduln sowohl im FSZ, als auch im Verbundbauteil erreicht. Aus diesen Gründen dürfen die Materialkennwerte am reinen Faserstrang mit einer Klemmvorrichtung erfolgen.

Die Ergebnisse der Faserstrangzugversuche belegen, dass die textile Bewehrung sich bis zum Bruch linear-elastisch verhält. Die zugehörigen statistischen Nachweise zeigen, dass die Bruchspannung und der E-Modul normalverteilt sind. Die Ergebnisse belegen, dass die Prüflänge und die Anzahl keinen Einfluss auf den Erwartungswert des E-Moduls haben. Somit wird nur der mittlere E-Modul für die Bemessung benötigt. Die Normalverteilung für den E-Modul bleibt ebenfalls für alle Längen und jede Anzahl an parallel geschalteten Fasersträngen bestehen. Im Gegensatz dazu sinkt die Standardabweichung mit der Länge bzw. Anzahl. Im Gegensatz dazu sind die statistischen Kennwerte der Bruchspannung allerdings von der Prüflänge und der Anzahl der Faserstränge abhängig. Bei den experimentellen Untersuchungen konnte beobachtet werden, dass mit zunehmender Länge oder Anzahl der Erwartungswert und die Standardabweichung sinken. Allerdings ist der Aufwand aufgrund der hohen Versuchsanzahl enorm. Deshalb wurde mit theoretischen Untersuchungen gezeigt, dass alleine die Ergebnisse des FSZ ausreichend sind, um die notwendigen statistischen Kennwerte für jede beliebige Länge und Anzahl mit der Extremwerttheorie berechnen zu können. Damit ist der 160 mm lange Faserstrangzugversuch ausreichend, um alle notwendigen statistischen Kennwerte sowohl für eine Bemessung, als auch für eine Sicherheitsbetrachtung ermitteln zu können.

Da im Bauteil die Zuglänge größer als 160 mm sein wird und auch die Anzahl 1 überschritten wird, muss eine Umrechnung auf eine effektive Bruchspannung $f_{tm,eff}$ durchgeführt werden. Das heißt, dass die Bruchspannungen f_{tm}, die an einem Strang bestimmt wird, nicht direkt auf das Verhalten im Bauteil übertragbar ist und mit dem Abminderungsbeiwert α_{eff} abgemindert werden muss. Mit der Erkenntnis, dass die Bruchspannung normalverteilt ist, kann die charakteristische Bruchspannung f_{tk} bestimmt werden. Sie entspricht dem 5%-Quantilwert der Verteilungsfunktion. Mit der anschließenden Division durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_t wird die Bemessungsspannung f_{td} ermittelt. Zusätzlich muss noch ein Abminderungsbeiwert α_t infolge einer Dauerstandbelastung für die textile Bewehrung berücksichtigt werden.

Die durchgeführten statistischen und probabilistischen Berechnungen empfehlen einen Wert für $\alpha_{eff} = 0{,}85$ und für den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_t = 1{,}3$.

Dr.-Ing. Sergej Rempel

studierte Bauingenieurwesen mit Vertiefungsrichtung konstruktiver Ingenieurbau an der RWTH Aachen. Anschließend war er ab 2011 im Ingenieurbüro HS&P in Köln als Tragwerksplaner tätig. Ab 2012 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der RWTH Aachen, wo er das Tragverhalten und die Zuverlässigkeit von Textilbetonbauteil untersuchte. Seit 02/2018 ist er als Projektleiter bei solidian GmbH angestellt und unter anderem für die Bemessung von Textilbetonbauteilen verantwortlich.

Experimentelle Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit von dünnwandigen Carbonbetonbauteilen

Querkraftversuch an einem C-UHPC Träger mit T-Querschnitt unmittelbar nach dem Versagen · Foto © Benjamin Kromoser

Die Bauindustrie und im speziellen die Zement- und Betonindustrie verbrauchen einen beträchtlichen Teil der natürlichen Ressourcen, die aus der Lithosphäre extrahiert werden. Um den Rohstoff- und Energiebedarf zu reduzieren bedarf es an alternativen Lösungen im Betonbau, die die Materialien besser ausnutzen. Eine mögliche Ergänzung zum klassischen Stahlbetonbau ist der gezielte Einsatz von Hochleistungsmaterialien.

Ein Ansatz ist beispielsweise die Verwendung von CFK Carbonfaserverbundkunststoff (CFK) – Bewehrung. Durch die sehr guten mechanischen Eigenschaften der Materialien können besonders filigrane Konstruktionen im Betonbau realisiert und das wesentliche Eigengewicht bedeutend reduziert werden. Begleitend wirkt sich die hohe Dauerhaftigkeit der Bewehrung positiv auf den ökologischen Fußabdruck und die Lebenszykluskosten aus. An der Universität für Bodenkultur Wien und an der TU Wien wird aktuell das Tragverhalten von dünnwandigen Bauteilen (T-Träger und Deckenelemente) aus CFK bewehrtem ultrahochfestem Beton (engl. **u**ltra-**h**igh **p**erformance **c**oncrete - UHPC), gemeinsam **C-UHPC**, untersucht. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse von Querkraftuntersuchungen an einer Serie von 9 C-UHPC Trägern mit T-Querschnitt vorgestellt. Als Biegebewehrung wurden jeweils zwei Carbonstäbe im Untergurt verwendet. Bei dem vorgespannten Träger wurde zusätzlich ein weiterer Stab im Obergurt angeordnet. Die konstruktive und Querkraftbewehrung bildeten vorgeformte textile Bewehrungselemente der Firma solidian GmbH.

Um das Querkrafttragverhalten besser zu verstehen, wurden unterschiedliche Konfigurationen definiert und geprüft. Die wesentlichen Untersuchungsparameter waren unterschiedliche Textiltypen (Maschenweite, Bewehrungsgrad, Tränkungen), unterschiedliche a/d Verhältnisse und unterschiedliche Querschnittsabmessungen (Steg, Obergurt, Untergurt). Insbesondere wurden die Auswirkungen einer zusätzlichen Vorspannung der CFK Stäbe auf das Querkrafttragverhalten untersucht. Als Querkraftbewehrung wurden zwei unterschiedliche Textilien verwendet. Dabei wurden der Rovingquerschnitt, die Maschenweite sowie das Tränkungsmaterial variiert (Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Copolymer (ASA), Epoxidharz). Als Versuchsaufbau wurde ein Dreipunktbiegeversuch verwendet. Die Einzellast wurde exzentrisch aufgebracht, um einen klar definierten Testbereich festzulegen, in dem das Versagen erwartet werden kann. Das a/d Verhältnis wurde variiert, um den Einfluss der Schubschlankheit auf die Querkrafttragfähigkeit zu untersuchen. Ein Versuchskörper wurde jeweils für zwei Versuche verwendet. Der geschädigte Bereich aus dem ersten Versuch, kragte im zweiten Versuch über das Auflager aus. Während der Versuche wurden die Kräfte, die Verformungen und Verzerrungen an ausgewählten Stellen gemessen. Zusätzlich wurde die Risskinematik von kritischen Rissen mit Hilfe digitaler Bildkorrelation analysiert.

Bei allen Versuchskörpern kam es zu einem Querkraftversagen. Die Ergebnisse zeigten, dass ein steigendes a/d Verhältnis zu einem fallenden Querkrafttragverhalten führt. Weiter wurde beobachtet, dass eine höhere Wandstärke von Steg und Unter- bzw. Obergurt zu einer vergleichsweise höheren Querkrafttragfähigkeit führt. Es konnte insbesondere festgestellt werden, dass bessere Materialeigenschaften der textilen Bewehrung bzw. ein höherer Bewehrungsgrad in diesem Fall zu einer vergleichsweise geringen Erhöhung der Maximalkraft führen. Grund dafür war ein vorzeitiges Delaminieren der Betondeckung. Die zusätzliche Vorspannung führte zu einer deutlichen Erhöhung der Querkrafttragfähigkeit. Trotz einer verhältnismäßig geringen Vorspannkraft konnte eine im Vergleich zum nicht vorgespannten Träger um 44 % höhere Maximalkraft beobachtet werden.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Benjamin Kromoser arbeitete von 2012-2015 (Prädoc) und 2015-2018 (Postdoc) als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tragkonstruktionen der TU Wien. Im Jahr 2016 war er für 6 Monate als Gastforscher am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) an der Universität Stuttgart tätig. 2018 wurde er an der Universität für Bodenkultur Wien als Professor am Institut für Konstruktiver Ingenieurbau berufen und leitet die Arbeitsgruppe für Biobasiertes Konstruieren.

Serienreife modulare Fertigteilgaragen aus Textilbeton

Fertigteilgarage aus Textilbeton · Foto © solidian GmbH

Für den Bau von Fertiggaragen mit textiler Bewehrung steht jetzt ein Konzept mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (AbZ) von solidian zur Verfügung. Damit lassen sich Fertigteilgaragen leichter und umweltfreundlicher produzieren. Die Entwicklung fand in einer Kooperation zwischen solidian, Beton Kemmler und dem IMB der RWTH Aachen statt.

Die Wände und Decke sind mit der Glasfaserbewehrung solidian GRID Q121/121-AAE-38 bewehrt und kraftschlüssig mit einer Bodenplatte aus Stahlbeton verbunden. Die Wände haben einen veränderlichen Querschnitt, mit einer Wanddicke von 40 mm am Fußpunkt und 50 mm am Kopfende. Die Deckendicke beträgt einheitlich 60 mm. Zusätzlich kommen Glasfaserstäbe solidian REBAR Ø10-A beispielsweise in den Unterzügen zum Einsatz.
Die wirtschaftlichen Vorteile liegen durch den Einsatz der leichten und nicht-korrodierenden Glasfaserbewehrungen von solidian damit auf der Hand: Zum einen steht mit dünneren Wänden mehr Nutzfläche im Innenraum der Garage zur Verfügung. Zum anderen wird die Betonmasse reduziert, was sich insbesondere beim Transport bemerkbar macht. Da das Eigengewicht von einer Garage mit dieser Bauweise weniger als 11,5 t beträgt, können trotz erloschener Sondergenehmigung – für teilbare Ladungen über 23 t – zwei Garagen gleichzeitig befördert werden. Damit halbieren sich die Transportkosten der Fertiggaragen. Und nicht zuletzt profitiert die Umwelt davon.

Die Fertiggaragen werden aus einem selbstverdichtenden Beton C45/55 der Firma Kemmler mit 8 mm Größtkorn hergestellt. Insgesamt sind sechs verschiedene Grundtypen in der abZ geregelt, die sich in den Abmessungen und in den Positionen der Toröffnungen unterscheiden. Die Bewehrungs- und Bemessungsregeln sind für Einzel-, Doppel- und Großraumgaragen anwendbar. Jeder Typ ist in einer Länge von 6 m (Großraumgarage) bzw. 8 m (Einzel- und Doppelgarage) verfügbar und somit sehr flexibel. Die Breite der Garagen variiert zwischen knapp 3 m und 7,5 m. Zusätzlich lassen sich Öffnungen für Türen oder Fenster an fast jeder beliebigen Stelle realisieren.

Im Rahmen des Zulassungsverfahrens wurden umfangreiche Versuche zur Untersuchung des Trag- und Dauerstandverhaltens sowie der entwickelten Konstruktionsdetails in Aachen durchgeführt. Beton Kemmler hat hierfür, neben den kleinformatigen Prüfkörpern, zusätzlich fünf Prototypen im Maßstab 1:1 gefertigt. Hiermit wurde der Tragwiderstand am Bauteil ermittelt und anschließend ein Bemessungsmodell abgeleitet. Das erforderliche Nachweiskonzept ist in der Zulassung flexibel gehalten, so dass mit der abZ Fertiggaragen unterschiedlicher Typen und Abmessungen sowie beliebige Anordnung von Türen und Fenstern hergestellt werden können. Erstmalig kann mit der Z-71.3-40 der Tragwiderstand bei Biegebeanspruchung in der Decke und im dem Unterzug mit Bewehrungszulagen erhöht werden. Hierfür sind rechnerische Nachweise ausreichend.

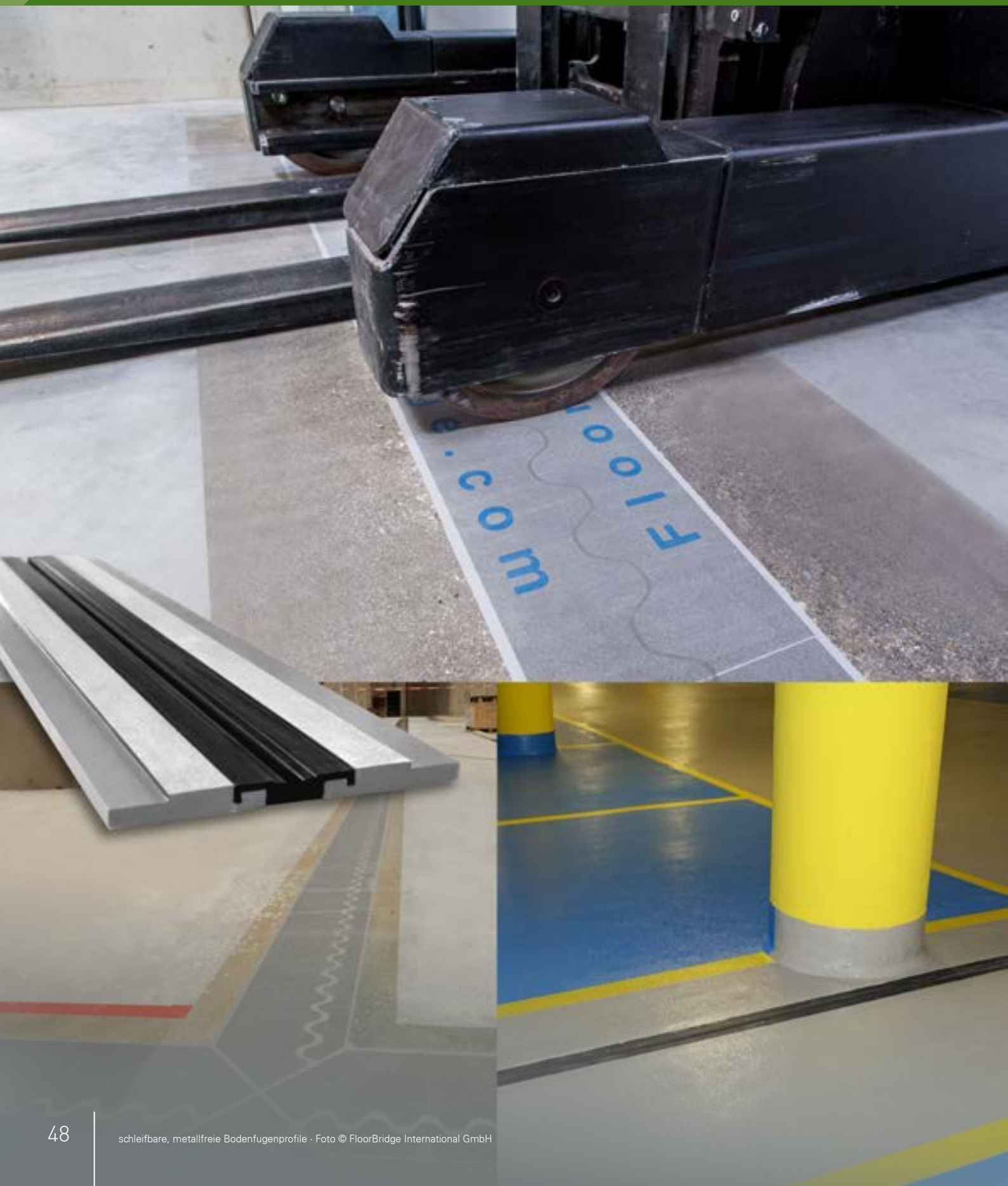
Zusammen mit den beteiligten Partnern – Beton Kemmler, Institut für Massivbau der RWTH Aachen und solidian – wurden die weltweit ersten Fertiggaragen aus Glasfaserbewehrungen von solidian im vergangenen Jahr im Hechinger Abfallwirtschaftszentrum erfolgreich aufgestellt und somit ein Meilenstein im Betonbau gesetzt.

Dr.-Ing. Ali Shams
studierte Bauingenieurwesen mit Vertiefungsrichtung konstruktiver Ingenieurbau an der RWTH Aachen. Anschließend war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der RWTH Aachen beschäftigt, wo er das Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus Textilbeton erforscht hat. Seit 01/2016 ist er als Projektleiter bei solidian GmbH tätig und unter anderem für Zulassungsverfahren und Entwicklungsprojekte verantwortlich.

Dr.-Ing. Sergej Rempel
studierte Bauingenieurwesen mit Vertiefungsrichtung konstruktiver Ingenieurbau an der RWTH Aachen. Anschließend war er ab 2011 im Ingenieurbüro HS&P in Köln als Tragwerksplaner tätig. Ab 2012 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der RWTH Aachen, wo er das Tragverhalten und die Zuverlässigkeit von Textilbetonbauteil untersuchte. Seit 02/2018 ist er als Projektleiter bei solidian GmbH angestellt und unter anderem für die Bemessung von Textilbetonbauteilen verantwortlich.

TUDALIT® Leichter bauen – Zukunft formen
C3 carbon concrete composite

Fugenprofile in Carbonfaser-Verbund-bauweise werden weltweit in Industrie- und Parkhausböden eingesetzt.



schleifbare, metallfreie Bodenfugenprofile · Foto © FloorBridge International GmbH

Bodenfugenprofile sind sehr hohen Belastungen ausgesetzt, denen herkömmliche Profile oft nicht auf Dauer standhalten können.

Herausforderung Gewerbe- und Industrie
Sind die eingebauten Bodenprofile nicht plan, entstehen neben Lärm auch große Stoßbelastungen auf die Radlager und nicht zuletzt auf den Rücken des Staplerfahrers. Krankenstände und teure Reparaturen an Flurförderfahrzeugen (Stapler, Hubwagen, etc.) können die Folge sein.

Herausforderung Parkhaus
Wer hat sie nicht schon gesehen: desolate und undichte Fugen, wie man sie zum Beispiel in Parkhäusern findet, sind nicht nur ein optisches Problem. Schwerwiegender sind mögliche Folgeschäden, bis hin zu einer beeinträchtigten Statik.

Durch den unterschiedlichen Temperaturausdehnungskoeffizienten der Kunstharzbeschichtung und des Stahlfugenprofils können diese Profile im Übergangsbereich zur Parkdeckbeschichtung undicht werden. So kann Salzwasser (durch Autoverkehr) eindringen und die statisch notwendige Bewehrung schädigen.

FloorBridge® denkt die Bodenfugen neu:
Mit einem, für FloorBridge® entwickelten Carbongewebe in Verbindung mit neu formulierten Kunstharzen und speziellen Füllstoffen, werden sehr hohe Festigkeiten erzeugt. Diese einzigartige Kunstharzformulierung hat einen ähnlichen Temperaturausdehnungskoeffizienten wie die angrenzende Parkdeck- oder Industriebodenbeschichtung.

Die FloorBridge® Fugenprofile in Carbonfaser-Verbundbauweise lassen sich auch nachträglich mit geringem Aufwand und innerhalb kürzester Zeit so einbauen, dass eine geräusch- und erschütterungsarme Überfahrt mit allen erdenklichen Transportgeräten, vom Krankenbett bis zum Hochregalstapler, möglich ist. Da das FloorBridge® Fugenprofil mehrfach abschleifbar ist, kann es optimal an den bestehenden Boden angepasst werden, was eine dauerhafte Lösung für Fugenprobleme bedeutet.

Aufgrund der Metallfreiheit sind diese Fugenprofile rostfrei, unempfindlich gegen Frost und Tausalz und verfügen über eine hohe chemische Beständigkeit.

Ein weiteres Hauptmerkmal ist die geringe Einbauhöhe und der einfache Einbau, denn dadurch ist die Befahrbarkeit des FloorBridge® Fugenprofiles bereits nach 12 Stunden gegeben.

Weltweit wurden in den letzten sechs Jahren mehr als 75.000 Laufmeter FloorBridge® Fugenprofile in Carbonfaser-Verbundbauweise eingebaut.

Die Firma FloorBridge® International GmbH besitzt die Patentrechte in Europa, den Vereinigten Staaten von Amerika und in China.

Leopold Leitner
ist geschäftsführender Gesellschafter der FloorBridge® International GmbH in Feldkirchen a.d. Donau, Österreich und gerichtlich beeideter Sachverständiger für Kunstharzbeschichtungen und Betoninstandsetzung.

Herr Leitner hat gemeinsam mit seinem Partner Hans Voet ein vollkommen neues Produkt für die Lösung aller Fugenprobleme entwickelt und dieses auch patentrechtlich schützen lassen.

TUDALIT®
Leichter bauen – Zukunft formen
C3 carbon concrete composite

ANZEIGE

Implenia® Die Instandsetzer.

Wir haben mehr als 25 Jahre Erfahrung im Bereich der Instandsetzung und wickeln auch komplexe Großprojekte zuverlässig und in höchster Qualität ab. Mit fünf Geschäftsstellen bundesweit sind wir stets in Ihrer Nähe. Unsere Experten verfügen über Spezialqualifikationen sowie über zertifizierte Eignungsnachweise für Klebebewehrungen / CFK-Lamellen und Textilbeton. Dank der engen Zusammenarbeit innerhalb der Implenia Gruppe stehen uns jederzeit Experten anderer Fachgebiete zur Seite, sei es aus der Baustofftechnik, dem Spezialtiefbau oder der Baustellenlogistik.

Implenia Instandsetzung GmbH, Zielstattstraße 19, 81379 München
T +49 89 720 18 87 0, info.instandsetzung@implenia.com

Sie finden uns auch in Erfurt, Hamburg, Herten (NRW), Mainz und Stuttgart.

Implenia denkt und baut fürs Leben. Gern.

instandsetzung.implenia.com

ANZEIGE

IMA 25 DRESDEN

IMA DRESDEN
BAUPRODUKTEPRÜFUNGEN

Die IMA Dresden ist eine unabhängige, anerkannte und akkreditierte Prüfstelle, Inspektions- und Überwachungsstelle sowie Zertifizierungsstelle. Im Bereich der Bauprodukte spielt sie eine tragende Rolle und unterstützt Hersteller, Betreiber, Zulieferer und Sachverständige bei allen wichtigen Fragen der Materialcharakterisierung, Lebensdauer und Zustandsbewertung, Produktkonformität aber auch Qualitätsstandards.

Bei uns sind Sie gut beraten – vor dem Hintergrund der Globalisierung und Regulierung leiten wir Sie durch die Anforderungen, Prüfverfahren und Vorgaben der geltenden Normen, Regelwerke und Gesetze.

- Materialprüfung
- Bauteile- und Strukturtests
- Zerstörungsfreie Prüfung
- Schadensanalysen
- Inspektion und Überwachung
- Zertifizierung

IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH
Prüfen, überwachen, inspizieren und zertifizieren

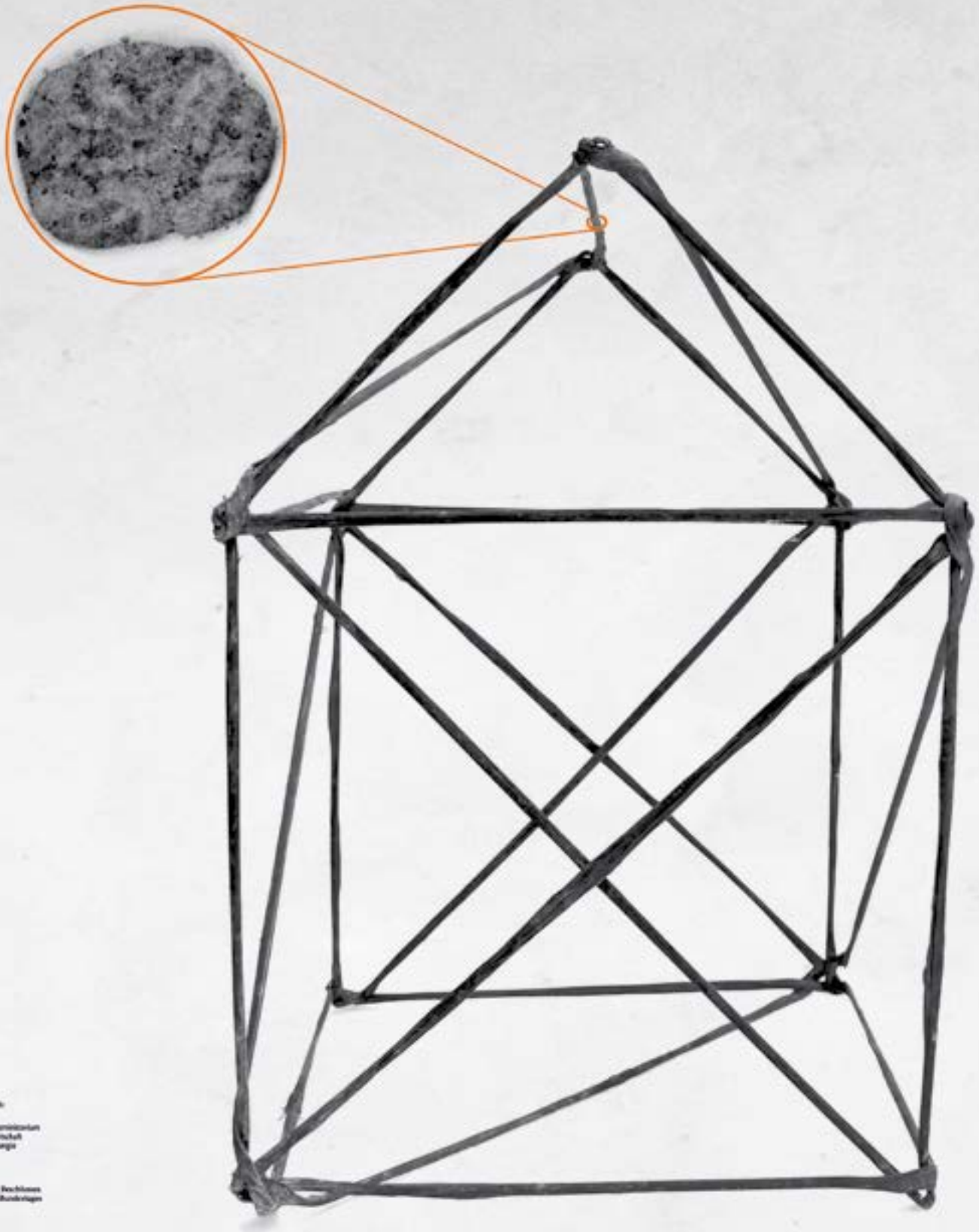
ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle
D-PL-13119-01-00
D-PL-13119-02-00
D-IS-13119-01-00
D-ZE-13119-01-00

Deutsches Institut für Bautechnik DIBt

www.ima-dresden.de
ima@ima-dresden.de

Besuchen Sie uns:

Herstellung dreidimensionaler mineralisch getränkter Carbonfaserbewehrungen | rebar^{M}



gefördert durch
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

3D-Carbonfaserbewehrung
Foto © Simone Hempel, Albert Michel & Christoph Großmann

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
JvP
msl
JOHNE & GROß

Die intensive Netzwerkarbeit des C³-Projektes generiert derzeit in allen Zweigen der Gesellschaft Interesse an Carbonbeton. Für ausgewählte flache und geradlinige Fertigteile gibt es bereits Lösungen, um Produkte in Kleinserie anbieten zu können. Die Fertigung gestalterisch freier Elemente erfordert jedoch weiterhin viel Handarbeit. Ein zeitnaher Erfolg ist an neuartige Fertigungsweisen - wie folgend zu lesen - und auch an allgemeine Berechnungsregeln und Zulassungen gebunden.

Den Weg des Carbonbetons möchte die Firma Johne & Groß aus Sicht eines Bewehrungsbau-Unternehmens (klassische Biegerei) mitgestalten. Dabei liegt unser Hauptaugenmerk auf getränkten Carbonfasergarnen in Stabform, welche durch eigene Maschinen in Länge und Geometrie verändert werden können. Hierunter fallen:

- Fasern in Thermoplast getränkt
- Fasern in mineralischer Suspension getränkt

Schwerpunktmäßig beschäftigen wir uns dabei partnerschaftlich mit der kontinuierlichen Fertigung mineralisch getränkter Carbonfasergarne sowie deren Ablage als dreidimensionale und geschlossene Bewehrungsstruktur. Dieser Weg wurde eingeschlagen, da er die Herstellung innerhalb einer Biegerei ermöglicht, aufgrund der Artgleichheit zum Beton einen Stoffschluss schafft und als dreidimensional geschlossene Struktur visionär ist.

Die Strategie auf dem Weg zu einer serienfähigen Bewehrung umfasst folgende Einzelthemen:

- Eingangsgrößen/Bemessung
- Entwicklung der Bewehrungsstruktur
- Fertigung der Bewehrungsstruktur
- Fügen von Knotenpunkten & Stützstrukturen
- Nachbehandlung der Bewehrungsstruktur
- Transport & Einbau der Bewehrung

Zu den Eingangsgrößen zählen Statik bzw. Tragwerksplanung und Vorgaben des DIBt. Da der Umgang mit Carbonbeton FE-Modelle und vertiefte Kenntnisse aus den Entwicklungen innerhalb des C³ erfordert, wurde bereits frühzeitig erkannt, dass für die Auslegung Hochschulen, wie beispielsweise die TU Dresden und die HTW in Dresden, oder größere Ingenieurbüros benötigt werden.

Aus den statischen Vorgaben ist zunächst eine Bewehrungsstruktur zu entwickeln. Hierzu wird aktuell untersucht, inwieweit die BIM Methode geeignet ist, einen geschlossenen Garnverlauf zu konstruieren. Sobald ein räumliches Bahnmodell der Bewehrungsstruktur vorliegt, kann ein CAD-CAM-Softwaremodul erstellt werden, welches daraus die Position und Orientierung von Umlenkpunkten sowie die Bahnkurven für die Garnablage mit einem Manipulator generiert.
Die Fertigung der Bewehrungsstruktur befindet sich derzeit im Versuchsstadium. Hierbei werden Elemente der Textiltechnik, eine mineralische Suspension des IfB und das Robotik-Versuchsfeld der JVP GmbH kombiniert.
Um Maßhaltigkeit und Transportstabilität der Bewehrungsstruktur zu gewährleisten, werden Lösungen gesucht und erprobt, mit denen in einem nachgelagerten Fertigungsschritt stützende bzw. abstandgebende Elemente eingebracht und Knotenpunkte gefügt werden können.
Das abgelegte mineralisch getränkte Garn benötigt anschließend eine Nachbehandlung. Hierzu werden verschiedene Wege zur gezielten Steuerung der Wassermenge in bzw. um das Garn experimentell untersucht. Bis zur Aushärtung muss das Garn in seiner Position gehalten werden.
Ein Transport der bislang hergestellten Strukturen kann in einem Fertigteilwerk sichergestellt werden. Darüber hinaus bedarf es weiterer Entwicklungen.
Als Referenzobjekt wird zur Tagung ein Gesims gezeigt, welches den aktuellen Entwicklungsstand wiedergibt. Dieses wurde gemeinsam mit der Firma informbeton ausgewählt und steht repräsentativ für Elemente, welche schlank und leicht gestaltet werden können.

Dipl.-Ing.
Christoph Großmann
studierte an der TU Dresden Maschinenbau mit den Vertiefungen Leichtbau, der Kunststofftechnik und der Fertigungstechnik. Nach dem Diplom arbeitete er sechs Jahre am Lehrstuhl für Fügetechnik, wo er eine Forschergruppe aufbaute. Seit 2016 ist er zuständig für die Produkt- und Fertigungsentwicklung der Johne & Groß GmbH.

Projektpartner:
Dr. Marko Butler & Albert Michel vom IfB der TUD
Dr. Uwe Kühsel von der JVP GmbH
Peres Leberecht von der MSL GmbH

Konstruktions- und Verfahrenstechniken für mehrfach gekrümmte Schalen aus Carbonbeton

Schalung eines Carbon Pavillons · Foto © BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH

Um die Vorteile der Carbonbetonbauweise vollständig nutzen zu können, sollten nicht nur herkömmliche Konstruktionsformen des Stahlbetonbaus in Carbonbeton nachgebildet werden. Die neuartigen Materialeigenschaften ermöglichen besonders dünnwandige, filigrane Bauteile und erfordern dementsprechend auch neue Konstruktionsformen. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung textiler Bewehrungen. Die Konstruktion mit dünnwandigem Material ist ressourcensparend, wirtschaftlich, und nachhaltig. Doppelt gekrümmte Flächentragwerke verbinden sehr effizient raumbildende, abgrenzende und schützende Funktionen mit hoher Tragfähigkeit. Das Prinzip gilt nicht nur im Bauwerksmaßstab, sondern auch für die Konstruktion zahlreicher Bauteile. Die zweifellos spektakulärste – wenn auch nicht massenwirksamste – Anwendung sind doppelt gekrümmte Schalenbauwerke.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ConTEX, innerhalb des Zwanzig20 Konsortiums futureTex arbeitete BCS mit den Partnern GPAC, STFI Chemnitz, TU Dresden IfB, FE Union und Hörmann rail & road zusammen. BCS entwickelte geeignete Konstruktions- und Verfahrenstechniken für die Herstellung eines doppelt gekrümmten Schalenbauwerkes aus Carbonbeton und erprobte diese abschließend bei der Errichtung eines rotationsellipsoiden Demonstrators. Der Baukörper weist einen Durchmesser von 5m, bei einer Höhe von 2,50 m und einer minimalen Schalendicke von 25 mm auf. Er besteht aus vier vorgefertigten Schalenbauteilen, welche auf der Baustelle zusammengefügt wurden.
In umfangreichen Vorversuchen wurden verschiedene Formausbildungen und Herstellungsverfahren im Maßstab 1:5 erprobt. Es wurden ein Intrusionsverfahren, ein Eintauchverfahren, ein Laminierverfahren und verschiedene Gießverfahren untersucht. Weiterhin wurden Lösungen für die Verbindungstechnik, sowie eine Transport- und Montagetechnologie entwickelt.
Eine der größten Herausforderungen stellt die wirtschaftliche Herstellung einer geeigneten Form für die Produktion doppelt gekrümmter Schalenbauteile in dieser Dimension dar. Sie wurde aus einem modifizierten Gießereisand auf einem CNC- Fräsportal mit höchster Genauigkeit herausgearbeitet. Dabei wurden die geometrischen Daten des Architektenentwurfs direkt für die Konstruktion der Form und für die Programmierung der Fräswerkzeuge genutzt. Die dreiteilige Form besteht aus Unterform, Oberform und einer Stirnschalung. Die doppelt gekrümmten Schalenflächen werden allseitig von der Form umschlossen. Lediglich am oberen Rand befindet sich eine freie Spaltfläche, die bei der Montage als Fügefläche dient.

Das Einbringen des Feinbetons erfolgte in einem modifizierten Gießverfahren. Die Betonrezeptur wurde in Anlehnung an die Ergebnisse des C³-Basisprojektes B2 mit praxisüblichen Bindemitteln und regionalen Sanden entwickelt.

Die im Betonwerk hergestellten Viertelschalen weisen eine minimale Schalendicke von 25 mm auf, die zu den Verbindungsfugen und zum freien Öffnungsrand auf 50 mm zunimmt. Die Bewehrung besteht aus einer durchgehenden, räumlich geformten Carbonlage. An den Rändern und im Auflagerbereich wurden Zulagen angeordnet.

Die Elemente wurden auf der Baustelle zum ellipsoiden Baukörper zusammengefügt. Das pavillonartige Schalenbauwerk wurde zum Tag der Architektur, am 23. 06. 2018 der sehr interessierten Öffentlichkeit vorgestellt. Nach einem erfolgreichen Belastungsversuch wird es auf dem Gelände an der Bautzner Straße 76 in Dresden für weitere Beobachtungen des Langzeitverhaltens, für Studien- und Schulungszwecke dienen.

Dr.-Ing.
Gerald Eisewicht
1974 Abitur in Dresden; 1977-1981 Studium Bauingenieurwesen, TU Dresden, Dipl.-Ing. 1987 Promotion, TU Dresden; 1990-2003 Geschäftsführer und Regionalleiter Sachsen, Holcim (Deutschland) AG; Seit 2003 Geschäftsführer und Gesellschafter, BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH; Seit 2013 Vorsitzender des Unternehmensnetzwerkes Texton e.V.

Neue Anwendungen und Lösungen für Architektur, Kunst, Design

Textilbeton 2017 · Foto © Hanne Brandt, Privat

Textilbeton ist als vielseitiger und innovativer Werkstoff bekannt, der zu immer neuen Lösungen und Anwendungen führt. Mit dem Architekten Peter Böhm und den Studenten der Hochschule Trier sind neue Entwürfe und Konstruktionsweisen entstanden.

Verbundkonstruktionen aus Ziegeln und Textilbeton:
Für die Hagemeister Klinkerwerke bauen wir eine Überdachung aus Spaltklinkern mit einer innen liegenden Textilbetonverstärkung. Dadurch lassen sich aus Klinkersteinen sehr leichte und filigrane Schalenkonstruktionen mit hoher Tragfähigkeit herstellen. Es handelt sich um eine doppelt gekrümmte Schale mit auskragenden Enden. Der Bauteilquerschnitt von ca. 7 cm hat die Stärke eines herkömmlichen Ziegelsteins. Das innen liegende Textil wirkt im Verbund mit den Spaltklinkern und kann somit die Zugkräfte aufnehmen, während der Klinker die Druckkräfte trägt. In der Oberfläche ist nur der Klinker sichtbar. Die Überdachung wird aus Fertigteilen hergestellt und vor Ort zusammengefügt.

Sonnenschutzfassade:
Mit den Studenten der Hochschule Trier entwickelten wir eine Sonnenschutzfassade, die mit dem Architekturpreis TUDALIT 2015 und dem Concrete Design Award 2016 ausgezeichnet wurde. Aufgabe war es ein Sonnenschutzsystem mit Verschattungselementen aus Textilbeton für die Sanierung eines Hochschulgebäudes zu entwickeln. Ein Element wurde realisiert und am Gebäude angebracht. Die um vertikale Achsen drehbaren geschosshohen Dreieck-Elemente lassen sich nach Bedarf öffnen und schließen und lockern durch ihre individuelle Position die Fassade des ansonsten strengen Baukörpers auf.

Textilbetonverstärkter Schaumbeton:
In einem interdisziplinären Team entwickeln wir den Werkstoff „I-Foam“: Ein mit biologisch hergestellten Schaumbildnern konzipierter Schaumbetonwerkstoff mit hoher Wärmedämmfähigkeit. In Kombination mit Textilbeton lassen sich tragfähige, auch doppelt gekrümmte Bauteile hoher Festigkeit herstellen.
Aus meiner Arbeit im Atelier zeige ich neue Skulpturen und Möbel, die verschiedene Oberflächen und Herstellungsprozesse beschreiben.

Martin Kleppe

1973 geboren in Köln, 1993-99 Studium a.d. Staatlichen Kunstakademie Düsseldorf bei Prof. Tony Cragg, 1999 Meisterschüler von Prof. T. Cragg/ Akademiebrief, seit 2005 forschungsbegleitende Arbeit mit Textilbeton, 2008 Kunstpreis Trier - Saarburg, WS 2011/12 Lehrauftrag an der HfBK Dresden, seit 2015 Lehrauftrag an der Hochschule für Gestaltung, Trier „Experimentelles Bauen“.

Auszeichnung für studentische Projekte:
- Architekturpreis Tudalit e.V., Dresden 2015
- Concrete Design Preis, 2016, Concrete Design Competition, Deutschland

TUDALIT® Leichter bauen – Zukunft formen

C3 carbon concrete composite

Sanierung Hyparschale Magdeburg

Sanierung Hyparschale Magdeburg · Fotos © Sebastian Wilhelm/Ulrich van Stipriaan

Die nach den Plänen des Bauingenieurs Ulrich Müther errichtete Hyparschale in Magdeburg ist eine der größten Betonschalenkonstruktionen ihrer Art. Sie gilt nicht nur als kulturelles Wahrzeichen, sondern auch als eines der architektonisch interessantesten Bauwerke der Stadt. Die Hyparschale wurde im Jahr 1969 im Stadtpark Rotehorn als Mehrzweckhalle für Messen, Konzerte und sonstige Veranstaltungen errichtet. Das markante Bauwerk zwischen der Magdeburger Stadthalle und dem MDR-Funkhaus steht seit dem Jahr 1990 unter Denkmalschutz.

Die Gesamtkonstruktion ist mit ihren unterirdischen Zugbändern aus Spannbeton selbsttragend. Die Dachkonstruktion besteht aus vier quadratisch zusammengesetzten hyperbolischen Paraboloiden von jeweils 24 x 24 Metern, sodass sie eine Fläche von insgesamt 48 x 48 Metern überspannt. Der Tiefpunkt im Zentrum der Konstruktion liegt bei einer Höhe von etwa 12 Metern, wohingegen die höchsten Stellen 15 Meter messen. Dank der Lastverteilung über die Schrägstützen der Dachschalen werden kaum Außenstützen benötigt, sodass fast die komplette Fassade mit Glas gestaltet werden konnte. Dieses wiederum wirkt sich positiv auf die Raumgestaltung aus, da besonders viel Tageslicht in den Innenraum fällt.

Aufgrund verschiedener Einflüsse wurde die Hyparschale sanierungsbedürftig und im Jahr 1997 nach einem ersten Schadensgutachten für Nutzungszwecke gesperrt. Der im Jahr 1998 von der Stadt Magdeburg beantragte Abriss konnte jedoch durch eine gutachterlich nachgewiesene Sanierungsfähigkeit abgewendet werden. Neben der Herausforderung, den Verwitterungsprozess des Bauwerks so schnell wie möglich zu stoppen, steht seitdem die Suche nach einem geeigneten Nutzungskonzept im Vordergrund. Mehrere Versuche, einen geeigneten Investor für die Sanierung und Nutzung zu finden, scheiterten immer wieder an dem notwendigen Finanzierungskonzept. Schließlich konnte im Jahr 2017 beschlossen werden, dass zunächst die Sanierung der tragenden Schalenkonstruktion durch die Stadt Magdeburg und in Bauherrenvertretung durch den Eigenbetrieb Kommunales Gebäudemanagement (KGm) vorangetrieben wird. Dieses war dringend notwendig, denn mehrere Gutachten stellten großflächige Korrosion, Betonabplatzungen/-risse sowie weitere Schäden fest.
Als Sanierungskonzept wird die innovative Carbonbeton-Technologie bei der Verstärkung der Schalenkonstruktion zur Anwendung kommen. Carbon ist im Vergleich zu Stahl deutlich tragfähiger und wesentlich leichter. Da Carbon korrosionsbeständig ist, wird zudem der Materialverbrauch von Beton auf ein Minimum reduziert und die Lebensdauer des Bauwerks gesteigert. Die Schale soll an der Ober- und Unterseite mit einer etwa 12 mm dicken Carbonbetonschicht verstärkt werden. Die genauen planerischen Kennwerte werden in enger Abstimmung mit den Prüfbehörden entwickelt. Der filigrane Charakter der Hyparschale kann somit erhalten bleiben. Folglich stellt die Sanierung mit der Carbonbeton-Technologie eine zeit- und kosteneffiziente, ressourcenschonende, nachhaltige und denkmalwürdige Lösung für den Erhalt der Hyparschale selbst sowie der einzigartigen Architektur dar.

Im Rahmen des Projektes zur Sanierung der Hyparschale berät und begleitet CarboCon die Ingenieurgemeinschaft Prof. Rühle, Jentzsch & Partner GmbH bei der Planung. Zudem wurde CarboCon über den Eigenbetrieb KGm direkt mit allen Leistungen zur Erwirkung einer Zustimmung im Einzelfall hinsichtlich der Anwendung der Carbonbeton-Technologie beauftragt. Das Team der CarboCon ist sowohl für die Erstellung eines Prüfprogramms als auch die Abstimmung mit den zuständigen Behörden verantwortlich. Die Experten greifen hierbei auf umfangreiches Wissen und Erfahrungen des gesamten Netzwerkes zurück und begleiten schlussendlich das gesamte Versuchsprogramm.

CarboCon ist ein Leitanbieter beim Thema Carbonbeton-Technologie und bündelt grundsätzlich Kompetenzen für die Auftraggeber.

Dr.-Ing. Manuel Hentschel steuerte u. a. bei Drees & Sommer komplexe Bau- und Entwicklungsvorhaben. Später leitete er Beratungs- und Forschungsprojekte zu Themenschwerpunkten der Bauwirtschaft und beriet in verschiedenen Funktionen Unternehmen und Ministerien (u. a. wirtschaftliche Aspekt zur Carbonbeton-Technologie, Arbeitssicherheit, HOAI, Unternehmensentwicklung). In seiner Promotion an der TU Dresden stand das Innovationsmanagement aus Unternehmersicht im Fokus. Seit Anfang 2017 beriet er die CarboCon und ist seit Mitte 2017 als Geschäftsführer bestellt.

Segmentierte Flächentragwerke aus Carbonbeton

Flächentragwerkssegment · Foto © Tankred Lenz

Die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anwendung von Carbonbetonbauteilen ist derzeit ein möglichst hoher industrieller Vorfertigungsgrad der eingesetzten Teile. Dabei ist eine möglichst flexible Geometrie, bei möglichst wenigen sich unterscheidenden Teilen von Vorteil. Voraussetzung dafür ist die Herstellung von Einzelteilen, die auf der Baustelle möglichst einfach kraftschlüssig verbunden werden können. Somit sind Verbindungen gefragt, die eine möglichst gleichmäßige Beanspruchung an den Koppelstellen gewährleisten.

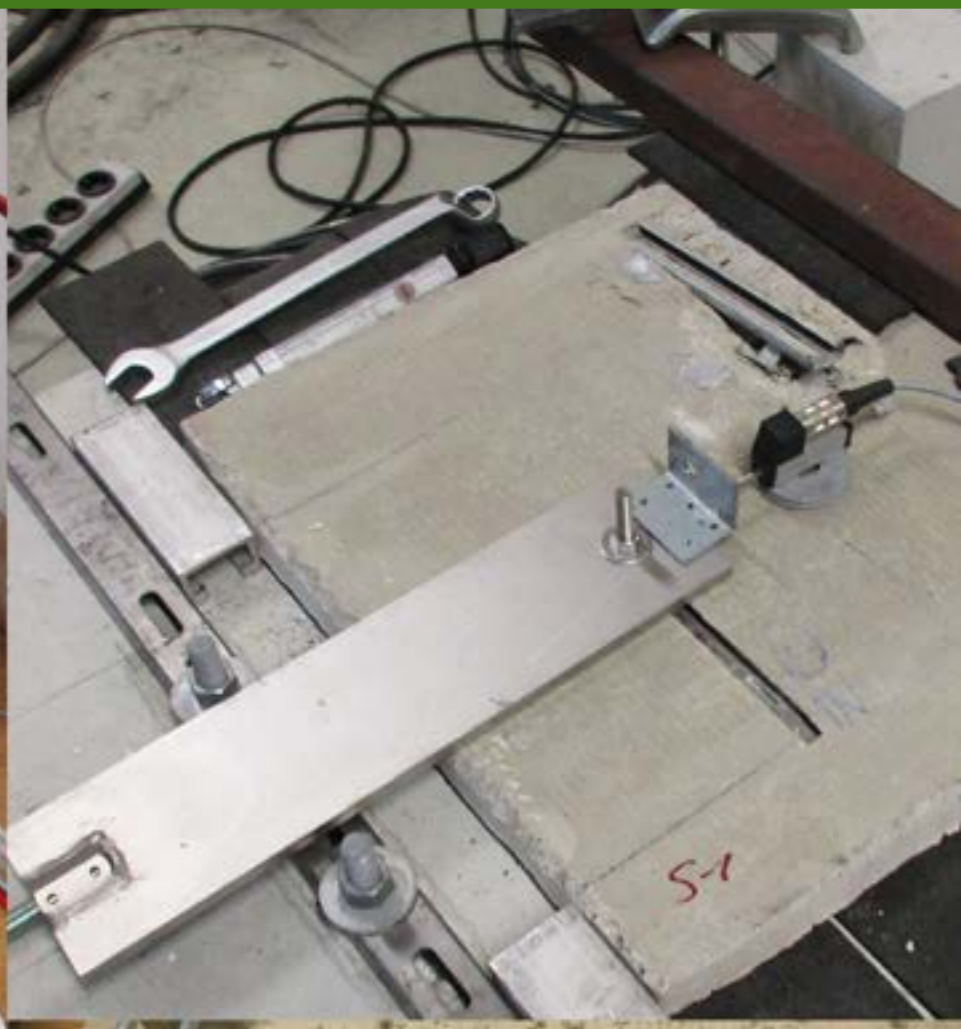
Grundelement der entwickelten und hergestellten Struktur ist ein Segment aus einer doppelt gekrümmten Schalenstruktur, das radial 4-fach angeordnet wird und somit die vierfache Fläche des Grundelementes überspannt. Die vertikale Lagerung erfolgt zentral auf einer Einzelstütze. Die Schale steigt nach außen an – im Sinne eines umgekehrten Schirms – und wird am Rand über ein umlaufendes Zugband gestützt. Die Länge an der Außenkante beträgt 5,20 m.
Die segmentierte Herstellung hat gleich mehrere Vorteile. Die Einzelteile sind einfacher transportierbar. Da maximal ein Fugenverguss vorgesehen ist, sind vor Ort keine Betonierarbeiten erforderlich. Es sind in der Hauptsache Montagearbeiten notwendig. Damit ist die Herstellung witterungsunabhängig und flexibel durchführbar.
Voraussetzung ist der Einbau von Verbindungsteilen an den Fügestellen. Diese Verbindungsteile müssen in der Lage sein 3-achsiale Spannungszustände aufzunehmen und die Ableitung dieser Spannungen in den Beton zu gewährleisten. Das Ganze soll dann im Interesse des Betons möglichst ohne Spannungskonzentration oder gar lokaler Überbeanspruchung des Betons oder des Verbindungsteils passieren.
Dazu wurden für die oben beschriebene Schalenkonstruktion verschiedene Varianten geprüft. Dabei spielt neben der Geometrie auch die Art des Materials eine wesentliche Rolle. Aufgrund der exponierten Lage der Verbindungsteile kann hier nicht immer von einem Korrosionsschutz durch den Beton ausgegangen werden. Insofern kommen zunächst vorrangig Schweiß- oder Gussteile aus nichtrostendem oder verzinktem Stahl in Frage.
Für die hier vorgestellte Schalenstruktur wurde allerdings ein anderer Weg gewählt. Um die Durchdringung mit den Carbon-Gelegen möglichst einfach zu gestalten wurde mit stabförmigen Stahlteilen gearbeitet, die im Sinne von Schubelementen in der Dickenrichtung und im Sinne von Zugelementen parallel zur Oberfläche angeordnet wurden. Die Bemessung erfolgt mittels dem im Stahlbeton üblichen Stabwerksmodell. Über der Stütze im Bereich des negativen Momentes werden die Zugspannungen über eine Stahlscheibe kurzgeschlossen. Die Druckspannungen werden durch den Beton übertragen. Die Querkräfte sollen durch Stahlgewindestäbe im Sinne von Durchstanzbewehrung aufgenommen werden, die umlaufend um die Stütze angeordnet sind.
Als maßgebende Einwirkungen wurden neben Eigenlasten, Wind und Schnee berücksichtigt. Schnee wurde auch als Teilflächenbelastung eingerechnet. Da das Schalendach auch bei schlechter Witterung genutzt werden soll, ist vorgesehen, dass auch Außenwände gestellt werden. Damit ist die Windlast über die ganze Höhe zu berücksichtigen.
Im Bereich der Einbauteile wird die Carbon-Gelegebewehrung Sigratex 600 /SGL Carbon, je nach Erfordernis, in mehreren Lagen eingebaut. In der Fläche werden jeweils eine obere und eine untere Lage vorgesehen. Die Bewehrung, Sigratex 350 der Firma SGL Carbon, liegt parallel zur Oberfläche.

Das Vorhaben hat derzeit die Vorprüfungen bestanden und es wird die Zustimmung im Einzelfall vorbereitet.

Prof. Dr.-Ing. Roland Fink
studierte Bauingenieurwesen und promovierte an der Universität Stuttgart. Danach war er bis 2005 als Tragwerksplaner in einem größeren Büro in Dresden tätig. Er ist seit 1999 Prüfingenieur für Bautechnik und seit 2006 im eigenen Ingenieurbüro (für Tragwerksplanung) in Radebeul tätig.

Dipl.-Ing., MBA
Tankred Lenz
studierte Bauingenieurwesen an der TU München und erhielt einen Master in Business Administration in Madrid. 1996 Gründung der GINKGO Projektentwicklung GmbH, Dresden, als alleiniger Gesellschafter und Geschäftsführer. Durchführung mehrerer privater Sanierungsvorhaben an denkmalgeschützten Bauten in Dresden und Leipzig. Beschäftigt sich mit Carbon-Beton seit 2000.

Tastversuche zur linienförmigen Lasteinleitung über ein Stahl-Carbon-Einbauteil



„Eine Kette ist immer nur so stark wie ihr schwächstes Glied".

Dieses Sprichwort gilt auch für ein Bauwerk. Carbonbeton ist ein Baustoff mit einem gewaltigen Potential an Effizienz, Leistungsfähigkeit und auch Nachhaltigkeit. Um aber all die innovativen Bauelemente aus Carbon zu einem Bauwerk zusammenzufügen, müssen auch die Verbindungen der einzelnen Elemente diesen Vorgaben genügen. Dies ist der Anspruch bei der Entwicklung eines Stahl Carbon-Verbundelementes zur linienförmigen Lasteinleitung von JORDAHL.

Die bekannten Stärken von Carbonbeton resultieren primär aus dem leistungsstarken Carbongelege und der damit aktivierten Flächentragfähigkeit im Betonelement. Daher ist es vorteilhaft, die einwirkenden Kräfte über eine Verbindung nicht auf eine punktförmige Lasteinleitung zu fokussieren. Eine Verbindung mit flächiger oder linearer Lasteinleitung kann effizienter und tragfähiger sein. Eine Herausforderung für eine solche Lasteinleitung ist, dass diese in üblicherweise sehr filigrane Elemente aus Carbonbeton erfolgt. Plattenstärken der Elemente aus Carbonbeton von weniger als 20 mm sind nicht unüblich.

Die entscheidenden Vorteile, welche sich aus Verbindungen mit einer linienförmigen Lasteinleitung ergeben, sind die höheren Tragfähigkeiten durch eine gleichmäßigere Lastverteilung, die signifikante Zeitersparnis durch eine geringere Anzahl von Einbauteilen, der einfachere Toleranzausgleich durch das Schienen-Schrauben-System und die höhere Flexibilität bei der Positionierung der Lasteinleitungspunkte.

Für die vorgestellten Untersuchungen wurde eine spezielle Ankerschiene bestehend aus einer C-förmigen Schiene mit bandförmigen Ankern entwickelt. Dieses Stahleinbauteil wird kraftschlüssig mit dem Carbongelege verbunden. Die spezielle Ankerschiene wurde in dünnwandigen Probekörpern aus Beton (t = 26 mm) mit und ohne Carbonbewehrung des Herstellers Solidian eingebaut. An den Probekörpern wurden Tastversuche unter Zug- und Querkraft durchgeführt.

Ziel der Untersuchung im Labor war eine Bewertung der Verbindungslösung für dünnwandige Elemente aus Carbonbeton. Insgesamt wurden ca. 50 Versuche mit vier verschiedenen Typen der Stahl-Carbon-Verbundelemente durchgeführt.

Zur Beurteilung der Ergebnisse wurden bekannte Ergebnisse aus der Forschung und Lastanforderungen aus der Praxis herangezogen.
Da die Auswahl des geeigneten Typs derzeit noch stark vom Projekt und dem dabei verwendeten Carbongelege und Beton abhängig ist, werden die Lösungen individuell für die entsprechende Anwendung entwickelt und angepasst.

Dennis Neumann repräsentiert mit seinen 28 Jahren die 111 Jahre alte Firma JORDAHL. Er ist im Juni 1990 geboren in seinem heutigen Heimatort Bad Saarow, östlich von Berlin. Sein Bachelor- und Masterstudium für Bauingenieurwesen absolvierte er an der TU Berlin von 2010 bis 2015.
Direkt im Anschluss begann er seine Tätigkeit als Bauingenieur für Forschung und Entwicklung. Sein Arbeitsalltag teilt sich zum einen in die Durchführung und Auswertung von Versuchen und zum anderen in die Verantwortlichkeit für das Thema BIM.

JORDAHL ist seit 2016 C³-Mitglied und wird durch Dennis Neumann vertreten.

ANZEIGE

PAGEL® SPEZIAL-BETON

Seit mehr als vier Jahrzenten bestimmt die Firma **PAGEL® SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG**, Essen, die Entwicklung von Verguss-, Reparatur- und Spezialmörteln. Dabei sind insbesondere die **PAGEL® VERGUSS MÖRTELSYSTEME** mit der bekannten Marke **V1®** sowie die **PAGEL® BETONINSTAND SETZUNGSSYSTEME** für ihre gleichbleibende und stets höchste Qualität bekannt – und das weltweit in mehr als 50 Ländern!

- **VERGUSSMÖRTEL**
- **BETONINSTANDSETZUNG**
  - Produkte nach ZTV-ING, Rili-SiB, EN 1504
  - Verarbeitung von Hand und spritzbar
  - Instandsetzung von Beton-, Stahlbeton mit geringen Druckfestigkeiten S-A2, S-A3 und CE EN1504-3
  - Feinbeton mit Textilbewährung zur Verstärkung von Betonbauteilen und CE EN1504-3
  - Vergussbeton zur Instandsetzung gemäß DAfStb-Richtlinie sowie CE EN1504-3
- **OBERFLÄCHENSCHUTZ**
- **INDUSTRIEBODEN**
- **REAKTIONSHARZE**
- **BAUPRODUKTE**
- **OFF-/ONSHORE-VERGUSS**

...wir machen gute Mörtel – weltweit!

WWW.PAGEL.COM · INFO@PAGEL.COM

ANZEIGE

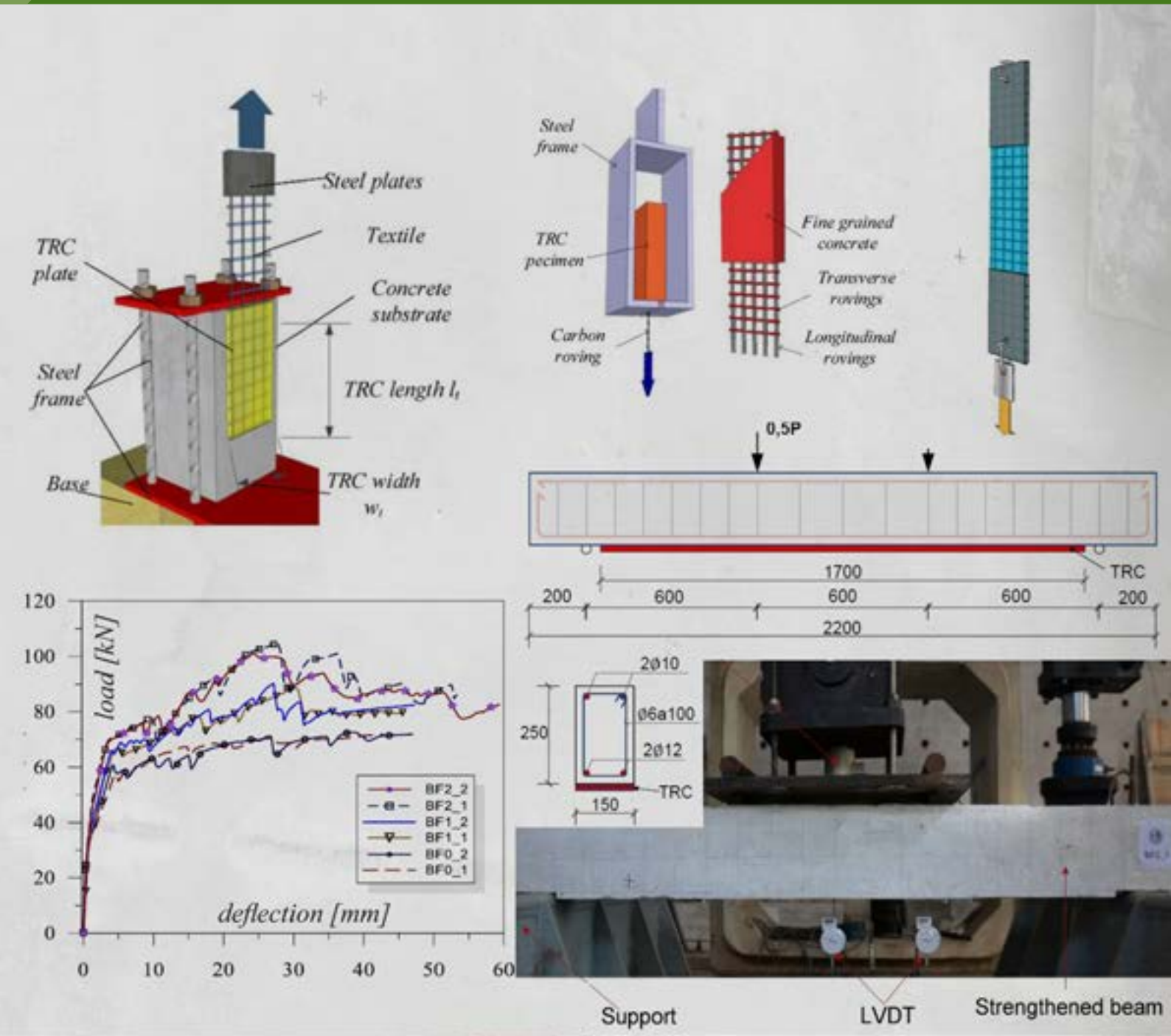
HITEXBAU

HITEXBAU -
Ihr innovativer Partner für Verstärkungen mit Textilbeton

Wir liefern die Lösungen für notwendige Armierungen - sowohl im Beton als auch im Asphalt.
Mit Einsatz der neuesten Technologien entwickeln und produzieren wir Armierungsgitter aus Carbon, Basalt und anderen Materialien - exakt auf Ihre Bedürfnisse zugeschnitten.

HITEXBAU GmbH -
ein Unternehmen der Albani Group GmbH & Co. KG
Steinerne Furt 44, D - 86167 Augsburg
Tel. +49-821-70017-49
info@hitexbau.com
www.hitexbau.com

Textilbetonforschung in Vietnam



Fotos © Ngo Dang Quang

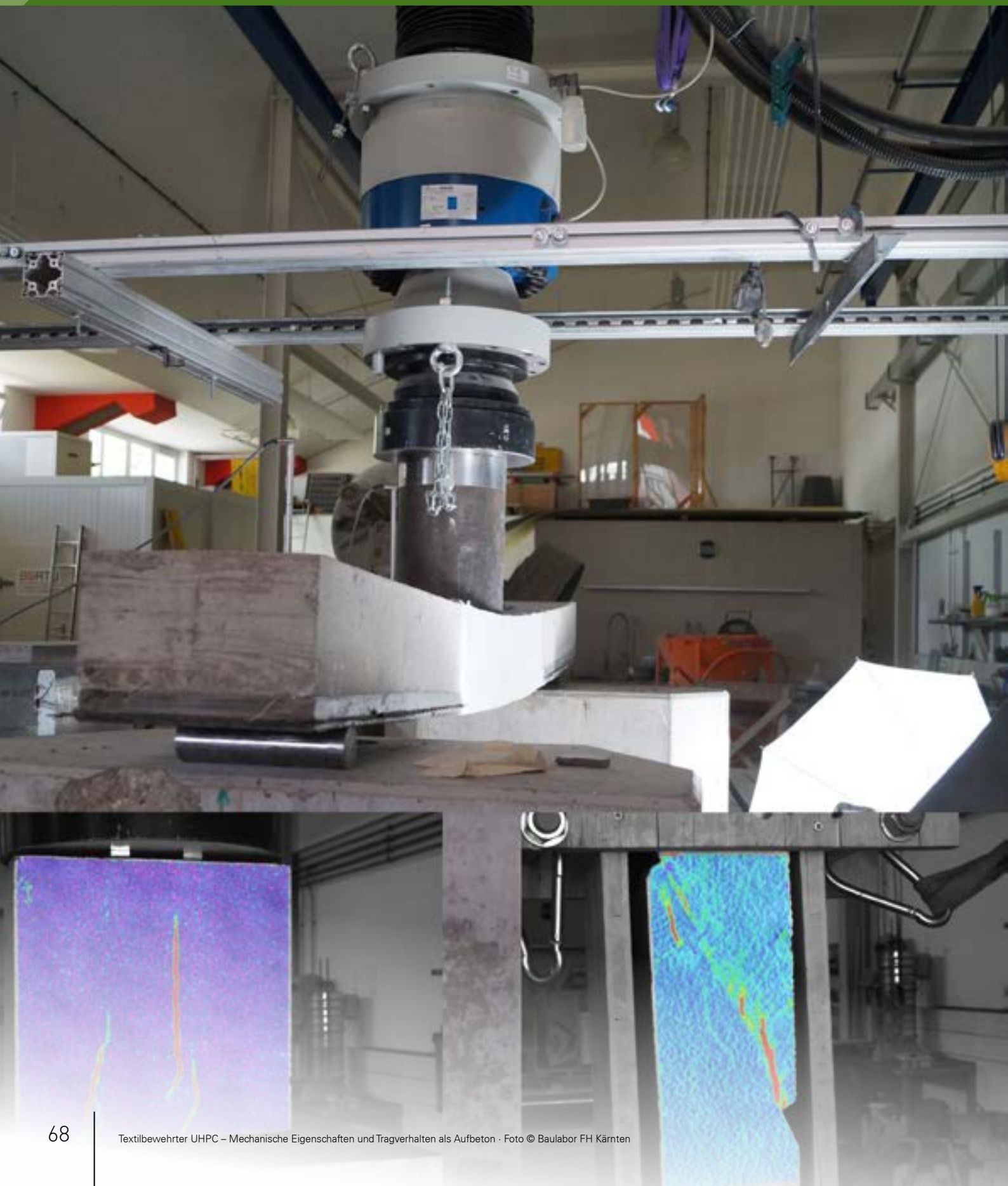
Wie in vielen Ländern, so wird auch in Vietnam am Thema Textilbeton (TRC) geforscht. Inspiriert durch den SFB 528 werden die Arbeiten seitdem in einer Kooperation zwischen dem Institut für konstruktiven Ingenieurbau der University of Transport and Communications Hanoi und dem Institut für Massivbau der TU Dresden fortgeführt. In diesem Beitrag sollen einige der in Vietnam durchgeführten Untersuchungen vorgestellt und der Grundstein für eine Ausweitung der Zusammenarbeit gelegt wird.

Basierend auf den textilen Gelegen, wie sie auch im C³-Projekt verwendet werden (vorzugsweise weich getränkte SBR Textilien aus dem Hause V.Fraas) ergänzt um Glasgelege, wird eine Carbonbetonbauweise für die Anwendung in Vietnam entwickelt. Diese umfasst die Bereiche Verstärken und Neubau und beinhaltet auch die Entwicklung einer länderspezifischen Betonmatrix. Speziell sei hier auf die Verwendung von Meersand als Zuschlagstoff hingewiesen, um der Notwendigkeit der Verwendung von landestypischen Ausgangsstoffen Rechnung zu tragen und der Ressourcenknappheit zu begegnen. Der verwendete Feinbeton mit Quarzsandzuschlag erreicht eine Druckfestigkeit von 71,1 MPa und eine Biegezugfestigkeit von 9,5 MPa bei einem E-Modul von ca. 33.400 MPa. Bei der Variante Feinbeton mit Meersand reduziert sich die Druckfestigkeit auf 53 MPa. Bei der Bestimmung der Verbundfestigkeit zwischen Bewehrung und Feinbeton wird ein alternativer Verbundtest eingesetzt (oben mittig im Bild). Es wird eine Verbundspannung von ca. 2,1 MPa erreicht. Der Einzelroving kann also auf ca. 160 mm verankert werden (SITgrid004 mit 24 k in Kett- und in Schussrichtung). Der Verbund zwischen Altbeton und TRC-Schicht wird in Schertests und Pull-out-Tests (Laschentest) ermittelt. Speziell die experimentellen Untersuchungen zum Verbundverhalten an der Grenzfläche zwischen Altbeton und TRC wurden mit einer Vielzahl von variierenden Parametern durchgeführt und vom vietnamesischen Bundesministerium für Bildung und Ausbildung (FKZ CTP 2014-04-04) unterstützt. Die Zugfestigkeit wird am Dehnkörper mit aufgeklebten Laschen zur Lasteinleitung ermittelt.

Ergänzend werden großformatige Tests an landestypisch schwach bewehrten Stahlbetonbalken durchgeführt, die durch eine textile Bewehrung verstärkt sind, um zum einen die Biegeverstärkung und zum anderen die Schubverstärkung experimentell nachweisen zu können. Mit zwei Lagen Textil in der 12 mm dicken TRC-Schicht – dies entspricht einem Bewehrungsverhältnis von 0,027 % – kann die Biegetragfähigkeit um 44 % erhöht werden. Zugleich wird ein deutlich steiferes Bauteilverhalten erreicht. Eine Übertragung auf reale Beanspruchungsverhältnisse mit vorbelasteten Grundkörpern ist in Bearbeitung. Für das Szenarium Schubverstärkung kann mit zwei Textillagen eine ~40 %ige Traglasterhöhung erreicht werden, ohne dass die Verstärkungsbewehrung die Druckzone umfasst. Eine erste praktische Deckenverstärkung wurde auch schon ausgeführt. Für neue Bauteile wird eine Sandwichstruktur bestehend aus zwei Decklagen TRC (Druckzone nur Feinbeton, unbewehrt) kombiniert mit einem Kern aus Leichtbeton mit einer Rohdichte von ca. 1,4 kg/dm³ und einer Druckfestigkeit von ca. 20 MPa. Mit dieser deutlich leichteren Struktur kann Eigengewicht gespart werden, womit enorme Vorteile beim Bauen auf häufig gering tragfähigem Untergrund erreicht werden. Diese Entwicklung basiert auf einer Promotion an der TU Dresden im Rahmen der Zusammenarbeit beider Universitäten. Die Bauteile erreichen ebenfalls respektable Werte für die Schub- und Biegetragfähigkeit.
Weitere Arbeiten werden sich mit dem Verstärken von Stahlbetonkonstruktionen unter impact loading (Beschuss und Explosion) beschäftigen. Ein anderes Gebiet ist die Verstärkung von Mauerwerkswänden auch und speziell bei Erdbebenbeanspruchung. Als letztes sollen noch Forschungen zur Durchlässigkeit von Wasser durch gerissene TRC-Strukturen erwähnt werden.

Prof. Dr.-Ing.
Ngo Dang Quang
Prof. Dr.-Ing. Ngo Dang Quang studierte Bauingenieurwesen an der University of Transport and Communications (UTC) in Hanoi. Von 1993 bis 1998 war er DAAD-Stipendiat an der TU Darmstadt, Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen, wo er 1998 promoviert wurde. 2013 besuchte er die TU Dresden, Institut für Massivbau. Z. Zt. ist Prof. Quang Dekan des Fachbereiches für Bauingenieurwesen der UTC. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind Textilbeton und dessen Anwendung in der Baupraxis in Vietnam.

Textilbewehrter UHPC – Mechanische Eigenschaften und Tragverhalten als Aufbeton



Textilbewehrter UHPC – Mechanische Eigenschaften und Tragverhalten als Aufbeton · Foto © Baulabor FH Kärnten

Ultra High Performance Concrete (kurz: UHPC) ist ein High-Tech Baumaterial, welches aufgrund seiner Mischungszusammensetzung eine wesentlich höhere Druckfestigkeit (> 150MPa) und auch eine deutlich bessere Dauerhaftigkeit als Normalbeton aufweist. Diese Eigenschaften erlauben es vor allem bei druckbeanspruchten Bauteilen, Querschnittsflächen und somit Betonvolumina einzusparen. Ein Nachteil ist die Sprödigkeit des Materials, weshalb meist Stahlfasern eingebracht werden, um ein duktileres Bauteilverhalten zu erlangen; in Zugzonen ermöglichen sie die Rissbreitenkontrolle. Die Fasern können allerdings nicht exakt positioniert und ausgerichtet werden, wodurch zum einen relativ hohe Fasergehalte erforderlich sind und zum anderen die genaue Prognose des Tragverhaltens faserbewehrten UHPCs erschwert wird.

Mit dem Einsatz von Textilbewehrung in Form von getränkten Mattenbewehrungen kann der Kraftfluss im Bauteil besser aufgefangen werden und das Bauteilverhalten wird berechenbarer. Nicht nur die Eignung von textilbewehrtem UHPC in der Neubausituation, sondern auch der Einsatz des neuen Verbundwerkstoffes als nachträgliche Verstärkungsmethode ist von großem Interesse.
Zur Verifizierung der prinzipiellen Eignung textilbewehrten UHPCs als nachträgliche Verstärkungsvariante in der Biegezugzone wurden 18 ident stabstahlbewehrte Normalbetonträger (2500*250*140 mm) produziert. Zwei davon wurden als Referenzträger ohne nachträgliche Verstärkung getestet, um später vergleichen zu können, welche Traglaststeigerung erreichbar ist. Um den Einfluss der Textilbewehrung zu erfassen, wurden 8 verschiedene Textile eingesetzt, welche sich in der Art des Textils (Carbon und AR-Glas; beide mit Epoxidharz getränkt), sowie in der Bewehrungsquerschnittsfläche und den Achsabständen zwischen den Strängen (21, 25 und 38 mm) unterscheiden. Die vorbereiteten Normalbetonträger wurden mittels Sandstrahlmethode an der Unterseite aufgeraut (mittlere Rautiefe 1.1 mm), um einen optimalen Verbund zwischen NSC und UHPC zu gewährleisten. Die Stärke der nachträglich aufgebrachten UHPC Schicht betrug 30 mm, wobei die Textilbewehrung mit 10 mm Abstand von der UHPC-Unterseite eingebaut wurde (statische Nutzhöhe 140+20 = 160 mm). Die Träger wurden in einem 3-Punkt Biegeversuch bis zum Bruch getestet. Weiter wurden Haftzugfestigkeiten zwischen UHPC und NSC an jedem Träger sowie die Schubfestigkeit der Verbundfuge anhand von parallel hergestellten Abscherprismen (700*150*150 mm) mit einer Neigung der Verbundfuge von 65 Grad und Push-Out Versuchen (300*300*150 mm; drei Schichten à 100 mm; UHPC in der Mitte) getestet. Auch bei den Kleinkörpern wurde der UHPC nachträglich eingebracht und die Kontaktfläche zuvor sandgestrahlt.
Die Biegeversuche ergaben eine deutliche Laststeigerung gegenüber den nicht-verstärkten Referenzträgern von rd. 74% bei der Anwendung einer Carbonbewehrung mit einer Bewehrungsquerschnittsfläche von 142 mm²/m und einem Achsabstand zwischen den Strängen von 38 mm. Der vergleichbare Versuch mit AR- Glas nahezu gleicher Querschnittsfläche ergab eine Traglaststeigerung von rd. 26%. Die Prüfung der Haftzugwerte an den getesteten Trägern ergab einen hohen Mittelwert von 2.54 MPa, wobei in der Regel Fugenversagen zu beobachten war. Bei den getesteten Abscherprismen, welche den Normalkraftanteil in der Verbundfuge mitberücksichtigen, ergab sich eine Schubspannung in der Fuge von rd. 17.9 MPa. Diese Versuche wurden bereits in einem vorhergehenden Projekt in der Kombination NSC auf NSC durchgeführt und ergaben durchschnittlich eine 70% geringere Schubspannung. Die Auswertung der Push-Out Versuche ergab eine mittlere Schubspannung in der Fuge von 3.9 MPa. Insgesamt lagen die gemessenen Verbundzug- und –schubfestigkeiten zwischen UHPC und NSC im Mittel etwa um den Faktor 2 bis 2.5 über Vergleichswerten mit NSC-Aufbeton bei gleicher Fugenaufrauung und bestätigen somit die besondere Eignung dieser Materialkombination.

Prof.(FH) DI Dr.
Norbert Randl
studierte an der Universität Innsbruck Bauingenieurwesen und promovierte am Institut für Betonbau. Nach Tätigkeiten als Mitarbeiter im Ingenieurbüro und als Verantwortlicher für Technische Daten/Zulassungen bei der Firma Hilti AG (Dübelentwicklung) wechselte er 2007 an die Fachhochschule Kärnten, wo er seitdem für das Fachgebiet Massiv- und Stahlbau und das Baulabor verantwortlich zeichnet. Forschungsschwerpunkte sind das Tragverhalten von Hochleistungs- bis hin zu ultrahochfesten Betonen und die Verstärkungs- und Befestigungstechnik.

Untersuchungen zum Biegetragverhalten dünnwandiger Tragelemente aus carbonbewehrtem UHPC

Filigrane Stabtragwerke aus carbonbewehrtem UHPC · Foto © Philipp Preinstorfer

Hochleistungsmaterialien eröffnen zunehmend auch im Bauwesen neue Möglichkeiten in der Gestaltung und Ausführung von Tragwerken. In einem Forschungsprojekt an der TU Wien wurden die Materialien UHPC und Carbonbewehrung kombiniert, um unter Ausnutzung der guten Materialeigenschaften filigrane, leichte Konstruktionselemente zu entwickeln. In einer umfangreichen Versuchsreihe wurde das Bauteilverhalten der im vorangegangen Prozess entworfenen Konstruktionselemente untersucht und verifiziert, wobei vor allem im Traglastzustand wesentliche Abweichungen von den theoretischen Überlegungen festgestellt werden konnten.

Hochleistungsmaterialien zeichnen sich durch ihre hervorragenden Festigkeits- sowie auch Dauerhaftigkeitseigenschaften aus. Im Falle von UHPC erreicht dieser Festigkeiten von über 150 MPa, wobei dies auf sein dichtes Mikrogefüge zurückzuführen ist. Dieses dichte Mikrogefüge ist in weiterer Folge auch der Grund für die hohe Beständigkeit des Betons gegenüber mechanischen sowie auch chemischen Angriffen. Carbonbewehrung hingegen besitzt gegenüber Stahlbewehrung den wesentlichen Vorteil, dass die Bewehrung korrosionsbeständig ist. Zusätzlich zeichnet sich auch dieser Werkstoff durch seine hohe Festigkeit (ca. 3000 MPa) bei gleichzeitig geringer Dichte (1,8 g/cm³) aus.
Beim Entwurf von Tragelementen aus Hochleistungsmaterialien ist, aufgrund deren energieintensiven und somit auch teuren Herstellung, auf einen materialeffizienten Einsatz besonderer Wert zu legen. Die Materialien werden deshalb dort eingesetzt wo die inneren Kräfte dies erfordern. Am Beispiel eines Biegebalkens, der einer Momentenbeanspruchung unterliegt, ergeben sich so typische Geometrien in Form von I – bzw. T – Querschnitten, die dem Stahlbau ähneln. Aufgrund der hervorragenden Eigenschaften der Materialien ist es möglich die Querschnitte entsprechend schlank zu dimensionieren, um leichte, filigrane Tragelemente herstellen zu können. Die Carbonbewehrung kann dabei einerseits als Stabbewehrung, aber auch als textile Bewehrung ausgeführt sein, wobei aufgrund der Korrosionsbeständigkeit die Betondeckung auf bis zu 10 mm reduziert werden kann. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde im Zuge eines Optimierungsprozesses auf diese Weise einerseits ein flächiges Tragelement sowie auch ein Stabtragwerk entwickelt und in weiterer Folge umfangreich experimentell untersucht.

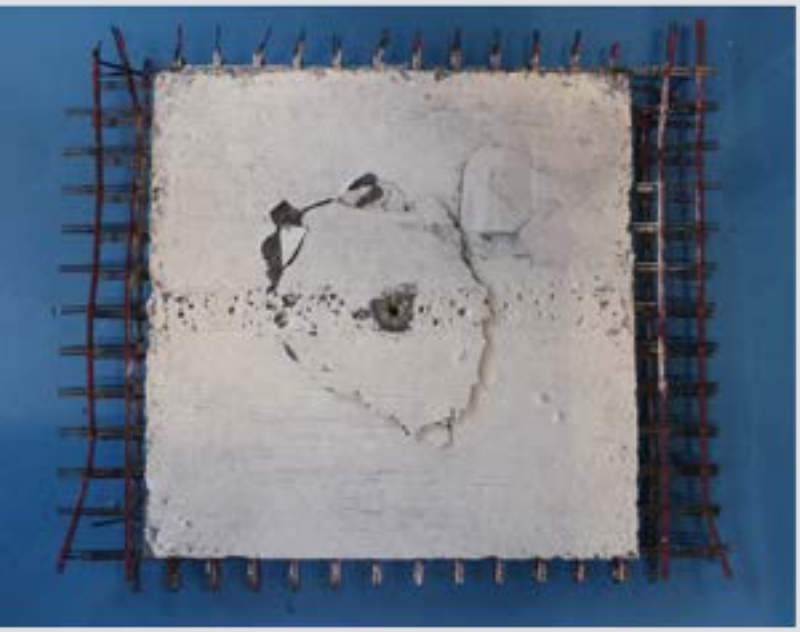
Für die experimentellen Untersuchungen wurden zahlreiche Versuchskörper in Kooperation mit Industriepartnern hergestellt und auf ihr Querkraft- und Biegetragverhalten untersucht. Dabei konnte die prinzipielle Leistungsfähigkeit der Bauteile nachgewiesen werden, wobei im Traglastzustand zum Teil Versagensformen auftraten (Delamination), die aus dem konventionellen Stahlbetonbau in dieser Form unbekannt sind. Diese Versagensformen geben Anlass für weitere Untersuchungen zum Verbundverhalten textiler Bewehrung in Hochleistungsbetonen, die derzeit am Institut durchgeführt werden. Eine weitere wesentliche Erkenntnis aus den Versuchen ist, dass obwohl das Materialverhalten der einzelnen Komponenten annähernd linear elastisch mit einem spröden Versagen ist, das Bauteilverhalten dieses spröde Werkstoffverhalten nicht widerspiegelt, da es eine Versagensankündigung in Form von großen Rissen, akustischen Signalen und großen Durchbiegungen gibt.
Die Autoren möchten der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG für die finanzielle Unterstützung danken. Ein weiterer Dank gilt den Partnern des Forschungsprojektes, dem Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart und den Unternehmen SW-Umwelttechnik GmbH und solidian GmbH für die Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit im Zuge dieses Projektes

Dipl.-Ing.
Philipp Preinstorfer

Geboren am 10.09.1989 in Gmunden, Österreich. Bachelor- und Masterstudium des Bauingenieurwesens an der TU Wien von 2008-2014. Abschluss mit einer Arbeit zum Thema einer innovativen Fahrbahnübergangskonstruktion für integrale Brücken, die 2016 mit dem FCP-Preis für nachhaltige Entwicklungen im Ingenieurbau ausgezeichnet wurde. Seit 2014 Assistent am Institut für Tragkonstruktionen der TU Wien, Forschungsbereich Betonbau, unter der Leitung von Prof. Johann Kollegger, mit dem Forschungsfokus auf den Einsatz von Hochleistungsmaterialien im Betonbau.

TUDALIT® Leichter bauen – Zukunft formen
C3 carbon concrete composite

Zustimmung im Einzelfall – Textilbeton in der Baupraxis



Kleinformatiger 4-Punkt-Biegeversuch, Bruchbild Ankerauszug, Behandelte Oberfläche der Lochplatten, Großformatiger 4-Punkt-Biegeversuch
Fotos © IMB Aachen, Hering Bau GmbH & Co. KG

Textilbeton ist ein moderner Kompositwerkstoff aus einem tragfähigen Textil und einem hochfesten Beton. Durch die nichtrostende Bewehrung können schlanke und gleichzeitig tragfähige Bauteile, wie zum Beispiel Fassadenplatten oder Brücken, realisiert werden. Trotz der zahlreichen Vorteile schrecken einige Bauherren vor der Anwendung zurück. Denn bislang ist der Einsatz von Textilbeton nur möglich, wenn eine Zustimmung im Einzelfall oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorliegt. Der Beitrag stellt die Umsetzung einer Zustimmung im Einzelfall vor, um dem potenziellen Anwender die Bedenken gegen den Einsatz zu nehmen.

Eine alte Industriehalle in Nordrhein-Westfalen sollte im Zuge der Instandsetzung eine vorgehängte Fassade erhalten. Die Fassade überdeckt dabei ein Fensterband, welches durch den Einsatz von Elementen mit einem Lochanteil von ca. 15% weiterhin mit Licht zu versorgen ist. Die Wahl fiel auf Vorhangelemente aus Textilbeton, da diese im Vergleich zu Stahlbeton leicht, schlank und dauerhaft sind. Ein wesentliches Anwendungshemmnis sind aber die fehlenden normativen Regelungen für den neuen Verbundwerkstoff. Deshalb wurde für das Bauvorhaben eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) beantragt.
Die Zustimmung im Einzelfall wird dabei entweder durch den Bauherren oder die ausführende Firma, in diesem Fall das Fertigteilwerk Hering Bau GmbH & Co. KG, bei der Obersten Bauaufsichtsbehörde des jeweiligen Bundeslandes beantragt. Die ausführende Firma ist als Antragsteller der Z.i.E. frühzeitig in Kontakt mit einer geeigneten Institution getreten, die neben der fachlichen Beratung auch die erforderlichen Prüfungen zum Nachweis der Tragfähigkeit durchführen konnte. Für das hier beispielhaft vorgestellte Bauprojekt wurde das Institut für Massivbau (IMB) der RWTH Aachen mit der Erstellung eines Versuchsprogramms, der Durchführung der Prüfungen und deren Bewertung beauftragt. Das Untersuchungsprogramm wurde mit dem Antrag auf Z.i.E bei der Zustimmungsbehörde eingereicht, sodass diese frühzeitig Anmerkungen oder Ergänzungen zu den Untersuchungen geben konnte. Im nächsten Schritt wurden die Versuche zur Bestimmung der Tragfähigkeit durchgeführt. Durch den Einsatz von gelochten und vollflächigen Fassadenplatten mit unterschiedlichen Textilien mussten jeweils ca. 20 Biegekörper und ca. 10 Dehnkörper untersucht werden. Ergänzend wurden drei gelochte Platten in Originalgröße geprüft. Die Verankerung konnte mit insgesamt 20 Versuchskörpern unter vier verschiedenen Belastungen (Zug, Druck, Abscheren, Schrägzug) nachgewiesen werden. Die Untersuchungsergebnisse und Bauteilwiderstände wurden in einer gutachtlichen Stellungnahme zusammengefasst und den in der Statik ermittelten Bemessungswerten der Einwirkungsseite gegenübergestellt. Auf Basis des Gutachtens, der Pläne sowie der Statik erteilte die Oberste Bauaufsichtsbehörde von NRW die Z.i.E.. Darin wurde festgelegt, dass mindestens zwei Produktionskontrollen mit geeignetem zeitlichem Abstand durchgeführt werden sollen. Eine Kontrolle umfasst in diesem Beispiel die Prüfung von 5 Ankerzugversuchen sowie jeweils 5 Biegeplatten für gelochte und vollflächige Fassadenplatten.
Von besonderem Interesse für Planer und Bauherrn ist der zeitliche Ablauf der Baumaßnahme „Vorhangfassade". Das erste Gespräch zwischen dem IMB und der Hering Bau fand im September 2017 statt. Etwa vier Wochen später wurde das Versuchsprogramm zusammen mit dem Antrag auf Zustimmung im Einzelfall eingereicht. Parallel dazu wurden die Versuchskörper hergestellt, welche aus großformatigen Fassadenplatten geschnitten wurden. Das Gutachten zur Bewertung der Tragfähigkeit der Platten konnte Anfang Dezember der Bauaufsichtsbehörde übermittelt werden. Durch die Feiertage und weiteren Rückfragen wurde die Zustimmung im Februar 2018 erteilt. Die Zeitspanne zwischen den ersten Überlegungen und der Zustimmung betrug somit 6 Monate.

Ann-Christine von der Heid, M. Eng. studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Hochschule Mittelhessen in Gießen. Seit ihrem Abschluss 2014 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Massivbau der RWTH Aachen tätig. Der Fokus Ihrer Arbeit liegt dabei auf der Erforschung des Tragverhaltens von Fassadenplatten und Sandwichsystemen aus Textilbeton.

Grenzen überschreiten
Maßstäbe setzen
Zukunft bewegen
CarbonBeton

CARBOCON

Mit Leichtigkeit in die Zukunft des Bauens.

CarboCon ist ein führender Dienstleister, wenn es rund um das Thema Carbonbeton geht: Seien es spezielle Fragen der Entwicklung und Zulassung innovativer und technischer Lösungen oder Patentanmeldungen. Wenn Sie einen Partner an Ihrer Seite suchen, der Ihre Projekte von der ersten Machbarkeitsstudie an, über die Entwicklung von Produkten und Begleitung von Versuchsprogrammen bis hin zur sicheren Zulassung und späteren Überwachung der Produktanwendung unterstützt, dann sind wir der Richtige für Sie.

Für unsere Kunden bündeln wir Kompetenzen und greifen auf das weitreichende Netzwerk an Experten und Partnern zurück. So stellen wir sicher, dass für Sie stets die optimale Lösung entwickelt wird. Sprechen Sie uns einfach an!

CARBOCON GMBH
World Trade Center Dresden
Ammonstraße 72 • D-01067 Dresden
Tel.: +49 (0) 351 82 120 420 • Fax: +49 (0) 351 82 120 422
info@carbocon.de • www.carbocon.de

ANZEIGE

SIKA – EXPERTE FÜR DIE SANIERUNG VON PARKDECKS UND INDUSTRIEBAUTEN

Die Folgen einer chloridinduzierten Korrosion der Bewehrungsstähle im Beton sind schwerwiegend. Häufig resultieren hieraus Betonabplatzungen und Hohllagen, die nicht nur optisch eine Beeinträchtigungen darstellen. Die Sika Deutschland GmbH liefert hier robuste Mörtel- und Beschichtungssysteme sowohl im Neubau als auch bei der Instandsetzung:

- Kathodischer Korrosionsschutz
- Carbonbeton
- Instandsetzungsmörtel
- Oberflächenschutzsysteme

www.sika.de/parkhaus
www.sika.de/industriebau
Service-Nummer: +49 711 8009 2211

BUILDING TRUST

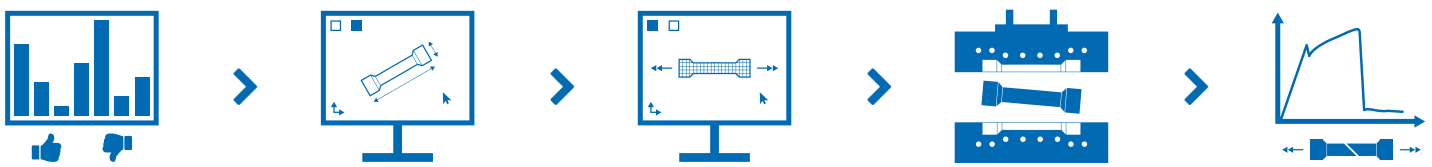
ANZEIGE

Auf der Suche nach der besten Lösung für Ihr Produkt?

Kurzfaser
Stahl
CFK
Aramid
Titan
Keramik
Magnesium
Carbonbeton
Aluminium
Kunststoff
Holz
GFK
Polypropylen
Gewebe
Langfaser

Schienenfahrzeuge
E-Mobilität
Luftfahrt
Sport und Freizeit
Medizintechnik
Land- und Baumaschinen
Bauwesen
Marine
Fahrzeugbau
Raumfahrt
Energietechnik
Maschinenbau
Anlagenbau

Wirtschaftliche Systemlösungen aus einer Hand



Machbarkeit › Konstruktion › Simulation › Fertigung › Prüfung

LZS Leichtbau-Zentrum Sachsen
engineering your innovative edge

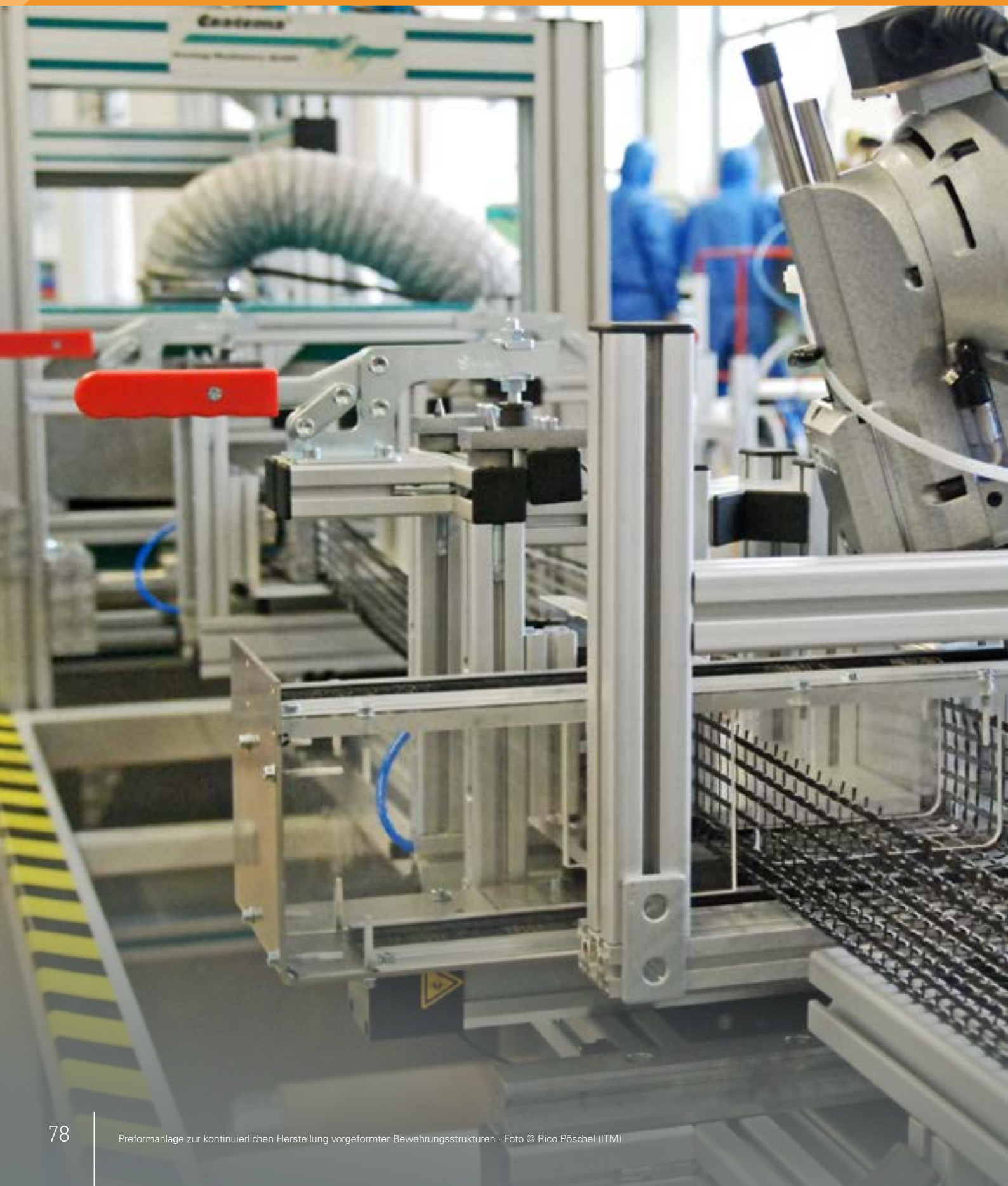
Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH
info@lzs-dd.de
www.lzs-dd.de
Marschnerstr. 39, 01307 Dresden
+49 351 463 39477
+49 351 463 39476

Die in diesem Tagungsband zugrundeliegenden Vorhaben des C³-Projekts wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

VORTRÄGE

C³ carbon concrete composite

V1.1 Innovative Fertigungstechnologie zur Herstellung von vorgeformten textilen Bewehrungen



Preformanlage zur kontinuierlichen Herstellung vorgeformter Bewehrungsstrukturen · Foto © Rico Pöschel (ITM)

Laut einer Prognose der United Nations wird sich die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 von derzeit 7,5 Milliarden auf rund 10 Milliarden erhöhen [1]. Hingegen unterliegen natürliche Rohstoffe keinem derartigen Wachstum, sondern stehen nur in begrenztem Maße zur Verfügung. Die Entwicklung von Technologien für einen konsequenten effizienten Einsatz von Rohstoffen gewinnt daher branchenübergreifend an Bedeutung, beispielsweise auch in der Bauindustrie.

Textile Bewehrungen, speziell aus Hochleistungsfaserwerkstoffen, wie Glas- oder Carbonfasern, bieten im Vergleich zu konventionell stahlbewehrten Bauwerken ein enormes Potenzial, Beton einzusparen, u. a. durch die Realisierbarkeit von sehr dünnwandigen und dennoch hochbelastbaren Betonbauteilen. Das ist ein bedeutender Vorteil im Hinblick auf die ökologische Notwendigkeit, Ressourcen einzusparen, zumal global betrachtet der am zweithäufigsten verwendete Stoff nach Wasser der Beton ist [2].

Für die Vielzahl an zu sanierenden Bestandsbauwerken (bspw. erreichen 2/3 aller deutschen Brücken nur die Zustandsklasse „befriedigend" [3]) aber auch für innovative Fertigbauteile werden von industrieller Seite zunehmend vorgeformte textile Bewehrungsstrukturen, sogenannte Preforms nachgefragt. Die Bereitstellung derartiger vorgeformter, belastungsangepasster Verstärkungstextilien stellt vor allem unter den strengen wirtschaftlichen Anforderungen der Bauindustrie an diese neuen Verbundwerkstoffe eine besondere Herausforderung dar. Eine effiziente Fertigungstechnologie zur Herstellung von vorgeformten textilen Bewehrungen ist daher eine Grundvoraussetzung für die Marktfähigkeit derartiger Bewehrungsstrukturen.

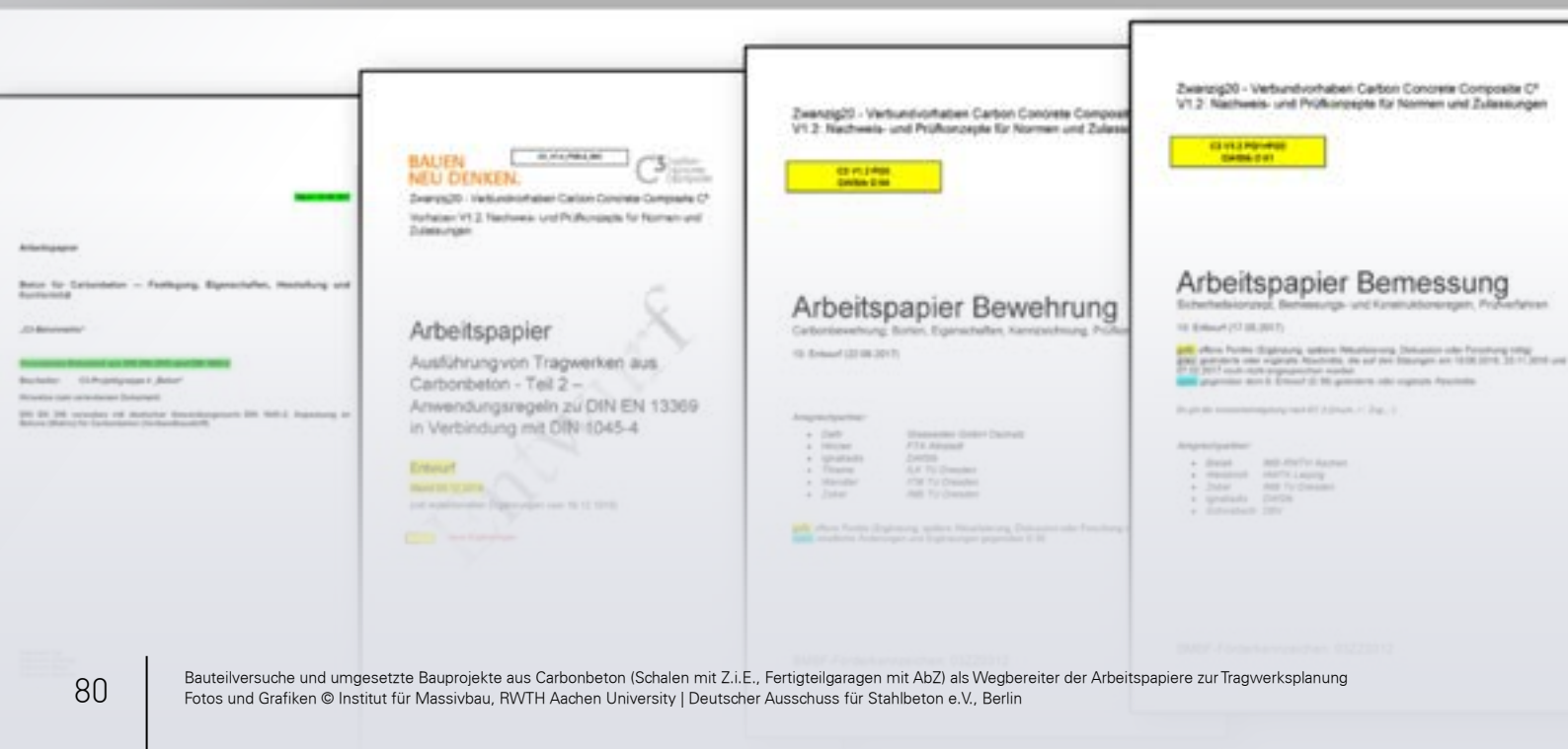
Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) der TU Dresden eine innovative Technologie zur kontinuierlichen Fertigung von vorgeformten textilen Bewehrungsstrukturen für die Baubranche entwickelt und realisiert. Mit der Umsetzung einer modular aufgebauten, kontinuierlich arbeitenden flexiblen Preformtechnologie erfolgt eine kosteneffiziente Herstellung von gitterartigen Profilstrukturen. Die entwickelte Anlage bündelt die Herstellungsschritte Beschichtung, Umformung, Strukturfixierung, Warentransport und Zuschnitt in einer kontinuierlichen Prozesskette. Die Technologie ist für die Verarbeitung von wasserbasierten Polymerdispersionen ausgelegt und es können derzeit sowohl U-, L-, als auch C-förmige Bewehrungsprofile hergestellt werden.

Literaturnachweis

[1] United Nations Department of Economic and Social Affairs: World Population Prospects: The 2017 Revision, Juni 2017.
[2] HeidelbergCement AG. Annual report, growth in metropolises. Heidelberg, 2015.
[3] Nagel, L.-M.; Pauly, M.; Mucha, V., Setzer, J.; Wilhelm, F.: Wettlauf gegen den Verfall, In: Die Welt online, 12.07.16, http://www.welt.de/politik/interaktiv/bruecken/deutschlands-bruecken-wettlauf-gegen-den-verfall.html (letzter Zugriff: 05.05.18).

Dipl.-Ing. Lars Hahn
ist seit Oktober 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ITM der TU Dresden in der Forschungsgruppe „Multiaxialgelege und Textiles Bauen" tätig. Herr Hahn hat an der TU Dresden an der Fakultät Maschinenwesen Textil- und Konfektionstechnik studiert. Im Rahmen von Industriepraktika und Studienarbeiten bearbeitete er vielfältige Themen im Bereich thermoplastischer und duroplastischer Faserkunststoffverbunde. Seine derzeitigen Forschungsschwerpunkte am ITM sind Beschichtungs- und Trocknungsprozesse für multiaxiale Hochleistungsstrukturen im Bereich Carbonbeton.

V1.2 Das Arbeitspapier Bemessung – Ein Beitrag zur Tragwerksplanung mit Carbonbeton



Bauteilversuche und umgesetzte Bauprojekte aus Carbonbeton (Schalen mit Z.i.E., Fertigteilgaragen mit AbZ) als Wegbereiter der Arbeitspapiere zur Tragwerksplanung
Fotos und Grafiken © Institut für Massivbau, RWTH Aachen University | Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V., Berlin

Der Einsatz von Carbonbeton in der Baupraxis ist bisher nur bei einigen Pilotbauwerken aus den Bereichen Neubau und Sanierung erfolgt. Ein Grund für die geringe Nutzung des innovativen Werkstoffes ist das Fehlen von Regelwerken, so dass für die baupraktische Umsetzung eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich wird. Weiterhin fehlen den Tragwerksplanern Vorgaben zur Bemessung und konstruktiven Durchbildung, so dass die Bauprojekte in der Regel von Forschungsinstituten begleitet werden müssen. Vor diesem Hintergrund werden im laufenden C³-Vorhaben Arbeitspapiere erstellt, die den Weg für ein Regelwerk zur Bemessung und Ausführung von Neubauteilen und Verstärkungen aus Carbonbeton vorbereiten.

Für den Textilbeton und die hierzu erforderlichen nichtmetallischen Bewehrungen wurden seit 1995 eine Vielzahl von Projekten aus den Bereichen Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Forschung durchgeführt. Auf Basis der dabei gewonnenen Kenntnisse wurden erste Pilotprojekte mit dem neuen Verbundwerkstoff umgesetzt, wie Vorhang- und Sandwichfassaden, Brücken- und Schalentragwerken sowie die Verstärkung von Bestandsbauwerken. Aktuell liegen erste bauaufsichtliche Zulassungen für den Bereich der Biegeverstärkung, für Sandwichfassaden und Fertigteilgaragen aus textilbewehrtem Beton sowie für Bewehrungsstäbe aus AR-Glas vor. Durch die engen Vorgaben dieser Zulassungen ist das Einsatzgebiet für nichtmetallische Bewehrungen für tragende Betonkonstruktionen aber sehr eingegrenzt. Um das Einsatzgebiet für nichtmetallische Bewehrungen zu erweitern und die technische Bearbeitung für die Tragwerksplaner zu vereinfachen, werden in diesem C³-Vorhaben die für die Tragwerksplanung und Bauausführung mit Carbonbeton erforderlichen Nachweis- und Prüfkonzepte sowohl für den Bereich des Neubaus als auch der Instandsetzung untersucht und zusammengestellt. Die Untersuchungen erfolgen aufbauend auf den vorliegenden Erkenntnissen von Betonbauteilen mit nichtmetallischen Bewehrungen. Die Eignung der entwickelten Verfahrenswege und Nachweiskonzepte wird abschließend in vollständigen Prüfläufen an Carbonbetonbauteilen und Verstärkungen von der Bauteilplanung und -bemessung über die Herstellung bis zum tatsächlichen Tragwiderstand nachgewiesen.

Ein wesentliches Arbeitsfeld im C³-Vorhaben ist die Zusammenstellung der vorliegenden und neuen Erkenntnisse in einer Form, die es dem Anwender ermöglicht, die neuen Werkstoffe für tragende Konstruktionen einzusetzen. Neben den Sicherheits- und Nachweiskonzepten für die Bauteilbemessung und konstruktive Durchbildung sind auch Werkstoffkennwerte für den Beton und die Bewehrung sowie Vorgaben zur Bauausführung des neuen Verbundwerkstoffes erforderlich. So ist z. B. die größere Zugtragfähigkeit der Bewehrungen bei kleineren Bauteilabmessungen (z. B. im Bereich von Verankerungen) ebenso zu berücksichtigen wie Anpassungen in der Bewehrungsführung (Haken/Winkelhaken sind nicht ausführbar) oder bei der Bauteilherstellung (Bauteilabmessungen <50 mm erfordern geringere Toleranzen). Hierzu werden in Analogie zum Stahlbetonbau vier Arbeitspapiere (Bemessung/Bewehrung/Beton/Ausführung) erstellt, in denen die Änderungen für Bauteile mit nichtmetallischen Bewehrungen im Vergleich zum Stahlbetonbau angegeben werden. Deren Struktur ist an den Eurocode 2 sowie die DAfStb-Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“ angelehnt. Im Beitrag wird das Arbeitspapier Bemessung vorgestellt und die Bemessung für den Carbonbeton nach Norm/Richtlinie auf Basis des aktuellen Standes des Arbeitspapieres erläutert.

Auf Basis der Arbeitspapiere sollen neben den Handlungsfeldern für noch erforderliche weitere Forschungen vorrangig technische Regeln formuliert werden, um ein breiteres Anwendungsgebiet für nichtmetallische Bewehrungen im Betonbau zu etablieren und deren Akzeptanz zu verbessern.

Dr.-Ing. Norbert Will
studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Nach seinem Abschluss war er bis 1988 als Tragwerksplaner im Technischen Büro einer Baufirma in Düsseldorf tätig und arbeitete danach als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der RWTH Aachen (IMB). Nach seiner Promotion forschte er seit 1996 im Bereich nichtmetallische Bewehrung, zunächst als Koordinator des SFB 532, danach in Anwendungsprojekten und im Konsortium des Projektes C³ – Carbon Concrete Composite. Seit 1997 ist er Oberingenieur am IMB der RWTH Aachen, seit 2018 Obmann des DAfStb-Ausschuss „Nichtmetallische Bewehrungen“.

V1.3 & 3.2

Partikelemissionen aus dem Trennen von Carbonbeton

Im C³-Vorhaben V1.3 entwickelter Trennstaubgenerator zur Charakterisierung von Carbonbeton
Foto © Vitrocell Systems GmbH

Im Bauwesen wird eine Reihe von Verfahren eingesetzt, bei denen Baustoffe zerkleinert oder getrennt werden. Insbesondere bei handgeführtem Maschineneinsatz kann eine Exposition des Bedieners gegenüber Stäuben nicht völlig ausgeschlossen werden. Aufgrund des eingesetzten Bewehrungsmaterials enthält Staub aus der trennenden Bearbeitung von Carbonbeton mit hohem Energieeintrag Zerkleinerungsprodukte des Fasermaterials. Zur umfassenden Untersuchung der gesundheitlichen Relevanz dieser Emissionen wurde im C³-Vorhaben V1.3 ein Analysensystem entwickelt, das ein Expositionssystem mit einem Trennstaubgenerator und einem Aerosolgenerator zur Erzeugung von Referenzaerosolen kombiniert. Weiterhin wurde das System um ein Partikelgrößenspektrometer und ein Massenspektrometer zur Charakterisierung der Partikel- und Gasphase, der beim Trennen von Carbonbeton freigesetzten Staubaerosole, erweitert. Das entwickelte System erlaubt daher sowohl die Quantifizierung der partikelförmigen Emissionen mit physikalischen Methoden als auch die Erfassung der freigesetzten gas- und dampfförmigen Verbindungen und bewertet praxisgerecht die Auswirkungen der Emissionen in ihrer Kombination auf die Zytotoxizität auf Lungenzellen.

Die Wirkung von luftgetragenen Staubpartikeln auf die menschliche Gesundheit hängt ab von der chemischen Zusammensetzung, der Größe und der Form der Partikel. Die Spannweite reicht dabei von der kurativen Wirkung von marinen Salzpartikeln bis hin zu karzinogenen Effekten von Asbestfasern. Die menschlichen Atemwege sind in der Lage, Partikel im Größenbereich von wenigen Mikrometern in den oberen Atemwegen abzuscheiden. Submikrone Partikel hingegen gelangen bis in die Alveolen der Lunge und werden dort durch Diffusion an der sehr großen Austauschfläche der Lungenbläschen abgeschieden und durch Makrophagen aufgenommen. Fasern mit einem Durchmesser von < 3 µm, einer Länge von > 5 µm und einem Verhältnis von Länge zu Durchmesser > 3 können die Atemwege passieren und bei entsprechender mechanischer Rigidität nicht durch die Makrophagen der Lunge aufgenommen werden. Insbesondere Asbestfasern sind aufgrund ihrer Geometrie in der Lage das Lungengewebe zu penetrieren, bis zum Bauchraum zu wandern und dort das Pleuramesotheliom auszulösen.

Erste Untersuchungen an vorliegenden Carbonbetonkonfigurationen zeigen, dass die erzeugten Stäube Anteile an der alveolengängigen und thorakalen Größenfraktion aufweisen und auch entsprechend negative Reaktionen bei exponierten Zellen hervorrufen. Allerdings kann in diesen Daten kein signifikanter Unterschied zwischen Stäuben aus dem Trennen von Reinbeton und Carbonbeton ausgemacht werden. Insbesondere die Analyse der freigesetzten PANbasierten Carbonfasern ergab keine Hinweise auf gesundheitlich relevante Faserdimensionen im Sinne der Empfehlung der WHO.

Die erfolgreiche Anwendung des Analysensystems für Expositionsmessungen gegenüber Stäuben aus der Bearbeitung von Carbonbeton und Reinbeton zeigt, dass es gleichermaßen für andere fasergebundene Werkstoffe, wie bspw. faserverstärkte Kunststoffe einsetzbar ist. Weitere Untersuchungen zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkung von Carbonmaterialien werden für gegenwärtig noch in der Entwicklung befindliche Carbonbetonkonfigurationen durchgeführt. Der Schwerpunkt wird dabei auf die Bearbeitung von thermisch beanspruchten Materialien gelegt, wie sie bei Abbruch- oder Sanierungsarbeiten nach Brandfällen auftreten.

Dr.-Ing. Lars Hillemann
hat an der TU Dresden Verfahrenstechnik studiert. Seit 2002 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Mechanische Verfahrenstechnik von Prof. Michael Stintz im Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik der TU Dresden. 2013 promovierte er mit der Entwicklung eines Messverfahrens zur Bestimmung der Partikelkonzentration in Umweltaerosolen. Die Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Konzentrationsmessung von Aerosolen und die Quantifizierung der Partikelfreisetzung aus industriellen Prozessen.

V1.5

Abbruch, Rückbau und Recycling von C³-Bauteilen

Recycling von C³-Bauteilen · Foto © Jan Kortmann, IBB, TU Dresden

Im Rahmen des C³-Vorhabens V1.5 wurde untersucht, wie bei den Arbeiten im Zusammenhang mit C³-Betonen und C³-Bauteilen anfallende Stoffe im Wertstoffkreislauf verbleiben können, ohne dass diese als hochwertige Sekundärrohstoffe durch ein mögliches Downcycling verloren gehen. Dafür wurde ein Lastenheft für die Herstellung von C³-Bauwerksteilen zur Sicherstellung der Recyclingfähigkeit entwickelt. Ein zweites Lastenheft zeigt Lösungen zum Umgang mit Carbonbetonabbruchmassen auf und gibt Vorschläge für optimale Abbruch- und Recyclingprozesse.

Der Lebenszyklus eines Bauwerkes oder Bauteils umfasst allgemeingültig die Phasen: Herstellung, Nutzung, Umbau und Modernisierung sowie den Abbruch und Rückbau. Auch die bereits in der Herstellphase eingesetzten Betonbohr- und Trenntechniken lassen sich den Abbruch- und Rückbautechnologien zuordnen. Die in diesen Abbruch- und Recyclingprozessen anfallenden Stoffe sollen in der Art aufbereitet werden, dass ein sogenanntes Downcycling verhindert wird. Die ursprüngliche Qualität oder Verarbeitbarkeit des hochwertigen C³-Baustoffes bzw. die exzellenten Eigenschaften, die bei der Primärherstellung vor dem Recyclingprozess vorliegen, sollen auch nach dem Recycling vorliegen. Nur bei der Wiederverwendung oder der effizienten stofflichen Verwertung kann von einem ressourcenschonenden Recycling gesprochen werden. Die dafür notwendigen Prozesse wurden in großmaßstäblichen Versuchen untersucht.

Das Material wurde im großmaßstäblichen Aufbereitungsprozess auf der Abbruchstelle mit einem mobilen Backenbrecher „Kleemann Mobicat MC 100 R EVO" zerkleinert und in weiteren experimentellen Versuchen aufbereitet. Das beim Brechen entstandene heterogene C³-Abbruchmaterial aus C³-Bewehrung und Beton weist ein Größtkorn von 56 mm auf. Mit der Zerkleinerung im mobilen Brecher konnte ein Aufschlussgrad für die C³-Bewehrung von > 99 % ermittelt werden. Die ursprüngliche Befürchtung, dass ein großer Teil der C³-Bewehrungsfragmente in den Betonfragmenten gebunden bleibt, hat sich nicht bestätigt. Diese unaufgeschlossene Materialfraktion als festes Konglomerat ist nur sehr vereinzelt vorhanden und zeigt einen Massenanteil von deutlich < 1 % der Gesamtmasse. Das Material war anschließend Grundlage weiterführender Untersuchungen zur Aufbereitung mit dem Ziel der sortenreinen Trennung der C³-Bewehrung von der Betonmatrix.

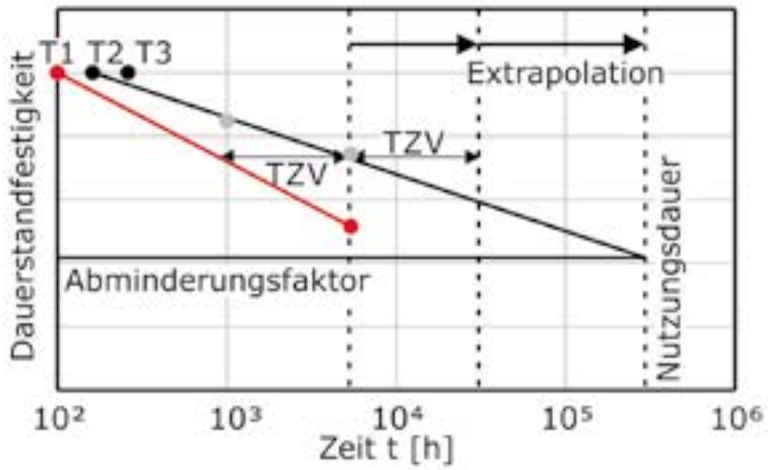
Für die sortenreine Trennung wurden baubranchentypische Separationsverfahren (sortierende Siebklassierung und Querstromsichtung) mit dem C³-Abbruchmaterial erprobt. Zur Durchführung weiterer ausgewählter Separationsverfahren (Wirbelschichtsortierung und Schwimm-Sink-Sortierung) war es darüber hinaus notwendig das 0/56er Abbruchmaterial in einem weiteren Prozess nochmals zu zerkleinern. Dabei wurde das Material mittels Prallmühle auf ein Größtkorn von 10 mm gebrochen.

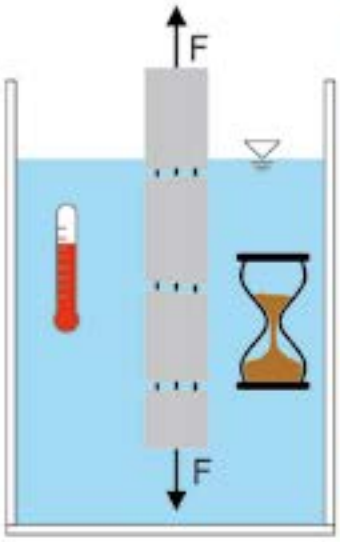
Im Ergebnis der Großversuche steht fest, dass der Prozessschritt „Abbruch und Zerkleinerung des C³-Materials" innerhalb der Recyclingprozesskette eine deutlich geringere Herausforderung darstellt, als die sortenreine Trennung der beiden Fraktionen C³-Betonrezyklat und C³-Bewehrung. Zur nahezu vollständigen Separation der C³-Bewehrung wurde das Material schlussendlich in einer stationären Anlage mit einer kameragestützten Sortieranlage aufbereitet. Im März 2018 wurden in einem ersten Versuch ohne größere Maschinenadaption bereits sehr gute Ergebnisse erzielt: Das Sortierergebnis für die C³-Bewehrung lag bei einem Massenanteil von circa 97 %, bei einem Durchsatz von 6 Tonnen/Stunde. Durch weitere Anpassungen der Anlage kann der Materialdurchsatz vervielfacht werden. Mit den gewonnen Ergebnissen ist der Lückenschluss zwischen dem Abbruchprozess und der anschließenden stofflichen Verwertung erfolgreich gelungen.

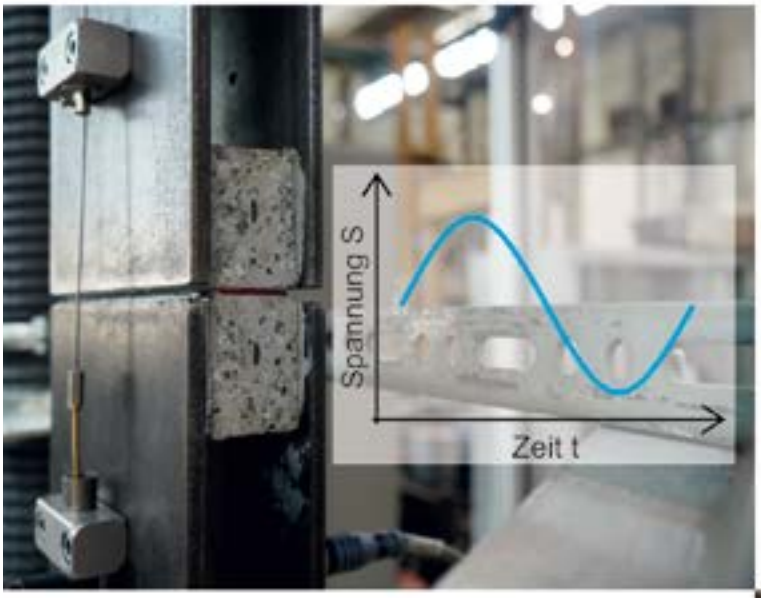
Dipl.-Ing. Jan Kortmann

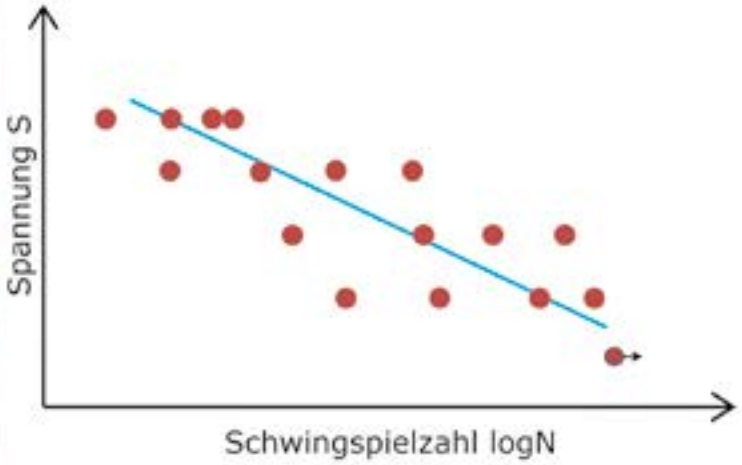
studierte von 2005 bis 2010 an der TU Dresden das Fach Bauingenieurwesen und war im Anschluss als Planungsingenieur in einem Consultingbüro angestellt. Seit 2012 ist Herr Kortmann als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promovend am Institut für Baubetriebswesen angestellt. Er ist als Vorhabenkoordinator für die C³-Vorhaben V1.5 und V-I.13 verantwortlich.

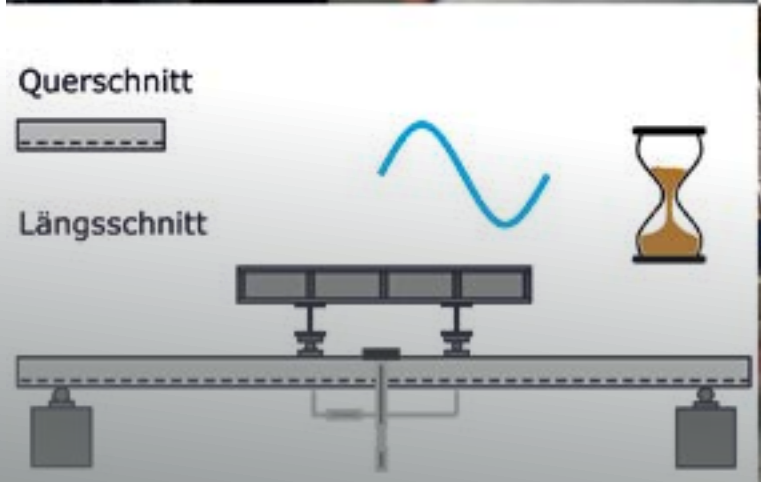
V2.1 Dauerstand- und Ermüdungsverhalten von Carbonbeton











Prüfkonzept zum Nachweis des Dauerstand- (oben) und Ermüdungsverhaltens (Mitte), sowie Bauteilversuche für beide Belastungsarten (unten)
Fotos und Grafiken © Institut für Massivbau, RWTH Aachen University | Institut für Massivbau, TU Dresden | Institut für Massivbau, TU Darmstadt

Carbonbeton hat nicht nur eine hohe Zugfestigkeit sondern vor allem auch den großen Vorteil einer hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber einer Vielzahl von physikalischen und chemischen Einwirkungen. Damit kann für den Verbundwerkstoff grundsätzlich eine deutlich längere Lebensdauer angestrebt werden, als für den korrosionsanfälligeren Stahlbeton. Um diese jedoch zuverlässig für die vielfältigen Anwendungsbereiche gewährleisten zu können, sind neben dem Nachweis der Dauerhaftigkeit auch umfassende Kenntnisse zum Verhalten von Carbonbeton unter Dauerbeanspruchung erforderlich. Aus diesem Grund beschäftigt sich das C³-Vorhaben V2.1 mit der Lebensdauervorhersage von Carbonbeton unter Berücksichtigung von statischen und zyklischen Dauerlasten.

Ziel des Vorhabens ist es dabei, geeignete Konzepte und Prüfverfahren zu erarbeiten, mit deren Hilfe das Dauerstand- und Ermüdungsverhalten untersucht werden kann, um schließlich Modelle für die Prognose von Materialverhalten und Tragfähigkeit über die Lebensdauer aufzustellen und diese anhand der Versuchsergebnisse zu validieren. Die experimentellen Untersuchungen des Verbund- und Zugtragverhaltens werden dabei an drei ausgewählten Carbonbewehrungen durchgeführt: Einem Stab, einem Textil für das Anwendungsgebiet Neubauteile und einem Textil, das speziell für die Verstärkung konzipiert wurde. Diese werden im Verbund mit einer jeweils auf Bewehrungsform und Anwendungsgebiet abgestimmten Betonmatrix untersucht.

Für die Prognose des Dauerstandverhaltens wurde ein Prüfverfahren entwickelt, das mit Versuchslaufzeiten der Einzelversuche von 100 h bis zu 5000 h die Untersuchung der Materialien innerhalb der Laufzeit des Vorhabens ermöglicht. Dafür werden Proben einer kombinierten Beanspruchung aus Temperatur, Feuchte, Alkalität und Belastung unterzogen, indem Dauerzug- und -verbundversuche unter verschiedenen definierten Lastniveaus im temperierten Wasserbad durchgeführt werden. Mithilfe einer Temperatur-Zeit-Verschiebung (TZV) können die Versuchsergebnisse dann anschließend über die maximale Standzeit der Versuche hinaus extrapoliert werden. Angestrebt ist hier die Ermittlung der Dauerstandfestigkeit für eine Nutzungsdauer bis zu 100 Jahren.

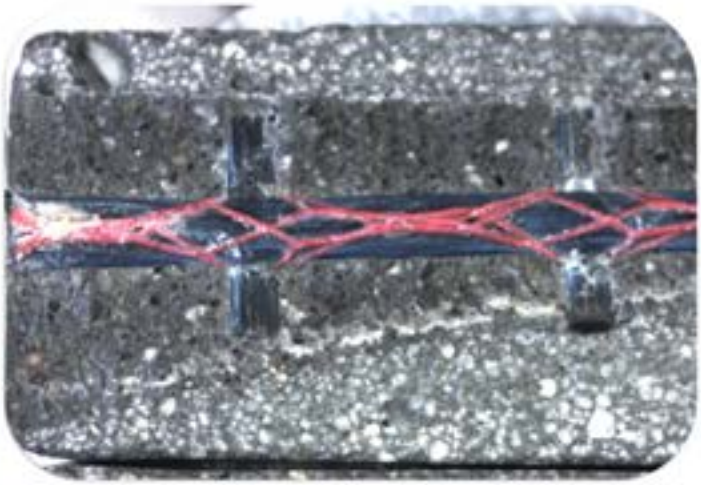
Zur Beschreibung des Ermüdungsverhaltens sollen S-N-Kurven erstellt werden. Hierfür wurde ein iteratives Prüfkonzept erarbeitet: In Einstufen-Schwingversuchen mit sinusförmiger Belastung wird für definierte Ober- und Unterlasten die maximal erreichbare Schwingspielzahl ermittelt. In Abhängigkeit von dieser wird das nächste zu untersuchende Lastniveau gewählt. Wurden Schwingspielzahlen nah der gewählten Grenzschwingspielzahl von 2 x 10^6 Lastwechseln erreicht bzw. versagten die Probekörper nicht, so wird die Belastung erhöht, bei einem schnellen Versagen wird das nächste Lastniveau niedriger gewählt. Mittels dieses Verfahrens können Zeitfestigkeitsgeraden erstellt werden. Zur Untersuchung des Langzeitfestigkeitsbereiches werden ausgewählte Versuche mit bis zu 10^7 Schwingspielen belastet.

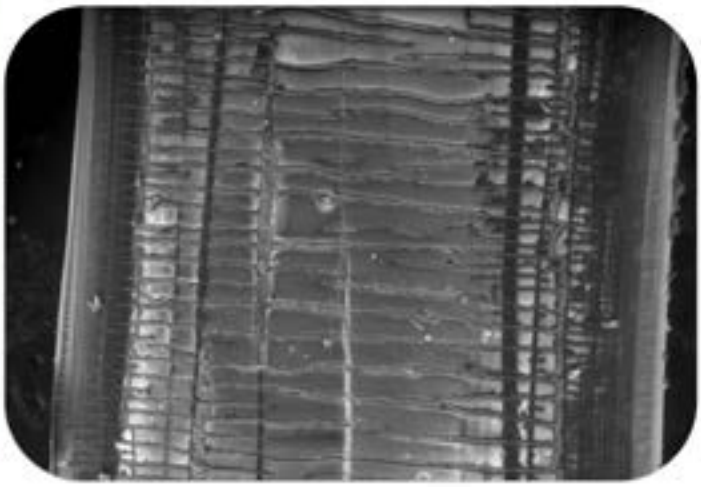
Abschließend soll anhand von Bauteilversuchen das Trag- und Verformungsverhalten im Dauerstand und unter Ermüdungsbelastung untersucht werden. Ziel ist es dabei auch, die Übertragbarkeit des in den kleinteiligen Versuchen nachgewiesenen Materialverhaltens auf große Bauteile zu zeigen. Dafür wird, soweit verfügbar, auf bestehende Ingenieurmodelle für die Tragfähigkeit von Carbonbetonbauteilen hinsichtlich Biegung und Querkraft zurückgegriffen, die nach heutigem Stand der Technik im Allgemeinen auf Kurzzeitversuchen beruhen. In Biege- und Querkraftversuchen sowohl an Neubauteilen als auch an verstärkten Bauteilen wird die Anwendbarkeit dieser Ingenieurmodelle für das Bauteilverhalten unter zyklischer bzw. statischer Dauerbelastung für alle drei untersuchten Materialkombinationen geprüft.

Dipl.-Ing.
Elisabeth Schütze
studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden und ist seit 2012 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Massivbau der Technischen Universität Dresden in der Forschungsgruppe Textil- bzw. Carbonbeton.

V2.2

Dauerhaftigkeit von C³-Bemessungskonzept, Nachweisverfahren, Prüfmethoden





Materialuntersuchung nach Exposition zum Verbund und in der Mikroebene · Foto © Institut für Baustoffe, TU Dresden

Die Einführung von Carbonbeton in die Bauprazis ist erst dann möglich, wenn eine fundierte und gut begründete Vorhersagemöglichkeit des Materialverhaltens unter langfristigen und sich variierender Umweltfaktoren vorliegt. Aus diesem Grund beschäftigt sich das C³-Vorhaben V2.2 mit der experimentellen Untersuchung und den sich daraus ergebenden Beschreibungen der Schädigungsmechanismen von Carbonbeton mit dem Ziel der Entwicklung eines leistungsbasierten Dauerhaftigkeitskonzepts sowie den zugehörigen Nachweisverfahren und Prüfmethoden. Im Stahlbetonbau ist die Dauerhaftigkeitsbemessung, neben der Tragfähigkeitsbemessung, ein integraler Bestandteil des Planungsprozesses; dies wird auch für den Bau mit C³-Materialien notwendig. Derzeit ist kein Dauerhaftigkeitskonzept zur Bemessung der Lebensdauer von Bauteilen aus Carbonbeton vorhanden. Geringe Erfahrung mit Carbonbeton, ein spezifisches Dauerhaftigkeitsverhalten der neuen Werkstoffgruppe und eine noch sehr eingeschränkte Datenbasis bedingen fundierte Untersuchungen zum Materialverhalten und erfordern neue Herangehensweisen bei der Ermittlung, Beurteilung und Vorhersage der Dauerhaftigkeit.

Zum Erreichen dieses Ziels sind in den ersten Schritten alle dauerhaftigkeitsrelevanten Daten zum expositions- und zeitabhängigen Verhalten des Verbundwerkstoffes Carbonbeton und seiner Komponenten zusammengestellt. In dieser Analyse sind, unter Berücksichtigung der denkbaren Anwendungsszenarien, Expositionsprogramme und Prüfungen zur Dauerhaftigkeit der Faser und ihrer Tränkung, der Interphase und der Matrix ausgearbeitet worden. Um die Untersuchungen so übertragbar wie möglich zu machen, wurde eine gezielte Materialauswahl mit den Projektpartnern abgestimmt. Diese wurde unter den Gesichtspunkten der vielversprechendsten Materialeigenschaften, der Vergleichbarkeit mit anderen C³-Projekten und dem Bezug auf bestehende Normen festgelegt. Eine der Hauptherausforderungen besteht dabei in der Vielfalt und Komplexität der Degradationsprozesse auf unterschiedlichen Skalen in Abhängigkeit von verwendeten Materialien der Faser, Schlichte, Tränkung und mineralischer Matrix sowie von den vorliegenden Beanspruchungen.

Gerade in den Ergebnissen der ersten Langzeituntersuchungen zum Verbund unter variierenden Umweltfaktoren, wie großer Hitze, hoher Feuchtigkeit, Frost und Belastungstemperatur konnten bereits jetzt spannende und vielversprechende Materialeigenschaften der Faser und des Verbundes festgestellt werden. Anschließende mikroskopische Analysen auf der Mikro- und Mesoebene lieferten dabei erste Erkenntnisse zur Beschreibung und Modellierung des Materialverhaltens. Als besonders interessant konnte im Rahmen der Untersuchungen die Interaktion der Tränkung mit der umgebenden Matrix festgestellt werden, welche selbst unter kritischer Exposition stabile und z. T. sogar sich verbessernde Verbundeigenschaften aufweist.

Aufgrund der großen Komplexität der zu untersuchenden Parameter wird eine weitere zentrale Aufgabe die Entwicklung einer Strategie zur Reduzierung der Datenunschärfe. Hierzu sollen zunächst die Fuzzy-Sets einen mathematisch schlüssigen und transparenten Umgang auch mit den geringen Datenmengen ermöglichen. Besonders spannend wird dann der Übergang zum angestrebten, semiprobabilistischen Bemessungsformat. Anschließend werden in enger Abstimmung mit den anderen C³-Vorhaben Untersuchungsparameter und Leistungsindikatoren der experimentellen Untersuchungen definiert, z. B. Festigkeitsabnahme, Massenverlust, Permeabilität. Zusätzlich werden praxistaugliche Prüfverfahren zur Anwendung und Einstufung von Carbonbeton ausgearbeitet. Mit der Entwicklung des Konzeptes soll nicht nur eine zentrale Voraussetzung für den Erfolg der Carbonbetonbauweise erfüllt werden, sondern auch der Erwartung der Vorhaben- und Projektpartner entsprochen werden, die Ergebnisse dieser Arbeit bei der Einführung anderer neuer Baustoffe in die Praxis zu erleichtern und voranzutreiben.

Dipl.-Ing. Philipp Kunz

ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baustoffe der TU Dresden mit dem Schwerpunkt Dauerhaftigkeit. Zuvor studierte er an der TU Dresden Bauingenieurwesen mit der Vertiefung konstruktiver Ingenieurbau. Anschließend begann er seinen beruflichen Werdegang bei der Bilfinger SE in Mannheim. Dabei war er von 2012-2018 innerhalb der zentralen technischen Entwicklung des Konzerns als technischer Berater tätig bevor er bei der Bilfinger Bauperformance im Industriebau und zuletzt innerhalb der Bilfinger Tebodin im Anlagenbau jeweils als Projektleiter tätig war.

V2.3 Brandverhalten von Carbonbeton

Entzündbarkeit bei direkter Flammeneinwirkung · Foto © MFPA Leipzig GmbH

Um neue Bauweisen dauerhaft und in großem Umfang in der Praxis zu verankern, ist die Kenntnis über die Baustoffklassen und das thermomechanische Verhalten unerlässlich. Erst diese Grundlagen ermöglichen eine Erfüllung von bauordnungsrechtlichen Forderungen. Sie stellen somit das Fundament einer breiten Anwendung und Akzeptanz des neuen Werkstoffs Carbonbeton bei Bauherren, Tragwerksplanern und bauausführenden Firmen dar.

In diesem Zusammenhang wurden bereits Untersuchungen zum allgemeinen Brand- und Abplatzverhalten verschiedener C³-Referenzbetone und Modifikationen davon durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass das eher ungünstige Abplatzverhalten der verhältnismäßig dichten Referenzbetone durch die Zugabe von PP-Fasern prinzipiell verbessert werden kann. An dieser Stelle ist noch weiterer Entwicklungsbedarf vorhanden, der jedoch nicht Gegenstand des C³-Vorhabens V2.3 ist.
Die Bestimmung der Baustoffklassen ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des C³-Vorhabens. Hierbei werden zunächst die Einzelbaustoffe (Referenzmaterialien für Neubau und Verstärkung) und anschließend der Verbundwerkstoff Carbonbeton analysiert. Erste Ergebnisse zeigen bei der Klassifizierung der Gelege erwartungsgemäß eine deutliche Abhängigkeit von der Geometrie und der Beschichtung. In diesem Zusammenhang konnte mit einer im Rahmen des C³-Vorhabens V2.3 entwickelten brandfallbeständigen Polysilazanbeschichtung eine deutliche Verbesserung erzielt werden.
Essentieller Bestandteil der Untersuchungen ist die Bestimmung des thermo-mechanischen Baustoffverhaltens für textile und stabförmige Carbonbewehrungen und für den Verbundwerkstoff Carbonbeton. Erste Resultate an Dehnkörpern und Fasersträngen zeigen eine annähernd lineare Abnahme der Zugfestigkeit bei steigender Temperatur (500 °C ≈ 0,5·ftex). Weitere Untersuchungen, unter anderem zum temperaturabhängigen Zugtrag- und Verbundverhalten von Carbonbeton mit Carbonstäben, laufen derzeit.

Für die Anwendung von Carbonbeton, für die Instandsetzung von Bestandsbauten sowie für Neubauten des Hoch- und Industriebaus ist es unerlässlich, das baustoffspezifische (Baustoffklasse) und konstruktionsbezogene (Feuerwiderstand) Brandverhalten zu ermitteln und dieses in Bezug zum bereits nachgewiesenen Brandwiderstand standardisierter Bauprodukte zu setzen. Ebenso ist die Formulierung brandschutztechnischer (Mindest-) Anforderungen an Konstruktionen aus Carbonbeton für die Überführung der Bauart in die Praxis von essentieller Bedeutung. Die Beurteilung erfolgt sowohl auf Basis der experimentellen Untersuchungen als auch auf der Grundlage numerischer Berechnungen. Aufbauend auf den bisher vorliegenden Ergebnissen wurde daher mit der Modellierung des temperaturabhängigen Materialverhaltens begonnen. Die Überprüfung der Modellierungsansätze erfolgt abschließend durch Validierungsversuche an repräsentativ skalierten Probekörpern.
Im Rahmen der Untersuchungen wurden bzw. werden des Weiteren Brandversuche an originalmaßstäblichen (unbelastet/belastet) Carbonbetonbauteilen für instandzusetzende Bestandsbauten sowie für den Bereich des Neubaus durchgeführt. Erste Versuche an mit Carbonbeton verstärkten Balken haben in diesem Zusammenhang gezeigt, dass durch die Verstärkungsmaßnahme eine Verbesserung der Feuerwiderstandsfähigkeit möglich ist. Drei weitere Großbauteile (mit Carbonbeton verstärkte T-Träger, Carbonbeton-Sandwichwand, Carbonbetonbalken mit Carbonstabbewehrung) sind zum Teil bereits hergestellt bzw. in Vorbereitung.
Aus den Anforderungen des bauaufsichtlichen Nachweises und der in diesem Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse ergeben sich gegebenenfalls neue Entwicklungsanforderungen an die Baustoffe und Konstruktionen, die unter generellen brandschutztechnischen Gesichtspunkten sowie unter Beachtung des mit dem Anwendungsfall zusammenhängenden Schutzziels zu bewerten sind.

Dr.-Ing. habil. Jörg Schmidt
studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Leipzig, wo er im Bereich Statik 2003 promovierte. Nach seiner Habilitation an der TU Dresden mit der venia legendi für „Statik und Dynamik" trat Herr Schmidt in die MFPA Leipzig GmbH ein, die er seit Anfang des Jahres als Geschäftsführer leitet.

Dr.-Ing. Stephan Reichel
studierte Bauingenieurwesen an der Universität Leipzig und promovierte an der Professur für Tragwerksplanung der TU Dresden. Seit 2014 ist Herr Reichel als Mitarbeiter an der MFPA Leipzig GmbH tätig und dort u. a. für die Bearbeitung der C³-Vorhaben V1.2, V2.1 und V2.3 verantwortlich.

ANZEIGE

TexMessBox

Bauteilintegriertes Überwachungssystem von bauwerksinduzierten Schäden

UNGER Bau-Systeme

gefördert durch

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

UNGER Bau-Systeme GmbH
Im Unger Park
Donauwörther Straße 2
09114 Chemnitz

Tel: +49 (0)371 / 36 98 5-0
Fax: +49 (0)371 / 36 98 5-40
bau-systeme@unger-firmengruppe.de

Einsatzbereiche

In fast allen Schadensfällen an Bauwerken spielt Wasser und dessen physikalische Zustände eine Rolle. Um Feuchtigkeit in Bauwerken langfristig überwachen zu können, bietet die UNGER Bau-Systeme GmbH ein neu entwickeltes System an, welches bisherige Messsysteme um ein Vielfaches übertrifft. Die TexMessBox.

Gegenstand dieses TexMess-Systems ist die Überwachung von physikalischen und chemischen Veränderungen in Bauwerken und Baukonstruktionen für Anwendungen im Neubau, beim Bauen im Bestand und in der Sanierung. Mit der TexMessBox wird eine drahtlose Kommunikation zwischen Mensch und risikobelasteten, vorgeschädigten bzw. geschädigten und sanierten Bauwerksteilen ermöglicht. Gegenstand der Datenerfassung und -übertragung ist die Diagnostik von Bauteilen.

Oberflächenarbeiten

inbasa

Ingenieurgesellschaft mbH für Bautechnik und Sanierung

Korrosionsschutzarbeiten

Betoninstandsetzungen

NEUBAU · UMBAU · SANIERUNG
INSTANDSETZUNG & RESTAURATION

Leipziger Straße 214, Im UNGER Park
09114 Chemnitz

Telefon: 0371 / 33 52 363 • Email: info@inbasa.de
Internet: www.inbasa.de

Riss- & Fugensanierungen

Bauwerksabdichtungen

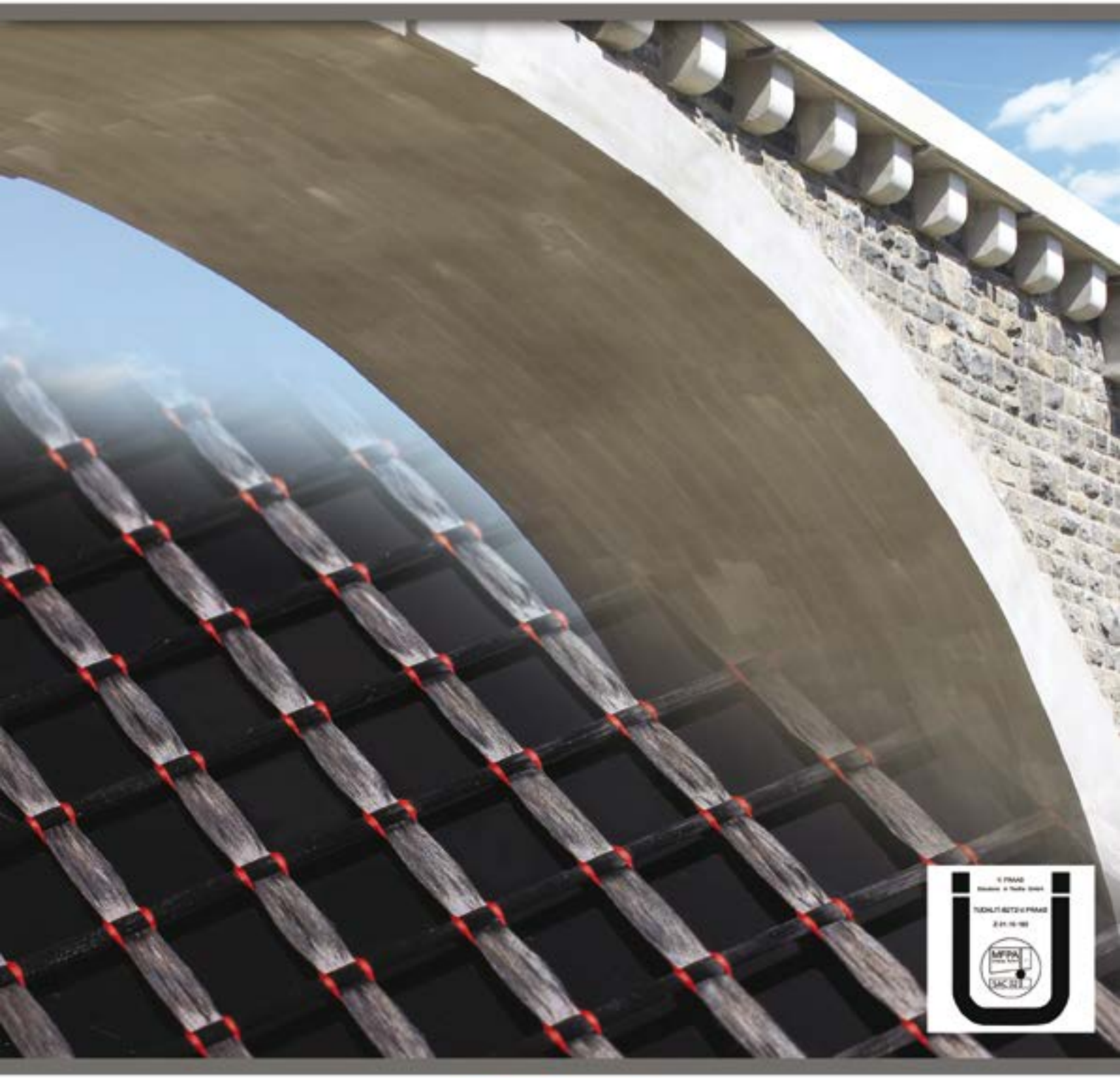
Verpressarbeiten

Die inbasa Ingenieurgesellschaft mbH für Bautechnik und Sanierung ist ein spezialisierter Fachbetrieb mit jahrelanger Erfahrung in der Instandsetzung von Ingenieurbauwerken.

Wir unterstützen Sie in allen Phasen der Planung, Ausschreibung und Umsetzung bei Sanierung, Umbau, Neubau, Instandsetzung & Restauration. Selbstverständlich sind wir auch bei der Lösung von Problemen an denkmalgeschützter Bausubstanz behilflich oder direkt als Generalübernehmer für Ihr Sanierungsprojekt. Unsere Tätigkeitsbereiche umfassen die komplexe Instandsetzung von Parkdecks, Parkhäusern und Tiefgaragen, Schwimmbädern und Sprungturmanlagen, Industrieboden-, Asphaltboden- und Magnesiabodensanierung sowie die Projektierung und Verlegung von Epoxidharz- und Sondermörteln. Insbesondere beschäftigen wir uns mit der Sanierung „fehlgeschlagener“ Parkhaus-Sanierungen.

V. FRAAS

SOLUTIONS IN TEXTILE



SITgrid®

V2.4

Garnstrukturen mit verbesserter Kraftübertragung durch Formschluss

Auszugsversuch · Foto © ITM TU Dresden

Die Oberflächenprofilierung ist bei der am Markt etablierten Stahlbewehrung Stand der Technik, bei der eine eingewalzte Rippenstruktur für die notwendige dauerhafte Verankerung im Beton sorgt. Im Vergleich dazu wird beim bisherigen Textilbeton die Betonhaftung mit Hilfe eines chemischen Tränkungsmittels realisiert, da Filamentgarne aus Carbonfasern oder AR-Glasfasern über eine sehr glatte Oberfläche verfügen, womit aber prinzipbedingt kein ausreichender Formschluss mit dem Beton ermöglicht wird. Das kann z. B. bei hohen Temperaturen dazu führen, dass das Tränkungsmittel erweicht und damit keine ausreichende Betonhaftung mehr vorhanden ist und das Bauteil vorzeitig versagt.

Im Rahmen des C³-Projekts V2.4 „Alternative Fasermaterialien für neue Bewehrungsstrukturen" werden deshalb verschiedene Technologien zur Entwicklung neuartiger Garnkonstruktionen aus alternativen Fasermaterialien mit definierten Garneigenschaften untersucht. Ein wesentlicher Schwerpunkt bildet dabei die Umsetzung einer definierten Oberflächenprofilierung auf den Garn- bzw. Bewehrungsstrukturen, um eine dauerhafte formschlüssige Verbindung sowie eine signifikant verbesserte Kraftübertragung mit dem Beton zu ermöglichen.

Als Lösungsweg werden diese Garnkonstruktionen auf Basis der Flecht-, Zwirn- und Kablier-Technik entwickelt, umgesetzt und bewertet. Damit soll insbesondere eine dauerhafte, formschlüssige Verbindung zwischen Faser und Matrix, ähnlich wie beim bisher eingesetzten Stahlbeton, realisiert werden. Anschließend werden daraus textile Bewehrungsstrukturen, entsprechend den definierten Anforderungen in den unterschiedlichen Anwendungsfeldern, hergestellt und im Beton geprüft.

Als Schwerpunkt werden verschiedene neuartige Flechtgarnkonstruktionen auf Basis einer weiterentwickelten Flechtmaschine umgesetzt, bei denen lasttragende Fäden aus verschiedenen Fasermaterialien eine nichtgeradlinige Orientierung der Fäden in Längsrichtung ausbilden, wodurch eine gezielt einstellbare Oberflächenprofilierung zur Erzielung einer hohen Betonmatrix-Haftung ermöglicht wird.

Die Kabliergarne bestehen beispielweise aus einem Kern mit Verstärkungsfaden und werden mit einem oder mehreren Verstärkungsfäden umwunden. Der Kern bleibt dabei genau wie der Umwindefaden in sich drehungsfrei. Das Herstellungsverfahren bietet eine schonende Verarbeitung der querkraftempfindlichen Fasermaterialien. Durch die gerippte Garnkonstruktion, bedingt durch den Umwindefaden, soll eine Erhöhung des Formschlusses im Betonverbund erreicht werden. Zur Fixierung des Umwindefadens bzw. für eine hohe Schiebefestigkeit werden verschiedene Methoden mittels Beschichtungsmitteln untersucht.

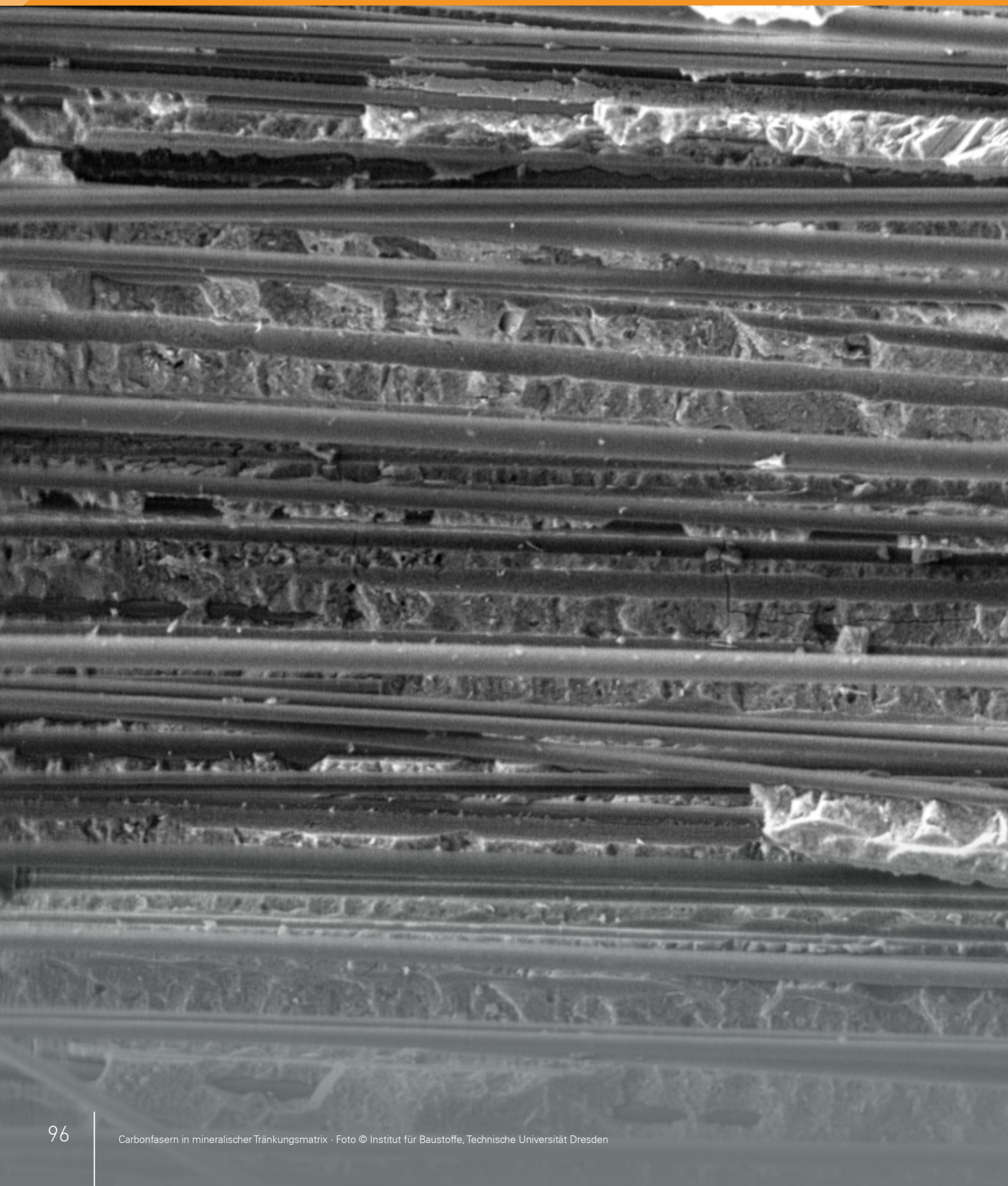
Bei der Entwicklung von Zwirnen werden die alternativen Fasermaterialein, die Anzahl an Fäden und die Drehung gezielt kombiniert, variiert und eingestellt. Durch die gerippte Garnkonstruktion, bedingt durch die Verzwirnung, soll eine Erhöhung der Anhaftung im Betonverbund erreicht werden. Für die dafür notwendige hohe Schiebefestigkeit werden ebenfalls Beschichtungsmittel eingesetzt.

Die wesentliche Herausforderung bei den neuartigen Bewehrungsstrukturen besteht in der Beibehaltung einer möglichst gestreckten Fadenlage der Einzelfäden in den jeweiligen Garnstrukturen, um die maximale Steifigkeit der Bewehrungsstrukturen weiterhin nutzen zu können. Dafür müssen u. a. neuartige Flechtgarnkonstruktionen bzw. Flechtmaschinentechniken entwickelt werden, die so am Markt noch nicht verfügbar sind. Erste Ergebnisse zeigen bereits, dass diese Herausforderung gemeistert werden kann. Durch Modellbildung von Flechtgarnkonstruktionen mittels TexMind® Software und Nutzung eines neuartigen Variationsflechters können erste anforderungsgerechte Flechtgarnkonstruktionen umgesetzt werden, die eine signifikante Erhöhung der Auszugskraft aus dem Beton im Vergleich zum bisher eingesetzten Textilbeton aus glattem Filamentgarn ermöglicht haben.

Dipl.-Ing.
Martin Hengstermann
studierte Maschinenbau mit Vertiefung auf Textil- und Konfektionstechnik und promoviert auf dem Gebiet des Carbonfaser-Recyclings für Leichtbauanwendungen am ITM der Technischen Universität Dresden, wo er seit 2014 Mitarbeiter der Forschungsgruppe Multimaterial-Garnstrukturen für Hightech-Anwendungen ist.

V2.6

Anorganisch gebundene Bewehrungsstrukturen



Carbonfasern in mineralischer Tränkungsmatrix · Foto © Institut für Baustoffe, Technische Universität Dresden

Die breite Anwendung von Carbonbetonkonstruktionen setzt voraus, dass der Verbund zwischen Betonmatrix und Bewehrungselementen auch bei hohen Temperaturen mechanisch leistungsfähig bleibt. Mineralisch getränkte Carbongarne, -textile und -stäbe stellen diesbezüglich eine vielversprechende Alternative zu den bisherigen Faserbewehrungen mit polymerbasierten Tränkungen dar.

Für die breite Anwendung der Carbonbeton-Bauweise kommt der Entwicklung von temperaturstabilen und mechanisch leistungsfähigen Bewehrungsstrukturen eine Schlüsselrolle zu. Die derzeit zur Verfügung stehenden Bewehrungselemente sind Komposite aus unidirektionalen Carbonfasergarnen, die mit polymerbasierten Matrices getränkt sind. Bei einer Temperaturerhöhung erweicht oder zersetzt sich dieses Tränkungsmaterial und die lastübertragende Verbundwirkung zum Beton ist nicht mehr gewährleistet. Dementsprechend gilt es, die polymerbasierten Materialien durch weniger temperaturempfindliche Systeme zu substituieren. Die Entwicklung entsprechender Materialien mit einer dazugehörigen Technologie bilden die Hauptziele des C³-Vorhabens V2.6.

Erste Untersuchungen zeigen, dass zementbasierte Tränkungsmaterialien einen vielversprechenden Lösungsansatz darstellen, da diese eine deutlich höhere Temperaturbeständigkeit aufweisen. Für eine Applikation solcher wasserbasierten Feinststoffsuspensionen müssen jedoch sowohl thermodynamisch als auch technologisch bedingte Herausforderungen bewältigt werden.

Ein wesentliches Kriterium für eine technologische Umsetzbarkeit ist ein hinreichend kleines Größtkorn der zu applizierenden Partikelsuspension. Nur dies kann gewährleisten, dass das neuartige Beschichtungsmaterial zwischen die einzelnen Carbonfilamente der Multifilamentgarne infiltriert. Somit können mit Hilfe eines kontinuierlichen Tränkungsprozesses qualitativ hochwertige Bewehrungsstäbe reproduzierbar im Labormaßstab hergestellt werden. Eine Charakterisierung dieser Strukturen mittels 3-Punkt-Biegeversuchen, Garnauszugversuchen und Porositätsmessungen zeigten, dass für einen erfolgreichen Tränkungsprozess insbesondere Suspensionen auf Basis von Feinstzementen in Kombination mit puzzolanisch wirkenden Mikropartikeln geeignet sind. Dabei kommt dem Verhältnis dieser Komponenten eine entscheidende Rolle zu, da diese wesentlich die ablaufenden Hydratationsprozesse und folglich die Biegefestigkeiten der Bewehrungselemente bestimmen.

Zur Erhöhung der Wechselwirkung zwischen den anorganischen, polaren Tränkungsmaterialien und den unpolaren Carbonfilamenten kann sowohl eine gezielte Plasmabehandlung als auch die Applikation von Funktionsschlichten beitragen. In ersten Untersuchungen konnte hierfür für ausgewählte Materialkombinationen eine verbesserte Verbundwirkung zwischen den beschichteten Carbonfasergarnen und der zementbasierten Tränkungsmatrix nachgewiesen werden. Hinsichtlich der Anwendung von Funktionsschlichten zeigte sich, dass neben der chemischen Konstitution der Schlichte auch der Anteil an applizierter Schlichte einen großen Einfluss auf die Wechselwirkung zwischen den Komponenten hat. Erste Untersuchungen bzgl. einer gezielten Funktionalisierung mittels Plasmaverfahren konnten aufzeigen, dass die Gaszusammensetzung, der applizierte Druck und die Behandlungsdauer einen signifikanten Einfluss auf das Verbundverhalten der Komponenten haben.

Die oben genannten Ergebnisse bilden eine Basis für die Übertragung des Herstellungsprozesses der neuartigen Bewehrungselemente aus dem Labormaßstab auf einen industriellen Maßstab. Erste Versuche weisen darauf hin, dass dies unter Berücksichtigung spezifischer Parameter erfolgreich umgesetzt werden kann, was die Herstellung temperaturstabiler Bewehrungselemente für den Carbonbeton in naher Zukunft ermöglichen wird.

Dr.-Ing. Marco Liebscher

ist seit 2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baustoffe der Technischen Universität Dresden und Ansprechpartner für das C³-Vorhaben V2.6 „Anorganisch gebundene Bewehrung". Zuvor war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. tätig, an dem er die praktischen Arbeiten zu seiner Dissertation durchgeführt hat.

V2.7

Nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton

Bauteilverstärkung · Foto © Stefan Gröschel, IMB TU Dresden

Zunehmende Ressourcenknappheit und veränderte Anforderungen an die Bausubstanz, insbesondere im städtischen Raum, erfordern neue ressourcenschonende und energiesparende Verfahren zur Instandsetzung vorhandener Infrastrukturobjekte. Hier setzt das C³-Vorhaben V2.7 – Erstellung von Gesamtkonzepten für die nachträgliche Verstärkung mit Carbonbeton an, welches auch eng mit dem C³-Vorhaben V1.2 – Nachweis- und Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen verwoben ist. Als Ergebnis werden den Planungsbüros die notwendigen Grundlagen zur Verfügung gestellt, um mit der nachträglichen Verstärkung mit Carbonbeton eine alternative und wirtschaftliche Instandsetzungsmethode gegenüber den aktuellen Verfahren anbieten zu können. Der Kern des Vorhabens liegt darin, die bisher durchgeführten Grundlagenforschungen zu Verstärkungsmaßnahmen auf die neue Generation von Carbonbewehrungen zu übertragen und zu validieren.

Im ersten Teil des C³-Vorhabens erfolgte sowohl eine theoretische, als auch eine praxisorientierte Aufarbeitung der vorhandenen Forschungsarbeiten, deren Praxistauglichkeit durch die Wirtschaftspartner sichergestellt wird. Des Weiteren wurden noch offene Fragestellungen sowie Ergänzungen an vorhandenen Berechnungsalgorithmen herausgearbeitet, die im nächsten Schritt gelöst werden sollen.

Den zweiten Teil des Forschungsvorhabens bilden Großbauteilversuche. Zum aktuellen Zeitpunkt sind Planung und Herstellung der im Anschluss zu verstärkenden Grundkörper für biege- sowie querkraftbeanspruchte Versuche abgeschlossen.

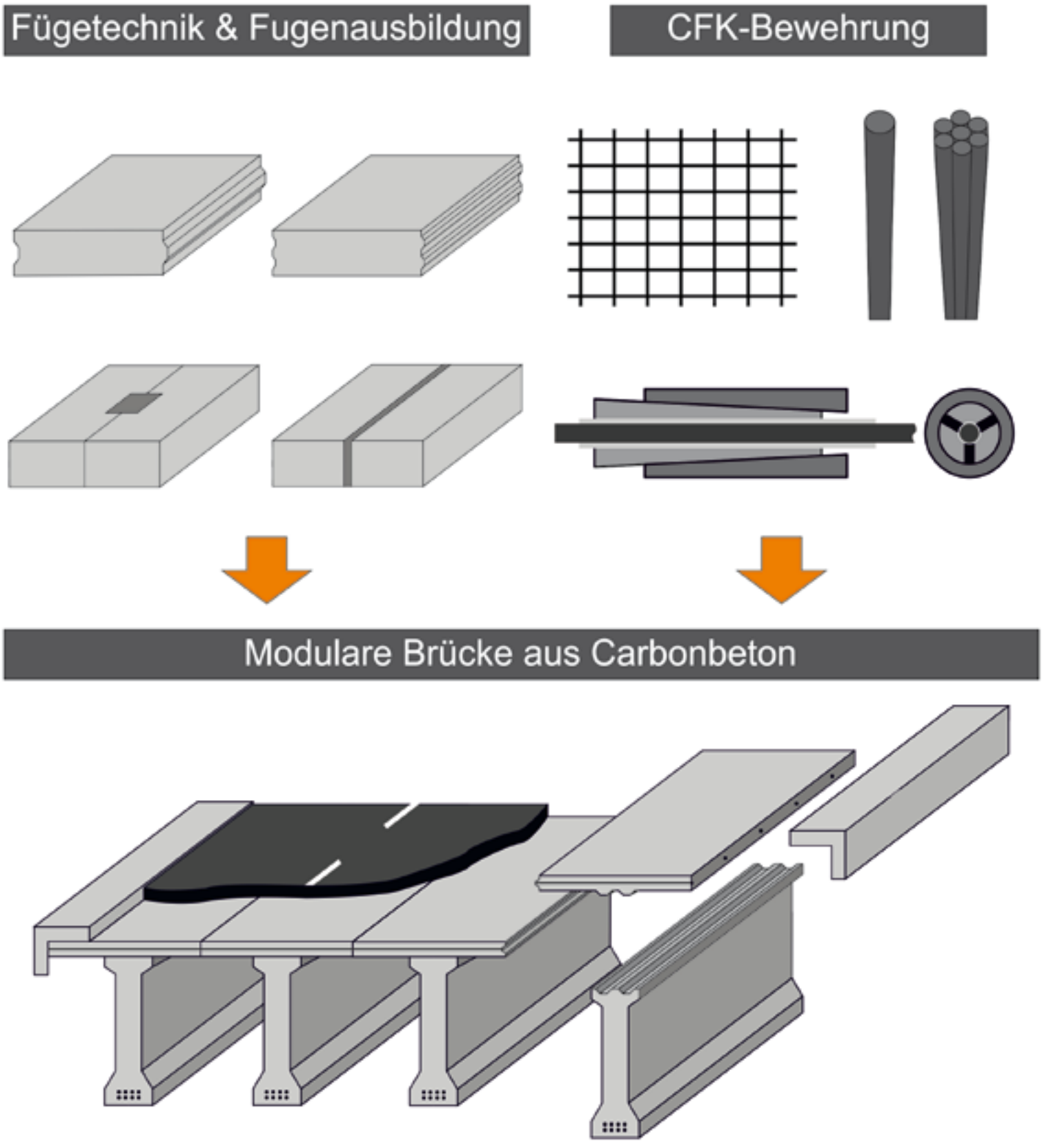
Um die Wirksamkeit von carbonbetonverstärkten Biegebauteilen darzustellen, wurden plattenförmige Bauteilquerschnitte gewählt. Im Gegensatz zu den Abmessungen, die mit 330 x 50 x 12 cm³ (Länge x Breite x Höhe) über die Versuchsreihe hinweg nicht verändert werden, wird der Bewehrungsgrad variiert. Für die Verstärkungsschichten werden zwei unterschiedliche Carbonbewehrungsmaterialien (Referenztextil und das solidian GRID Q85/85) aus dem C³-Projekt verwendet.

Die Bewehrungsgrade wurden hierbei bewusst niedrig gewählt, da Bauwerke im Bestand, aufgrund der Anwendung anderer Bemessungsvorschriften und anderer Anforderungen an die Ausführung, zumeist geringer bewehrt sind als nach heutigen Regelwerken üblich. Der Fokus liegt dabei auf vor ≈ 50 Jahren errichteten Gebäuden, die in den kommenden Jahren, unter der Vorrausetzung einer weiteren Benutzung, erneut zu beurteilen und entsprechend der geplanten Nutzung ggf. zu verstärken sind. Da aber anhand von veränderten Planungs- oder Umnutzungskonzepten auch jüngere Gebäude vorzeitig verstärkt werden müssen, wurde ein zweiter plattenförmiger Querschnitt für die Untersuchungen hinzugezogen, der einen höheren Bewehrungsgrad besitzt. Da die vorbelasteten Bauteile im Bestand gegebenenfalls Schäden aufweisen (z. B. Rissbildung), werden im Versuchsprogramm auch vorgeschädigte Bauteile verstärkt und geprüft.

Für die Querkraftverstärkungen wurden zwei unterschiedliche Plattenbalken gewählt. Dabei wird zum einem ein gedrungener Querschnitt mit einem Gurt- zu Steghöhenverhältnis von 15/35 cm mit einer Gesamthöhe von 50 cm, und zum anderen ein schlanker Querschnitt mit einem Verhältnis von 17/53 cm sowie einer Gesamthöhe von 70 cm verwendet. Die Versuchskörper, an denen die Querkraftverstärkung mit Carbonbeton vorgenommen wird, sind anlog wie bei der Biegebemessung mit zwar unterschiedlichen, aber geringen Bewehrungsgraden ausgeführt, um ein Versagen infolge Querkraft zu erhalten. Neben zwei unterschiedlichen Carbonbewehrungen wird auch die Ausführung bzw. Anordnung der Querkraftverstärkung variiert. Dabei werden einmal nur die seitlichen Stegflächen verstärkt, bei anderen wird die Verstärkung einmal um die Stegunterseite herumgezogen, entsprechend eines L-Profils. Wie auch bei der Biegeverstärkung wird die Versuchsreihe um vorgeschädigte Bauteile ergänzt und neben statischen Versuchen werden in Zusammenarbeit mit dem C³-Vorhaben V1.2 auch zyklische Versuche durchgeführt.

Dipl.-Ing. Egbert Müller

studierte Bauingenieurwesen und vertiefte Konstruktiven Ingenieurbau. Nach Abschluss des Studiums begann er 2014 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der TU Dresden und beschäftigt sich mit Textil- und Carbonbeton. Des Weiteren betreut er eine Lehrveranstaltung mit dem Themenschwerpunkt Verstärkung von Massivbauwerken.



Modulare Brücke aus Carbonbeton · Grafiken © Institut für Massivbau RWTH Aachen University

Ziel des C³-Vorhabens V2.9 „Modulare Bausysteme Ingenieurbau" ist die Bereitstellung von Grundlagen für ein modulares Baukastensystem aus Betonfertigteilen mit korrosionsbeständiger, nichtmetallischer Bewehrung am Beispiel von Brückenbauwerken. Durch die modulare Bauweise aus Fertigteilen mit Carbonbewehrung können besonders effiziente und qualitativ hochwertige Lösungen für schlanke Konstruktionen mit verkürzter Bauzeit und verbesserter Dauerhaftigkeit für hohe Lebensdauern erreicht werden. Durch niedrige Betondeckungen und den Wegfall von Asphaltdeckschichten kann das Gewicht stark reduziert und ressourcenschonend Material eingespart werden.

Die Anforderungen an Brückenbauwerke haben sich in den vergangenen Jahren infolge stark gestiegener Verkehrsaufkommen und besonders durch größere Fahrzeuggesamtgewichte deutlich erhöht und werden sich in den kommenden Jahren weiter verschärfen. Durch die Korrosion der Stahlbewehrung sind viele Bestandsbauwerke weder dauerhaft noch ausreichend tragfähig für heutige Verkehrsbelastungen. Da die Ertüchtigung bestehender Brücken sowie auch notwendige Ersatzneubauten aufwendig, kostenintensiv und verkehrsbeeinträchtigend sind, wird die Entwicklung neuer Methoden für nachhaltige Brückenbauwerke zu einem gesamtwirtschaftlich relevanten Thema. Dementsprechend sind Lösungsansätze mit Fertigteilen mit nichtmetallischer Bewehrung sinnvoll, da diese ein dauerhaft tragfähiges System mit kurzen Montagezeiten darstellen und somit die Beeinträchtigung des Verkehrs durch Sperrung von Straßen stark reduziert wird. Des Weiteren wird die Dauerhaftigkeit und somit auch die Nutzungsdauer ohne bauwerksspezifische Nutzungseinschränkungen durch korrosionsresistente Carbonbewehrung gesteigert.
Im Rahmen der prinzipiellen Klärung bzw. Überprüfung der Machbarkeit der modularen Brückenbausysteme werden unterschiedliche Fertigteillösungen für den Überbau untersucht. Dabei werden vor allem die Unterteilung der Tragwerke und die Fugenausbildung variiert.
Für die nichtmetallischen Bewehrungssysteme aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) werden geeignete Vorspann- und Verankerungstechniken sowie nicht vorgespannte Bewehrungssysteme untersucht. Für die schlaffen Bewehrungssysteme sollen getränkte, textile Carbongelege eingesetzt werden. Durch die Tränkung sind die Carbongelege auch als Formprofile ausführbar und können so z. B. als Querkraftbewehrung genutzt werden.
Die Vorspannung von CFK-Bewehrung ist aufgrund des anisotropen Verhaltens ein entscheidender Herstellungsschritt. Hierfür soll im vorliegenden C³-Vorhaben auf bereits an Carbonbewehrung erprobte Verankerungstechniken zurückgegriffen werden. Zur Ermittlung einer geeigneten Oberfläche für die Vorspannbewehrung sind experimentelle Untersuchungen zum Verbundverhalten der Carbonspannglieder mit sofortigem Verbund durchzuführen. Diese Ergebnisse steuern maßgeblich die Mindestdicken der schlanken Bauteile.
Durch theoretische und experimentelle Untersuchungen unterschiedlicher Fugenausbildungen und Fügetechniken soll die Verbindung der einzelnen modularen Fertigteilkomponenten durch dauerhafte und kraftschlüssige Fugen erreicht werden. Hierbei werden sowohl Nass- als auch Trockenfugen mit zusätzlicher Vorspannung der Fertigteile untersucht. In diesem Zusammenhang werden auch profilierte Stoßflächen der Fertigteile, analog zu der Segmentbauweise im Brückenbau, untersucht, da diese eine höhere Schubkraftübertragung zwischen den Fertigteilen gewährleisten. Zusätzlich werden Vergusstaschen als Verbindung der Fertigteile überprüft. Um kurze Bau- bzw. Montagezeiten zu erreichen, sind optimierte Fügetechniken für dünnwandige Bauteile zu erarbeiten.
Mit den Verbunduntersuchungen der Spannbewehrung im Beton sowie der Fugenausbildung werden vorerst die beiden zentralen Fragestellungen geklärt, um modulare Bausysteme aus Carbonbeton für den Ingenieurbau zu ermöglichen.

Sven Bosbach, M. Sc.
studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Seit 2017 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der RWTH Aachen tätig. Seine Tätigkeitsschwerpunkte sind Carbonbeton und modulare Bauweisen.

Dr.-Ing. Alexander Stark
studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen und dem Imperial College London. Im Jahr 2011 begann er seine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der RWTH Aachen, im Rahmen dessen er im Jahr 2017 promovierte. Seine Tätigkeitsschwerpunkte sind FVK-Bewehrung, Sandwichkonstruktionen und UHPFRC.

V3.1 CUBE – Ergebnishaus des C³-Projekts

Drei der Entwürfe des Büros HENN, oben Entwürfe 2 (links) und 3 (rechts), unten der Vorzugsentwurf 4 · Visualisierungen © HENN

Im Ergebnishaus des C³-Projekts CUBE werden die Ergebnisse aus über 60 Einzel- und mehr als 300 Teilvorhaben im derzeitig größten Forschungsvorhaben des Bauwesens in Deutschland zusammengeführt. Aufgabe ist es, die Erkenntnisse und Entwicklungen im weltweit ersten Carbonbetongebäude zu realisieren und sowohl die Praxistauglichkeit als auch die Innovationskraft von Carbonbeton zu zeigen. Für die Umsetzung ist dafür ein umfangreicher Ergebnisaustausch und Wissenstransfer zu und mit anderen C³-Vorhaben notwendig.

Aufgabe des Vorhabenteams, bestehend aus den Partnern AIB GmbH Architekten Ingenieure Bautzen, ASSMANN Beraten + Planen AG Dresden, Betonwerk Oschatz, Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG Sebnitz, Institut für Betonbau der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig unter der Vorhabenleitung des Instituts für Massivbau (IMB) der TU Dresden, ist die öffentlichkeitswirksame Umsetzung möglichst vieler Ergebnisse des C³-Projekts. Unterstützt werden diese durch die Partner texton e.V. und den Staatsbetrieb Sächsischer Bau- und Immobilienmanagement (SIB).

Im ersten Schritt wurden von den Architekten des Büros HENN, Berlin, vier unterschiedliche Gebäudekonzepte entwickelt, die den Spagat zwischen Alltagstauglichkeit und der Demonstration von Leichtigkeit, erreichbar durch die freie Formbarkeit des Materials Carbonbeton, schafften. Das Gebäude mit ca. 220 m² Bruttogeschossfläche, welches Labor- und Präsentationsräume beherbergen wird, soll nahe der Fakultät Bauingenieurwesen auf dem Campus der Technischen Universität Dresden errichtet werden. Die Entwürfe wurden anhand verschiedener Kriterien, wie Bauphysik, Konstruktion, Statik, Fertigung, Montage, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit, bewertet und die auf der Seite 30 unten abgebildete Variante als Vorzugsvariante beschlossen.

Ein Hauptaspekt im Gebäudekonzept war die Anordnung von Laborräumen als „Zwillingsräume", in denen später während des Betriebes vergleichende bauphysikalische Messungen und Nutzerstudien durchgeführt werden können. Ein weiterer wesentlicher Punkt war die Möglichkeit der Austauschbarkeit von einzelnen Fassadenflächen, um neu entwickelte multifunktionale Elemente, wie Fassaden mit integrierter Photovoltaik oder energiespeichernde Module, zu gegebener Zeit prüfen zu können.

Die neue Carbonbetonbauweise macht die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung aller für ein Gebäude notwendiger Bauteile sowie deren Verbindungsmittel erforderlich. Auch Fertigungs- und Montagetechnologien müssen den Spezifika von Carbonbeton-Bauteilen angepasst werden. Auf der Grundlage von Vorversuchen zur bauphysikalischen und statischen Leistungsfähigkeit sowie zur Einhaltung von Qualitätsstandards in der Fertigungs- und Montagetechnologie sollen Bauteile und Prozesse optimiert werden. Der Gebäudeentwurf aus diesen Bauteilen wird statisch und bauphysikalisch nachgewiesen, die Bauteile und Erstellungstechnologien in ihrem Ressourcenbedarf untersucht und die Nachhaltigkeit des Gebäudes bewertet. Für die markttaugliche und anforderungsgerechte Anwendung der Carbonbetonbauweise werden Ausschreibungstexte, Kostenansätze, Qualitätsstandards, Materialkennwerte, Berechnungs- und Bemessungsverfahren entwickelt.

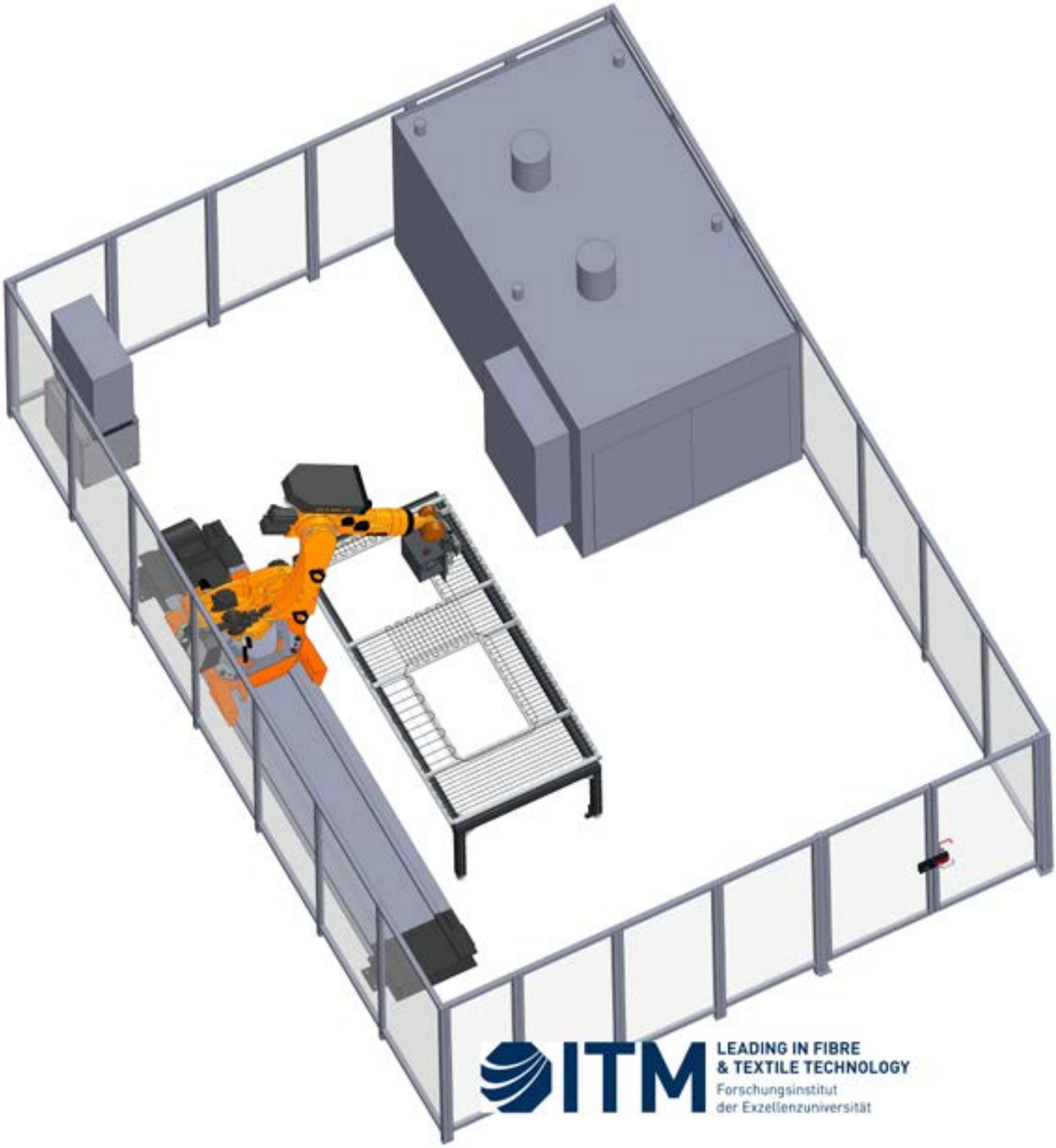
Alle in CUBE umgesetzten Entwicklungsergebnisse werden während des geplanten zehnjährigen Gebäudebetriebs durch Langzeituntersuchungen validiert. Parallel wird die Nutzerakzeptanz durch Öffnung des Gebäudes für Vorträge und Präsentationen vor breitem Publikum ermittelt.

Im C³-Vorhaben CUBE wird der gesamte Lebenszyklus eines Carbonbetonbauwerks betrachtet. Durchlaufen wird die komplette Prozesskette zur Planung und Errichtung von Carbonbetongebäuden einschließlich technischer Nachweise, Vergabe der Bauleistungen und Überwachung von Qualitätsstandards; auch werden Rück- und Umbauoptionen beschrieben, die Kosten der Carbonbetonbauweise kalkuliert sowie in Langzeitversuchen die dauerhafte Eignung von Carbonbeton als Baumaterial gezeigt.

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Studierte von 1977 bis 1982 an der Universität Dortmund Bauingenieurwesen und forschte anschließend als wissenschaftlicher Mitarbeiter bis zur Promotion 1987 an den Lehrstühlen für Beton- und Stahlbetonbau erst an der Universität Dortmund, später an der Universität Karlsruhe. Nach mehreren Praxisjahren bei der Firma Köhler+Seitz übernahm er 1994 den Lehrstuhl für Massivbau an der TU Dresden. 2016 wurde er für seine Forschung an Carbonbeton mit dem Deutschen Zukunftspreis des Bundespräsidenten ausgezeichnet.

V4.1

Robotergestützte Fertigung von Bewehrungsstrukturen für das Bauen mit Carbonbeton



Robotergestützte Fertigung · Visualisierung © ITM TU Dresden

Stahlbeton ist der meistverwendete Konstruktionswerkstoff im Bauwesen. Dem Architekten und Bauingenieur bietet Stahlbeton eine umfangreiche theoretische Basis und jahrzehntelange Praxiserprobung zur Durchführung des Festigkeitsnachweises der Konstruktion. Neben vielen Vorzügen bei der Verwendung von Stahlbewehrung zur Aufnahme der Zugkräfte im Stahlbeton weist Stahl jedoch eine hohe Anfälligkeit gegen Korrosion auf, weshalb in Abhängigkeit der Expositionsklasse zum Schutz der Stahlbewehrung eine massive Betondeckung notwendig ist. Der hohe Verbrauch an Zement, der zum Erreichen ausreichender Betondeckung benötigt wird, führt zu CO_2-Emmission der die Zementindustrie zum weltweit größten Emittenten von CO_2 werden ließ.

Einen vielversprechenden Ansatz zur signifikanten Reduzierung der CO_2-Emmisionen der Zementindustrie sowie extreme Materialeffizienz stellt die Verwendung von Carbonfasern als textiles Bewehrungsmaterial dar. Aufgrund der hervorragenden Beständigkeit gegenüber schädigenden Korrosionseinflüssen ermöglicht die Verwendung von Carbonfasern als Bewehrungsmaterial Betondeckungen von nur wenigen Millimetern bei gleichzeitiger Erhöhung der Lebensdauer des Bauwerks.

Nach der erfolgreichen Etablierung textiler Bewehrungsstrukturen zur nachträglichen Verstärkung zur Bauwerksertüchtigung rückt der Einsatz textiler Bewehrungsstrukturen im Bereich der Fertigteilwerke zunehmend in den Fokus der Forschung und der Fertigteilindustrie. Zur erfolgreichen Etablierung textiler Bewehrungsstrukturen im Betonfertigteilmarkt ist die Entwicklung einer Technologie zur vollautomatisierten Herstellung textiler Bewehrungsstrukturen, deren automatisierte Einbringung in die Schalung und anschließender Betonage unabdingbar. Diese Technologie wird im Rahmen des C³-Vorhabens V4.1 entwickelt.
Analog der in der Umlauffertigung von Fertigteilwerken bereits etablierten Technologie der integrierten automatisierten Bewehrungsherstellung und Einbringung der Bewehrung in die Schalung zielt die Entwicklung der neuartigen robotergestützten Fertigungstechnologie zur fertigungsintegrierten Bewehrungsherstellung auf die Erstellung einer biegesteifen Bewehrung in einem Stück ab. Bedingt durch die geometrischen Restriktionen bereits am Markt vorhandener textiler Bewehrungen als Rollenware (max. Breite 2,50 m) bzw. kleinformatiger Plattenware (5,0 x 1,2 m²) ergibt sich bei der Erstellung von komplexen textilen Bewehrungen für großformatiger Bauteile (6 x 3 m²) aufgrund von Übergreifungsstössen, Randverschnitt, Tür- und Fensterausschnitten ein Verschnitt von bis zu 35%. Durch die Fertigung der großformatigen textilen Bewehrung in einem Stück werden Garn- und Beschichtungsabfälle vermieden. Darüber hinaus eliminieren die kombinierten Prozessschritte unnötige Transporte, da die Garne zukünftig direkt im Fertigteilwerk verarbeitet werden, wodurch die bisher vorgelagerten textilen Fertigungsprozesse bei der textilen Bewehrungsherstellung entfallen. Des Weiteren entfallen die Personalkosten zum manuellen Zuschneiden der Bewehrung und Einbringen der Bewehrung in die Schalung.
Die neuartigen textilen Bewehrungen werden in einem Arbeitsgang mit einem Epoxidharz imprägniert, auf einem neu entwickelten Rahmen vollautomatisiert abgelegt, anschließend getempert, aus dem Rahmen entformt und in die Schalung verbracht.

Das Projekt Carbon Concrete Composites (C³)-V4.1 wurde durch das Programm „Zwanzig20“ aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

**Dipl.-Ing.
Martin von Zuben**
ist seit Juni 2016 in der Forschungsgruppe „Multiaxialgelege und Textiles Bauen“ als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Herr von Zuben absolvierte von 2005 bis 2016 ein Fernstudium an der TU Dresden im Diplomstudiengang Allgemeiner und Konstruktiver Maschinenbau. Bis 2016 war Herr von Zuben bei Unternehmen der Medizintechnik und aus dem automotiven Umfeld im Bereich verketteter Montageanlagen als Konstrukteur sowie Projektleiter tätig. Besonderer Fokus der Arbeiten von Herrn von Zuben liegt auf der robotergestützten Fertigung von textilen Bewehrungsstrukturen.

V4.2 Vorgespannter Carbonbeton

Entwurf und Prüfung von vorgespannnten Carbonbeton-Bauteilen · Foto © Technische Universität Berlin, Portrait: Zooey Braun

Tragwerke aus Carbonbeton sind insbesondere dann werkstoffgerecht entworfen und konstruiert, wenn die Carbonbewehrung vorgespannt wird. Die Vorspannung erlaubt es, schlankere Querschnitte zu realisieren, die dauerhaft und robust sind. Vorgespannter Carbonbeton wird in zwei Teilprojekten erforscht (Teil A: Brückensysteme für den Straßenverkehr; Teil B: Dünnwandige Flächentragwerke).

Die Entwicklung einer Autobahnüberführungsbrücke mit Spannweiten von 35 bis 45 m ohne Mittelstütze aus vorgespanntem Carbonbeton in integraler Bauweise – also ohne Fugen und Lager – ist das Ziel des Teilvorhabens A. Die Brücke enthält den Entwurf in Fertigteilbauweise, den Einsatz von hochfestem Beton sowie von Vorspannelementen und Bewehrung aus Carbon. Es wurde ein Konzept entwickelt, das Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit vereint. In der fertigen Brücke befindet sich das Halbfertigteil im stark mit Tausalzen belasteten Bereich oberhalb der Fahrspuren der zu überbrückenden Autobahn und wird daher mit nichtkorrodierendem Carbon bewehrt und vorgespannt. Die Mehrkosten für die Carbonbewehrung werden durch die erhöhte Dauerhaftigkeit wettgemacht. Alle übrigen Tragwerksteile (Gründung, Widerlager, Ortbetonplatte) sind weniger stark belastet und werden daher vorläufig konventionell mit Stahl bewehrt.

Das Biegetragverhalten von vorgespannten Carbonbetonträgern wurde experimentell untersucht. Neben der Entwicklung des Brückensystems liegt ein weiterer Schwerpunkt des C³-Vorhabens allgemein in der Weiterentwicklung der Vorspanntechnik im Carbonbetonbau. Ein Carbonspannglied mit nachträglicher Vorspannung ohne Verbund befindet sich derzeit in der Entwicklungs- und Testphase. Das Spannglied besteht aus einem Bündel von 12 Carbonlitzen (Spannkraft ca. 3 MN), die zusammen in einer Vergusshülse verankert werden. Ebenfalls wird ein kleineres wiederverwendbares Spannsystem für den Hochbau mit einer geklemmten Lamellenverankerung entwickelt. Weiterhin wird auch nachträglich umformbare Carbonbewehrung mit thermoplastischer Matrix erforscht. Es wurde ein Pultrusionsprozess so entwickelt und optimiert, dass ein Stab mit einem Durchmesser von 4,5 mm wirtschaftlich hergestellt werden kann. Derzeit wird die thermische Umformung für die Herstellung von Bügeln sowie die Herstellung einer optimalen Oberflächenstruktur für den Verbund entwickelt. Am Ende des Teilvorhabens A wird ein Fertigteilträger mit realitätsnahen Abmessungen als Demonstrator hergestellt, an dem die Herstellbarkeit evaluiert wird sowie Langzeitmessungen durchgeführt werden. Somit wird die Grundlage für die Realisierung eines Pilotprojektes geschaffen.

Die Entwicklung von vorgespannten Flächentragwerken aus Carbonbeton ist das Ziel des Teilvorhabens B. Für ebene, einfach und doppelt gekrümmte Bauteile soll die korrosionsbeständige und hochfeste Textilbewehrung verwendet werden. Über theoretische Analysen des Tragverhaltens und verschiedene experimentelle Untersuchungen an Gelegen und Bauteilen werden Bemessungskonzepte und Vorspannsysteme entwickelt, um Grundlagen für markttaugliche Bauteile zu schaffen.

Nach experimentellen Untersuchungen zu geeigneten Betonen und Gelegetypen wurden auch Verbundversuche durchgeführt sowie Greifersysteme für Einzelrovings und Carbongelege zum Vorspannen entwickelt und deren Funktionsfähigkeit bezüglich der Krafteinleitung geprüft. An schlaff bewehrten und vorgespannten dünnen Carbonbeton-Platten wurden Traglastversuche durchgeführt und das Tragverhalten theoretisch analysiert. Nachdem vorgespannte Balken zur Entwicklung von Plattenbalken theoretisch und experimentell untersucht wurden, konnten erste einsetzbare Bauteile (Pi-Platten) erfolgreich entworfen, hergestellt und getestet werden. In der aktuellen Entwicklung befinden sich weitere Prototypen, die als kommerzielle Fertigteile für den Hoch- und Industriebau (Trapezfaltwerke und Segmentschalen als Tragwerke) genutzt werden sollen.

Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich

Prof. Mike Schlaich leitet den Lehrstuhl für „Entwerfen und Konstruieren Massivbau“ an der TU Berlin.

In Forschung und Lehre beschäftigt er sich nicht nur mit leichten, aktiven und beweglichen Strukturen im Bauwesen, sondern derzeit auch mit Infraleichtbeton als tragende Wärmedämmung und Carbon für Seile im Brücken- und Hochbau.

Bei der sbp GmbH verantwortet er weltweit zu sehende Entwürfe. Zusammen mit renommierten Architekten hat er in den vergangenen Jahren zahlreiche Projekte bearbeitet und nationale/internationale Preise gewonnen.

V4.7

Planungstool – Variantenkonfiguration im visualisierten Raum

Digitale 3D-Planung mit virtueller Realität · Visualisierung © filmaton.tv

Aktueller Stand des C³-Vorhabens V4.7:

Auf dem Weg zum C³-Planungstool konnten erste vielversprechende Ergebnisse erzielt und das Beschreiten des weiteren Weges für die Immersion in einem virtuellen Prozess ermöglicht werden.

In den Bereich der Ergebnisse gehört allen voran ein prototypisierter Elementierer mit webbasierter 3D-Schnittstelle. Dieses für den Nutzer einfach gehaltene Werkzeug leitet aus einer Grundrissangabe anhand eines vorgegebenen Gestaltungsmusters eine typisierte Elementierung ab. Die Seiten- und Deckflächen eines einetagig mehrseitigen zur wandbauweise vorgesehenen Objektes werden unter Einhaltung der statischen und fertigungsgerechten Bedingungen zerlegt und mustergetreu in eine Menge fertigbarer Elementkonturen gewandelt.

Die Berechnung wurde als Serverprozess realisiert, der im Internet gehostet über einen handelsüblichen Webbrowser – vom PC bis zum Smartphone – angesteuert werden kann. Die dreidimensionale Darstellung der Zerlegung bietet dem Nutzer eine sofortige Kontrolle der Rechenergebnisse. Über Steuerknöpfe lassen sich die Optimierungsziele und Eingangsbedingungen nahezu in Echtzeit ändern, darunter die Spannrichtung der Decken und die Zerlegungsheuristiken. C³-technologische Innovationen lassen sich in dieser Planungsumgebung einfach als Serverkomponente implementieren. Die sofortige Visualisierung erlaubt eine Diskussion über die Fachbereiche hinweg, auch mit dem Bauherrn, der Planungsänderungen sofort erkennt. Ein Probieren oder Kombinieren von Heuristiken und Eingangsbedingungen lässt sich durch die serverbasierte Daten- und Prozesshaltung im Experten- und Kundenkreis auch barrierefrei teilen.

Auf Basis dieser Schnittstelle wurde ein weiteres Werkzeug geschaffen, was nun als Demonstrator verfügbar ist – der VR-Planer. Der Nutzer des Planungstools wird damit in die Virtuelle Realität versetzt. Durch Nutzung einer VR-Brille taucht der User (Planer, Bauherr etc.) in die zuvor berechnete 3D-Welt ein. Basierend auf der Datenbasis der 3D-Schnittstelle kann er sein Objekt begehen und erleben. Ein zusätzliches virtuelles Steuerpult ermöglicht Modifikationen an Planungsparamtern. Die Änderungen können in einem späteren Schritt instantan durch den Serverprozess der 3D-Schnittstelle fertigungskonform verifiziert werden.

Die Kopplung des digitalen Planungsstands an dahinterliegende Planungsprozesse wurde anhand in der Praxis realisierter Projekte geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die üblichen Planungsschritte überwiegend softwaregestützt stattfinden, wodurch die jeweils verwendete Software und deren Informationsfluss auch zum Untersuchungsgegenstand wurden. Die sich eröffnende Menge an Untersuchungsgegenständen sprengt den Umfang dieses Projekt. Für die untersuchten Fälle lässt sich ein wiederkehrendes Schema zeichnen. Die etablierte Softwarelandschaft sticht durch hochqualitative, auf dedizierte Anwendungsbereiche spezialisierte digitale Inseln hervor, deren Bedienung in vielen Fällen einen Spezialisten erfordert. Die Übertragung der Planungsdaten erfolgt von Insel zu Insel sehr aufgabenspezifisch; Informationen werden dabei reduziert und gehen verloren. Für die Zielstellung einer immersiven Einbindung der C³-Planungsdaten müssen diese bestehenden digitalen Software-Inseln erschlossen werden.

Die erste erfolgreich angesteuerte Insel ist der Fertigungsprozess im Betonwerk. Die unidirektional ausgeprägte Schnittstelle konnte durch eine formelle Ableitung des servergehaltenen Datenbestands in Werksfertigung definiert werden und erlaubt zukünftigen Erweiterungen am Planungssystem einen nahtlosen Export ins Werk. Vom Web über VR ins Werk – quasi auf Knopfdruck.

Dr. Thomas Witt

studierte Nachrichtentechnik an der FHL in Leipzig und St. Petersburg und Informatik an der HTWK Leipzig. Entwickelte seit 2000 Informationssysteme für die interne Kommunikation im Corporate Bereich. Promotion 2007 an der Comenius in Pressburg zum Thema digital Learning Organisations. Er ist Geschäftsführer der NU Informationssysteme GmbH und betreut dort die Bereiche Softwarerefactoring und Softwaredesign. Themenschwerpunkte: skalierbare Prozesse, prozedurale Generierung und Schnittstellenentwurf.

V4.9

Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken durch dünne C³-Schichten

Die innovative und effiziente Bauweise des Carbonbetons hat in der Zukunft sehr große Bedeutung für das Bauen im Bestand und die Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken. Bei den bekannten traditionellen Betonersatzsystemen im Spritzverfahren muss meistens mit einer Steigerung der Eigenlasten und Einschränkungen in den geometrischen Abmaßen gerechnet werden. Der carbonbewehrte Beton kann dagegen durch sein hohes Leistungsvermögen schlank und leicht ausgebildet werden, verbraucht weniger Ressourcen und ermöglicht eine erhöhte Nutzungs- und Lebensdauer der Bauwerke. Im C³-Vorhaben „Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken durch dünne C³-Schichten" wurden Matrixzusammensetzungen für derartige Carbonbetone entwickelt, die für Nass- und Trockenspritzsysteme und im Handauftrag verwendet werden können. Diese sollen für Altbetonuntergründe der Klasse A2 und Klasse A4 geeignet sein. Die zeitnahe Anbindung an die Regelwerke der Bundesanstalt für Wasserbau und des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton und damit verbunden eine enge Praxisorientierung standen zudem im Vordergrund der laufenden Projektbearbeitung.

An Carbonbetonprüfkörpern wurde der Einfluss der Risscharakteristik auf die Permeabilität von Luft und Wasser untersucht, entsprechend der Anforderungen der anvisierten Einsatzgebiete. Nach dem Aufbringen einer Zugkraft bis zu einer festgelegten Dehnung, um den gerissenen Zustand zu erzeugen, wurden die Proben in ein dafür entwickeltes Testsetup eingebaut. Dieses lässt eine Beaufschlagung mit Luft oder Wasser unter verschiedenen Drücken bei variablen Dehnungen zu. Über eine dicht an die Proben aufgesetzte Permeabilitätsmesszelle wurden die Proben mit den genannten Medien durchströmt. Durch ein feineres Rissbild, erzeugt über die Variation zu einem höheren Bewehrungsgrad, werden die Volumenströme exponentiell begrenzt, da der Bereich des ungehinderten Durchflusses abnimmt. Während die Mikrorauigkeit der Rissufer Verwirbelungen entstehen lassen, führen in den feinen Rissen liegende Mikro-Bruchpartikel und die Textilrovings aus Carbonfasern zu Querschnittsverringerungen.

Mit den entwickelten Matrix-Systemen wurde die Rissbildung und -entwicklung an Systemproben (Referenzbeton mit C³-Instandsetzungsschicht) untersucht. Dabei galt es, die mit den Praxispartnern als relevant erarbeiteten Vorgaben von 0,5 mm Rissbewegung im Altbeton und einer maximalen Rissöffnungsbreite von 0,1 mm im Carbonbeton einzuhalten. Um dieser Zielstellung gerecht zu werden ist es unumgänglich mehrere Lagen Textil einzusetzen. Um die multiple Rissbildung zu ermöglichen wurde jeweils links und rechts der Rissufer eine Entkopplungsebene durch die Verwendung verschiedener Arten Klebebänder erzeugt. Weitere Untersuchungen zur Ermittlung physikalischer Kennwerte geben außerdem Aufschluss über den Einfluss der erzeugten Risse und der textilen Bewehrung auf die Charakteristik des kapillaren Saugens und die Dauerhaftigkeit unter Frost- und Frost-Tausalz-Beanspruchung. Die Untersuchungen zu den aus den Risscharakteristiken resultierenden chemischen Kennwerten zum Beispiel der Carbonatisierung und des Eindringens von Chloriden dauern derzeit noch an.

Im Zuge des C³-Vorhabens ist eine Anwendung der Systeme an bestehenden Bauwerken geplant. Eine Vorauswahl für den möglichen Einsatz ist seitens der Vorhaben- und Projektpartner aus dem Praxisbereich bereits getroffen. Dazu wird die fachliche Begleitung und Dokumentation zwischen den Projektpartnern geplant und abgesprochen. Im Weiteren werden die Bewertung des neuen Verfahrens der Anwendung dünner C³-Schichten im Vergleich zu den traditionellen Methoden der Betonersatzsysteme und die Aufbereitung des neuen C³-Systems für eine Anknüpfung und/oder Einordnung an bestehende Richtlinien und Normen vorgenommen.

Dipl.-Ing. Michaela Reichardt
studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden. Seit ihrem Abschluss 2011 ist sie am Institut für Baustoffe der TU Dresden angestellt. In ihren aktuellen Forschungsprojekten liegt der Schwerpunkt auf der Dauerhaftigkeit von Beton.

V4.12

Instandsetzung von geschädigten Betonfahrbahndecken mit Carbonbeton

Fahrbahndecke aus Beton · Foto © Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik

Betonfahrbahndecken werden i. d. R. unbewehrt ausgeführt. Dabei werden hygrisch und thermisch bedingte Verformungen weitgehend behindert, woraus Zwangsspannungen resultieren, die letztlich zu Rissen führen. Zur Vermeidung einer wilden Rissbildung werden gezielt Querscheinfugen geschnitten, die als Sollbruchstellen eine kontrollierte Rissbildung ermöglichen. Diese Fugen stellen allerdings eine maßgebliche Schwachstelle dar und erfordern eine kontinuierliche Wartung und Instandhaltung.

Die massiven Beanspruchungen einer Fahrbahn durch den überrollenden Verkehr, aber auch die extremen witterungsbedingten Einwirkungen (Sonne, Frost, Taumittel usw.) machen es erforderlich, Fahrbahndecken nach geraumer Zeit instand zu setzen. Oftmals würde es bei Betonfahrbahndecken ausreichen, lediglich den Oberbeton zu erneuern, wenn der Unterbeton noch entsprechend intakt ist. Dabei erweisen sich insbesondere die Fugen als kritisch, da diese in der Neubetonschicht übernommen werden müssen. Da bislang kein praxistaugliches Instandsetzungsverfahren existiert, mit dem dünnschichtige Erneuerungen der Betondeckschicht fugenlos möglich sind, muss i. d. R. der gesamte Betonoberbau einschließlich der Tragschicht erneuert werden, selbst wenn der Unterbeton noch intakt ist. Zweckmäßig wäre daher ein Instandsetzungsverfahren, mit dem eine neue, fugenlose Betondeckschicht auf den alten, mit Fugen durchsetzten Unterbeton aufgebracht werden könnte. Zwar haben fugenlose Betonfahrbahndecken mit durchgehender Längsbewehrung in mehreren Praxisversuchen ein gutes Gebrauchsverhalten gezeigt, ein adaptiver Einsatz für dünnschichtige Instandsetzungen von nur rd. 3 bis 7 cm Stärke, wie sie hier angestrebt werden, lässt sich so aber allein aus Korrosionsschutzgründen nicht realisieren.

Mit einer entsprechenden Carbonbewehrung in dieser dünnen Schicht könnte auf die Anordnung wartungsanfälliger Fugen und damit auch deren regelmäßigen Pflege verzichtet werden. Ziel dieses C³-Vorhabens ist es daher, eine fugenlose Deckschicht aus Carbonbeton zu entwickeln, die den beibehaltenen Unterbeton sowie die Tragschicht vor Wasser- und Taumittelzutritt schützt und so die Dauerhaftigkeit der Gesamtkonstruktion verlängert. Gleichzeitig sind alle Anforderungen an Betonfahrbahndecken zu erfüllen.

In zwei Teilprojekten wird zum einen mit Hilfe von Verbundbalken (50 x 180 x 27 cm³) das Verbundverhalten von Carbonbeton und Straßenbeton unter Ermüdungsbeanspruchung untersucht. Zum anderen ist die Untersuchung und Modellierung der Rissentwicklung und -verteilung des Verbundwerkstoffes Carbonbeton Gegenstand des Projekts. Im ersten Schritt mussten zunächst sowohl die Frisch- als auch die Festbetoneigenschaften eines herkömmlichen Waschbetons für Betonfahrbahndecken auf die Verwendung im Carbonbeton abgestimmt und ein geeignetes Textil ausgewählt werden. Im nächsten Schritt des ersten Teilprojekts wurden Verbundbalken hergestellt, welche aus einer Straßenbetonschicht und einer aufbetonierten Carbonbetonschicht bestehen. Diese werden einer zyklischen Biegebeanspruchung unterzogen, die den überrollenden Verkehr in situ simuliert. Es folgen umfangreiche Untersuchungen zum Verbundverhalten zwischen Straßen- und Carbonbeton sowie zwischen der Carbonbewehrung und Beton. Außerdem wird in statischen Biegezugversuchen das Auszugverhalten des Carbontextils und das Nachbruchverhalten des Carbonbetons ermittelt. Im zweiten Teilprojekt wurden die entscheidenden Eigenschaften des Carbonbetons bestimmt (Zugfestigkeit am Dehnkörper, Verbund am Auszugkörper, Übergreifungslängen am Übergreifungskörper, etc.). Diese dienen u. a. als Eingangswerte der für die Entwicklung eines Rechentools zur Berechnung der Verbundspannung-Schlupf-Beziehung, Verankerungslängen, Rissabständen und –breiten. Die Untersuchungen in beiden Teilprojekten sind derzeit nicht abgeschlossen.

Julia Neumann, M.Sc.

studierte nach der Berufsausbildung zur Raumausstatterin an der Technischen Universität Dortmund Bauingenieurwesen und Konstruktiver Ingenieurbau mit der Vertiefungsrichtung energieeffizientes Bauen. Seit 2017 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum tätig. Forschungsschwerpunkt: Fugenlose Instandsetzung von geschädigten Betonfahrbahndecken mit Carbonbeton

V4.13 Carbon-Concrete-Heating-Tool

Multifunktionaler Carbonbeton · Foto © HWTK Leipzig

Das C³-Vorhaben verfolgt das Ziel, das Potenzial von C³-Carbonbeton über den reinen Einsatz als (Fertig-)Bauteil hinaus auszuloten. Durch die Erforschung und Entwicklung eines hochleistungsfähigen Betons und den späteren Einsatz als temperaturbeständiges und heizbares Formgebungswerkzeug, kann der intelligente und leistungsfähige Verbundwerkstoff sein Anwendungsspektrum auch auf den Formen- und Maschinenbau ausweiten und somit weniger beständige Werkstoffe opportun ersetzen.

Im Vordergrund des C³-Vorhabens steht die Herstellung eines beheizbaren Formwerkzeuges für die kunststoffverarbeitende Industrie. Der Schwerpunkt dieser Formwerkzeuge liegt dabei im Bereich der Faserverbundwerkstoffe, die in der Automobil- sowie in der Luftfahrtindustrie zunehmend zum Einsatz kommen. Bei derzeitigen Formen werden vorwiegend Epoxidharzmatrizes aber auch Metallformen bei der Herstellung von Faserverbundbauteilen eingesetzt. Epoxidharz altert schnell bei höheren Temperaturen und Formgebungswerkzeuge aus Metall sind sehr kostenintensiv. Mit einer temperaturbeständigen Carbonbetonmatrix als Grundlage für das elektrisch beheizbare Formwerkzeug wird ein adäquater Werkstoff entwickelt, der die Defizite der bisher bevorzugt eingesetzten Materialien ausgleichen kann.

Durch den so erreichten Rückgang der Investitionskosten für innovative Produkte und die damit verbundenen Senkung der Markteintrittsbarrieren wird der Markteintritt für Produktionsfirmen mit kleineren Stückzahlen erleichtert und dem Endkunden ein langlebiges, innovatives und damit kostengünstiges Werkzeug bereitgestellt.

Im Fokus dieses C³-Vorhabens steht die Herstellung einer beheizbaren Preform als Umformwerkzeug mit den Teilzielen der Entwicklung einer temperaturbeständigen Carbonbetonmörtelmatrix und den notwendigen Untersuchungen zur Formstabilität, der Integration einer heizbaren Carbonfaserstruktur in die Mörtelmatrix und der Herstellung eines Prototypen zur Anwendung im Produktionsalltag. Carbonbeton als neuer Verbundwerkstoff verspricht im Vergleich zu glasfaserverstärkten Epoxidharzen höhere Standzeiten der Formwerkzeuge und eröffnet ein enormes Einsparpotenzial im Bereich der organischen Bindemittel. Es wird ein Carbonbeton entwickelt, der bei Temperaturen von 200 °C bzw. bis zu 400 °C auch bei zyklischer Beanspruchung eine hohe Dauerhaftigkeit gewährleistet.

Nach erfolgreicher Dimensionierung der Mörtelmatrizes wurde bereits mit dem Einsatz von Carbon als Bewehrung sowie als Heizelement begonnen, wobei die Carbonfaser auf ein Trägergelege aufgestickt und anschließend in die Mörtelmatrizen eingebettet wurde. Ebenso werden derzeit Untersuchungen zur Verarbeitbarkeit der Mörtelmatrizes an den ausgewählten Modellkörpern durchgeführt, um die Matrizes kontinuierlich zu optimieren. Ein Faseranteil der Matrizes erscheint zur besseren Formstabilität sinnvoll, ebenso werden Varianten zur Spritzbarkeit der Mörtel getestet. Zum Thema Dauerhaftigkeit werden momentan bekannte Verfahren aus dem Bauwesen verglichen, um das für die spätere Anwendung als Heizformen geeignete als Grundlage der durchzuführenden Versuche auszuwählen.

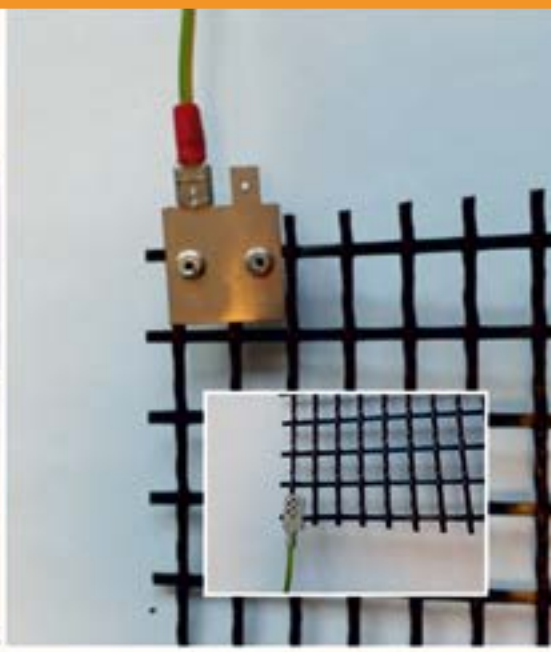
Mittels numerischer Simulationen wird an der Optimierung der Geometrie sowie an der Zusammensetzung der Feinkornbetone gearbeitet, dadurch werden Zwangsspannungen, welche sich infolge der zyklischen Temperaturänderung einstellen, reduziert und das Ziel die Dauerhaftigkeit der Formwerkzeuge signifikant zu erhöhen, erreicht. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen erfolgen abschließend Testversuche mit zyklischen Temperaturintervallen an den Formwerkzeugen, die den Grad der Leistungsfähigkeit des neuen Bauteils ermitteln sollen.

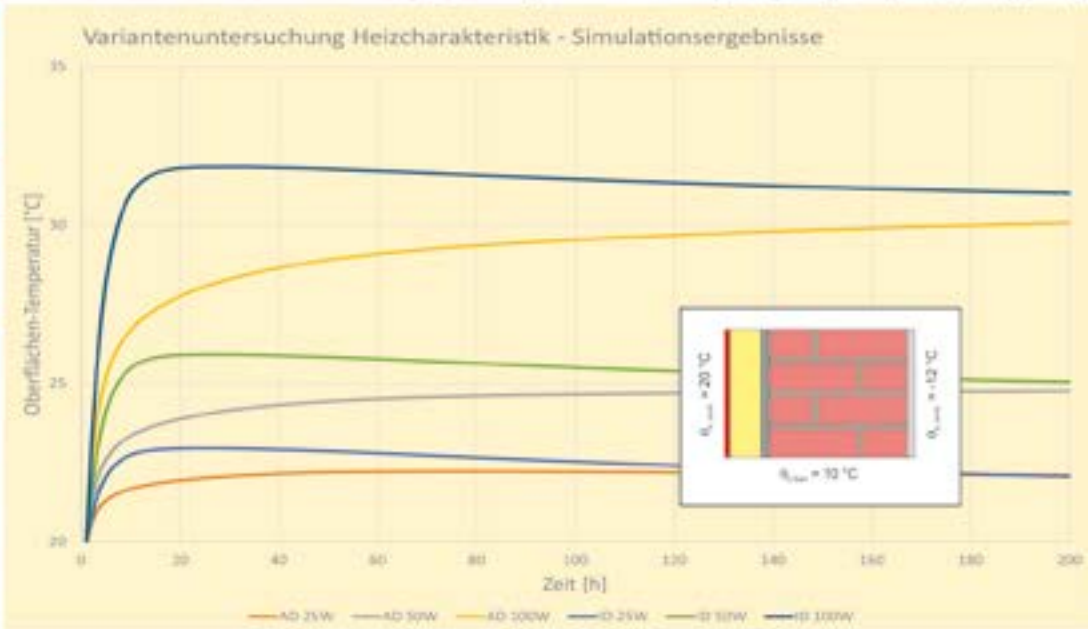
Emanuel Lägel, M. Sc.
ist gelernter Glaser und studierte 2005-2010 Bauingenieurwesen mit Vertiefung Konstruktiver Ingenieurbau an der HWTK Leipzig. Er arbeitete unter anderem im Projekt „Ressourcenschonung und Substanzerhaltung“ und in diversen C³-Vorhaben mit. Neben seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter unterstützt er als Dozent die Lehre im Bereich Statik und Baustofflehre.

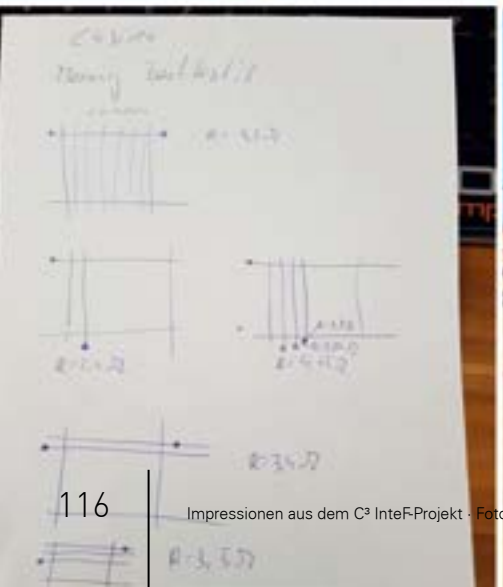
Dipl.-Ing. Holger Orawetz
studierte 1988-1994 Verfahrens- und Verarbeitungstechnik an der TU Dresden. Erste berufliche Erfahrungen sammelte er im Kraftwerksanlagenbau im Bereich Projektmanagement. Ab 1999 arbeitete er im Leibniz Institut für Polymerforschung in Dresden im Bereich der Verbundwerkstoffe an Projekten der Luftfahrtindustrie. Hier wurden die Grundlagen für die Entwicklung und Fertigung von textilen elektrischen Kohlenstofffaser-Heizstrukturen gelegt, die in vielen Anwendungen ihren Einsatz finden. Als Mitgründer der Firma Qpoint Composite ist er als Geschäftsführer seit 2009 bis heute tätig. Qpoint Composite entwickelt und fertigt Sondermaschinen für die Automobil- und Luftfahrtindustrie.

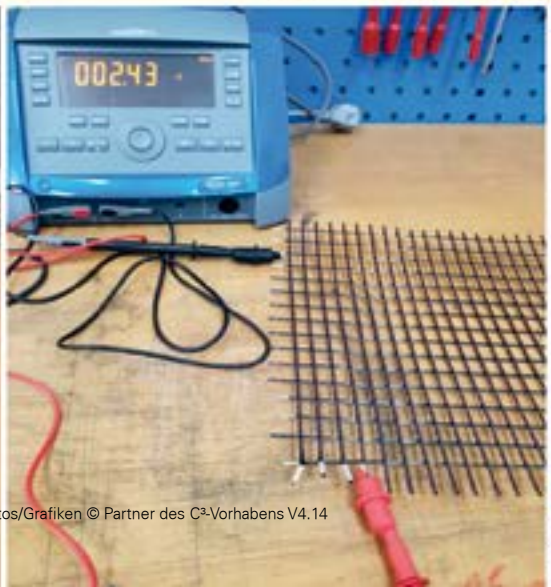
V4.14

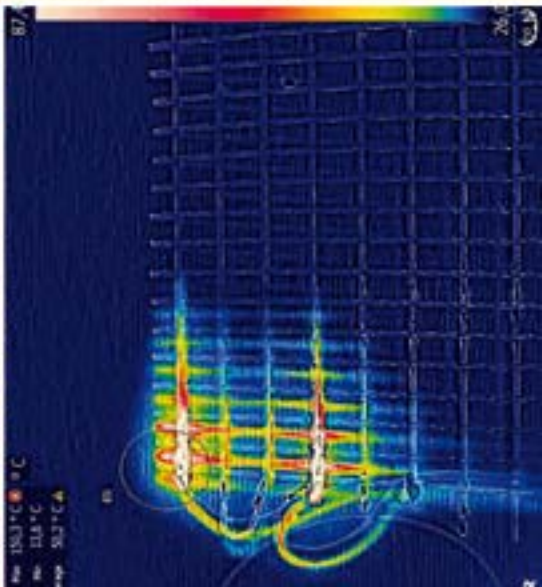
Bauelemente aus Carbonbeton mit integrierten bauklimatischen Funktionen











Impressionen aus dem C³ InteF-Projekt · Fotos/Grafiken © Partner des C³-Vorhabens V4.14

„Zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen" – das ist die volkstümliche Umschreibung des Begriffs „Funktionsintegration". Für das C³-Vorhaben V4.14 „InteF" bedeutet dies die Nutzung der – aus konstruktiver Sicht ohnehin notwendigen – Carbonbewehrung zur Realisierung einer Flächenheizung. Dazu werden die Rowings eines Carbon-Geleges elektrisch kontaktiert, um mit einer geeigneten elektrischen Spannung eine Flächenheizwirkung zu erzielen. Der Ansatz zielt sowohl auf Wand- als auch auf Bodenheizungen.

Nach einem gelungenen Projektstart im September 2017 begann unmittelbar eine intensive Zusammenarbeit und Kommunikation der Projektpartner zur detaillierten Abstimmung in den anstehenden Arbeitspaketen. Schwerpunkt bildete dabei zunächst eine umfassende Anforderungsanalyse, in der grundsätzlichen Anwendungsszenarien für beheizbare Wand- und Bodenbauteile formuliert wurden. Neben der Raumheizung umfassten die Betrachtungen auch Anwendungsfälle zur Energiespeicherung in massiven Betonbauteilen und zur Gewährleistung der aus bauhygienischer Sicht notwendigen Oberflächentemperaturen im Bereich von Wärmebrücken.
Darauf aufbauend wurden die Anforderungen an die Bindemittelmatrix, den Faser-Matrixverbund und die Übergangszone ausgearbeitet. Die Temperaturbeständigkeit der Faserbeschichtung stellte dabei ein besonderes Kriterium dar. Als Bindemittelmatrizces wurden eine C³-B2-Formulierung sowie zwei in ihrer Zusammensetzung ähnliche kommerzielle Rezepturen ausgewählt.
Bei der Auswahl eines geeigneten Carbon-Fasergeleges erfolgte ein intensiver Gedankenaustausch mit dem ITM der TU Dresden. Als Vorzugsvariante wurde der Einsatz, der als Zulassungstextil bekannten Gelegevariante, festgelegt. Als alternatives Produkt wird die im Zulassungsverfahren befindliche Variante mit einer höheren Temperaturbeständigkeit (bis zu 80 °C) in Betracht gezogen.
Umfangreiche Untersuchungen und Experimente erfolgten im Themenkomplex Elektrotechnik. Nachdem zunächst spezielle Varianten von Gelegen (Kombination aus Glas- und Carbonfasern (0/90) in Betracht gezogen wurden, konnte schließlich eine Strategie zur Stromdurchleitung gefunden werden, welche den Einsatz des Zulassungstextils ermöglicht.
Durch die beteiligten Institute der TU Dresden wurden umfassende Konzepte zur Herstellung von Proben und Prüfkörpern erstellt und mit den Praxispartnern abgestimmt. Dabei handelt es um Prüfkörper für die Durchführung mechanischer Belastungsversuche unter verschiedensten Randbedingungen sowie um spezielle Laborprüfkörper zur experimentellen Bestimmung der hygrothermischen Eigenschaften der zu verwendenden Rezepturen.
Begleitet wird das Vorhaben durch eine umfassende administrative Koordination sämtlicher Aktivitäten durch das Fraunhofer IMW. Diese umfasst die Dokumentation des Projektfortschritts, die Durchführung spezieller Projektworkshops sowie die Erfassung relevanter Funktionen aus Kundensicht, zur Entwicklung von Leistungsbündeln auf der Basis wichtiger Funktionen.

Nach erfolgter Klärung der wesentlichen Voraussetzungen und Randbedingungen zur Heizaktivierung von Carbonbeton stehen nun die Durchführung der Laborexperimente und der Belastungsversuche an. Beim IfB stehen Prüfungen zum Verhalten bei chemischen und physikalischen Expositionen (insbesondere Frost-Tausalz-Einwirkung) unter mechanischer Belastung sowie Untersuchungen an Labormustern zur Optimierung des Designs der Gelege und der Heizfunktion in Wänden und Böden im Mittelpunkt. Im Labor des IBK beginnen die Laborexperimente zur hygrothermischen Materialcharakterisierung, welche bis zum ersten Quartal 2019 abgeschlossen werden sollen.

Seitens der Praxispartner rücken technologische Fragen, wie etwa geeignete Maßnahmen zur Gelegesicherung und zur Gewährleistung eines effizienten Herstellungsprozesses von Heizelementen, in den Vordergrund. Als weiteres wichtiges Thema werden die Möglichkeiten zur Stromversorgung und zur Steuerung der Heizelemente im praktischen Einsatz untersucht.

Prof. Dr.-Ing. John Grunewald studierte Bauingenieurwesen mit Vertiefung Bauinformatik an der Hochschule für Bauwesen in Cottbus und promovierte 1995 an der Fakultät Bauwesen der TU Dresden. Anschließend koordinierte und leitete er zahlreiche wissenschaftliche Forschungsprojekte. Von 2006 bis 2007 war er Acting Director an der Syracuse University Department of Mechanical and Aerospace Engineering, NY, USA. Seit 2007 ist er Institutsdirektor des Instituts für Bauklimatik und Inhaber der Professor für Bauphysik der TU Dresden.

V4.15

Anforderungen an marktreife anorganisch gebundene Carbonbetonbewehrungselemente

Carbonbetonbewehrungselemente · Visualisierung © Sebastian Ortlepp

Die bisher im C³-Projekt durchgeführten Untersuchungen auf dem Gebiet der mineralischen Beschichtung von Carbonfasern sind auf eine Optimierung der Baustoffe in Bezug auf Beschichtungseigenschaften und -verfahren im Labormaßstab fokussiert. Eine kontinuierliche und qualitativ gleichbleibende Herstellung linienförmiger Bewehrungsstrukturen für die Massenproduktion ist aktuell nicht möglich. Das Gesamtziel des Vorhabens ist es, Anforderungen an marktreife Produkte in Form von praxistauglichen Bewehrungssystemen zu erforschen.

Die Verwendung einer mineralischen Matrix als Beschichtungssystem von Carbonfasern zielt im Wesentlichen darauf ab, vorhandene Nachteile organisch beschichteter und metallischer Bewehrungsstrukturen aufzuheben, dazu gehört z. B. die hohe Temperaturempfindlichkeit. Beide Materialien verlieren ab ca. 300 °C ihre Zug- und Verbundfestigkeit. Daher benötigt die Bewehrung eine Mindestbetondeckung, um die Wärmekapazität des Betons als „Kühlung" zu nutzen. Das Ergebnis dieser Praxis sind massige, schwere und auch teure Bauteile, um den Brandschutz sicherzustellen. In ähnlicher Weise steht dieser Sachverhalt für Bauteile in chemisch aggressiver Umgebung. Auch für Stahlbetonbauteile unter Chlorid- und Mehrwasserangriff werden seitens der Norm enorme Betondeckungen zum Schutz der Stahlbewehrung vor Korrosion und chemischen Angriff gefordert. Der Wegfall von Stahl und Kunststoff als Bewehrungsmaterialien löst die Vorgabe einer großen Betondeckung aus den o. g. Gründen ab. Allein die Verbundsicherung zwischen Bewehrung und Bauteil bleibt bestehen.

In dem Projekt werden zuerst Rahmenbedingungen für den Praxiseinsatz zusammengestellt und bereits vorhandene Erkenntnisse aus den C³-Vorhaben V-I.11 und V2.6 zu Materialien, Herstellung und Lagerung für eine Massenproduktion erweitert. Wichtigstes Ziel ist eine kontinuierliche Herstellbarkeit in gleichbleibender Qualität, um den marktfähigen Einsatz zu gewährleisten. Dafür laufen in baustofflicher Hinsicht Untersuchungen auf den Gebieten der granulometrischen Anpassung der Beschichtungsmaterialien, Entwicklung von Methoden zur stabilen, wässrigen Suspension für den industriellen Fertigungsprozess, Nachweis des Penetrationsverhaltens der entwickelten Beschichtungsmaterialien zwischen den Filamenten der Garne und Nachweis der Kompatibilität der Beschichtungsmaterialien zur zementgebundenen Matrix.

Im aktuellen Entwicklungsstand können mehrere, bis zu 4 Meter lange, stabförmige Einzelelemente nacheinander gesichert hergestellt werden. Als Herstellungsverfahren kommt die Pultrussion (auch Strangziehverfahren) als Methode für eine kontinuierliche geometrische Formgebung mit gleichbleibenden Materialeigenschaften zur Anwendung.

Um Bauherren, -unternehmen oder auch -planern die Möglichkeiten von CFB-Bewehrungselementen darzulegen, werden mehrere großformatige Demonstratoren hergestellt. So zeigt eine geometrisch optimierte Dachschale (Bild) die Verbindung von leichter Struktur und mechanisch maximal erzielten Eigenschaften und somit die Leistungsfähigkeit von Carbonbeton.

Im Ausblick auf die nächsten Schritte stehen Untersuchungen zur Erweiterung des Herstellungsverfahrens im Bereich Modifikation, Durchsatz und Handhabbarkeit an. Die Verbindung zwischen Geometrie der CFB-Bewehrungselemente und technischer Herstellbarkeit ist ein wichtiger Bestandteil des C³-Vorhabens. Die Produktion von gekrümmten Stäben, Bügeln, Schlaufen und ähnlichen Systemen sowie deren Verarbeitung in Betonelementen stehen dabei im Fokus.

Prof. Dr.-Ing.
Thomas Bösche

Geb. 1968, Studium des Bauingenieurwesens an der TU Dresden, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tragwerke und Baustoffe an der TU Dresden, Promotion, Wirkungsstätten: 1997-2004 Köhler+Seitz Beraten und Planen GmbH; seit 2005 Curbach Bösche Ingenieurpartner; seit 2016 Professor für Massivbau an der HTW Dresden.

V-I.3

Carbon-Carbon Strukturen zur Betonbewehrung

Wiedereintritt von „Shefex II“ mit faserkeramischen Hitzeschild in die Erdatmosphäre (Computerbild) ·Visualisierung © DLR

Der Einsatz von Bewehrungen aus Carbonfasern im Beton ermöglicht materialsparendes und dauerhaftes Bauen. Die gegenüber konventionellem Stahlbeton deutlich dünneren Bauteile erfahren bei einer Brandbelastung aber auch eine viel schnellere Erwärmung, da weniger thermische Speichermasse im Bauteil vorhanden ist. Die schnellere Erwärmung der dünnen Bauteile führt zwangsläufig auch zu einer schnellen Erwärmung der Bewehrungsstruktur im Betonbauteil.

Derzeit verfügbare, faserbasierte Bewehrungsstrukturen für Beton sind i. d. R. Verbundwerkstoffe aus einem Fasermaterial (z. B. Glas, Carbon) und einer polymeren Matrix (z. B. Thermoplaste, Duroplaste). Die polymere Matrix verbessert die Robustheit der Bewehrungsstrukturen, sichert den inneren Verbund und definiert die Oberflächen- und Verbundeigenschaften zum Beton. Die breite Anwendung dieser Bewehrungen im Beton wird häufig durch den ungenügenden Brandwiderstand behindert. In einem Brandfall erweicht oder zersetzt sich das Polymer. Damit wird sowohl der innere Verbund der Filamente als auch der Verbund zum Beton aufgehoben. Das Verbundmaterial aus Beton und degenerierter Bewehrung kann den mechanischen Belastungen nicht mehr standhalten und versagt.

Durch den Einsatz polymerfreier Verbunde aus kohlenstofffaserverstärktem Kohlenstoff (C/C, Carbon-Carbon) als Bewehrungen im Beton sollen sich Bauwerke aus Carbonbeton auch für den Lastfall Brand sicher und ökonomisch bemessen und bauen lassen. Dabei unterscheidet sich das Temperaturverhalten der C/C-Bewehrungen prinzipiell nicht von dem der Carbonfasern, da auch die Matrix zwischen den Fasern aus Carbon besteht. C/C Verbundwerkstoffe wurden ursprünglich für Hochtemperaturstrukturen in der Luft- und Raumfahrt entwickelt, z. B. für den Hitzeschutz von Raumfahrzeugen oder für Bremsscheiben von Flugzeugen, und sollen im C³-Vorhaben an die speziellen Anforderungen an Betonbewehrungen angepasst werden.

Im C³-Vorhaben wurden im Labormaßstab C/C-Stäbe entwickelt und im C/C-Beton-Verbund getestet. Die Herstellung der C/C-Stäbe erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurden CFK-Vorkörper mittels Nasswickel- und Pultrusionsverfahren hergestellt. Dabei wurden unterschiedliche Polymerprecursoren auf der Basis von Phenolharzen eingesetzt und die Prozessparameter sowie der Faseranteil (48K bis 72K) und Faservolumengehalt der CFK-Vorkörper systematisch variiert (50 – 70 Vol.-%). Im zweiten Schritt wurden die CFK-Vorkörper bei Temperaturen von bis zu 1650 °C in Schutzgas (N2) pyrolysiert. Dabei wurde die polymere Matrix unter Abspaltung flüchtiger Bestandteile zu einer Carbonmatrix umgewandelt. Trotz des Volumenschrumpfes der Matrix und den daraus resultierenden, inneren Spannungen im Faser-Matrix-Verbund, konnten C/C-Stäbe mit rechteckigem (5 x 2 mm²) und rundem (Ø 3 mm) Querschnitt delaminationsfrei hergestellt werden. Dies wurde unter anderem dadurch ermöglicht, dass es erstmals gelang, die CFK-Vorkörper ohne Beimischung von internen Trennmitteln zu pultrudieren. Dadurch erhöhten sich der Restkohlenstoffgehalt der Matrix und die Faser/Matrix-Bindung im CFK-Verbund, so dass die C/C-Stäbe eine geringe Porosität und hohe mechanische Robustheit aufwiesen.

Die mechanischen und oberflächenphysikalischen Eigenschaften der C/C-Stäbe wurden in Zugversuchen und mittels Rasterelektronenmikroskopie untersucht. Zur Ermittlung der Verbundeigenschaften in mineralischen Matrices wurden C/C-Beton Verbundproben und Dehnkörper hergestellt und getestet. Im Vergleich zu Kettfäden aus dem Zulassungstextil (Kettfaden 50K, Tränkung mit Styrolbuthadien, Produktion V. Fraas) zeigten C/C-Stäbe sowohl bei 20 °C als auch bei Hochtemperatur ein besseres Verbundverhalten.

Dipl-Ing.
Bernhard Heidenreich
studierte Maschinenbau an der TU München und ist seit 1990 am Institut für Bauweisen- und Strukturtechnologie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) beschäftigt. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Entwicklung von Bauteilen aus faserverstärkten Keramiken für unterschiedliche Anwendungsbereiche von der Luft- und Raumfahrt bis zum Maschinen- und Anlagenbau.

Dr.-Ing. Marko Butler
studierte an der TU Dresden Bauingenieurwesen und arbeitet seit 2001 am Institut für Baustoffe der TU Dresden. 2010 wurde er in seinem Forschungsschwerpunkt Textilbewehrte Betone promoviert.

V-I.4

Interaktion mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung

Barkhausen-Bau mit in der Fassade integrierten Antennen, künstlerische Darstellung · Foto © TU Dresden, Professur Hochfrequenztechnik

Carbonfasern sind ein elektrisch leitfähiges Material und können daher die Ausbreitung hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung beeinflussen. Die Hochfrequenz-Eigenschaften von CF-bewehrten Betonbauteilen unterscheiden sich aufgrund der dichteren Bewehrung und den dünneren Bauteildicken von herkömmlichen stahlbewehrten Betonbauteilen. Es besteht damit die Möglichkeit, bei der Auslegung der Bewehrung und Form der Betonbauteile Einfluss auf deren Wechselwirkung mit elektromagnetischen Wellen zu nehmen.

Die Planung von Gebäuden umfasst bereits heute die Betrachtung der Ausbreitung hochfrequenter elektromagnetischer Wellen. Dabei werden nicht nur die heutigen Spektren der Funkkommunikation, sondern auch zukünftig für WLAN und Nahbereichskommunikation vorgesehene Frequenzfenster untersucht.

Im Rahmen dieses C³-Vorhabens wurde ein Messaufbau entworfen, mit dem sehr einfach die dielektrischen Materialeigenschaften großer, flacher Probekörper bestimmt werden können. Dies ist sehr nützlich für Materialien, die in dieser Form sehr einfach hergestellt werden können – z.B. Beton. Mit einem Fit mittels eines physikalischen, kausalen Modells auf Basis der Kramers-Kronig-Relation und einem Debye-Multipol-Modell lassen sich die Messwerte kompakt darstellen sowie in Richtung DC als auch zu höheren Frequenzen hin extrapolieren.

Mittels dieses Versuchsaufbaus wurden Dielektrizitätszahl und Verlustwinkel der TF10-Feinbeton-Proben sowie des Isolationsmaterials CALOSTAT der Firma EVONIK über den Frequenzbereich von 0,1 bis 67 GHz bestimmt.

Zur Bestimmung des Einflusses der CF-Bewehrung auf das Gesamtbauteil wurde diese zunächst getrennt charakterisiert. Das gemessene frequenzabhängige Dämpfungs-Verhalten kann durch das Modell eines metallischen Gitterschirms erklärt werden.
Werden CF-bewehrte Betonplatten vermessen, ändert sich das Verhalten: durch die Einbettung des Gitterschirms wirkt die Dielektrizitätszahl des Betons verkürzend auf die Wellenlänge. Die Schirmwirkung wird in Richtung niedrigerer Frequenzen verschoben. Ab ca. 5 GHz ist sie nicht mehr signifikant, dafür überwiegen die starken Materialverluste.

Für die Funk-Planung von Gebäuden, die mit Carbonbeton errichtet werden, müssen dem Planer die geometrischen Kenngrößen der Bewehrung:

- räumliche Anordnung,
- Dicke/Durchmesser der Fasern (Kett- und Schussfaden),
- Abstand zwischen den Fasern

bekannt sein. Ebenfalls muss bedacht werden, dass die Verluste durch Gitterschirme ihrer Natur nach Reflexionsverluste sind. Wo ungehinderte Funk-Kommunikation unter 2 GHz durch Wände mit einer Stärke über 10 cm eine Muss-Anforderung ist (z. B. Gebäude-Automatisierungs-Anwendungen im ISM-Band um 433 MHz), sollten zumindest teilweise Bewehrungen aus nicht leitfähigem Material, z.B. AR-Glas oder Basaltfasern verwendet werden, um „Funkfenster" zu öffnen. WLAN-Technik im 2,5 GHz ist nur sehr wenig negativ beeinflusst. WLAN im 5 GHz-Band kann durch die geringeren Wandstärken der neuen Bauteile sogar an Empfangsqualität gewinnen. Über 10 GHz dominiert der hohe dielektrische Verlust des Betons.

Zur Schirmung von Räumen kann im Frequenzbereich bis 1 GHz die Gitterschirm-Wirkung der Bewehrung genutzt werden. Um diese Wirkung auf höhere Frequenzen auszuweiten, muss der Gitter-Abstand deutlich verringert werden. Wandstärke von 10 cm tragen ebenfalls zur Abschirmung bei.

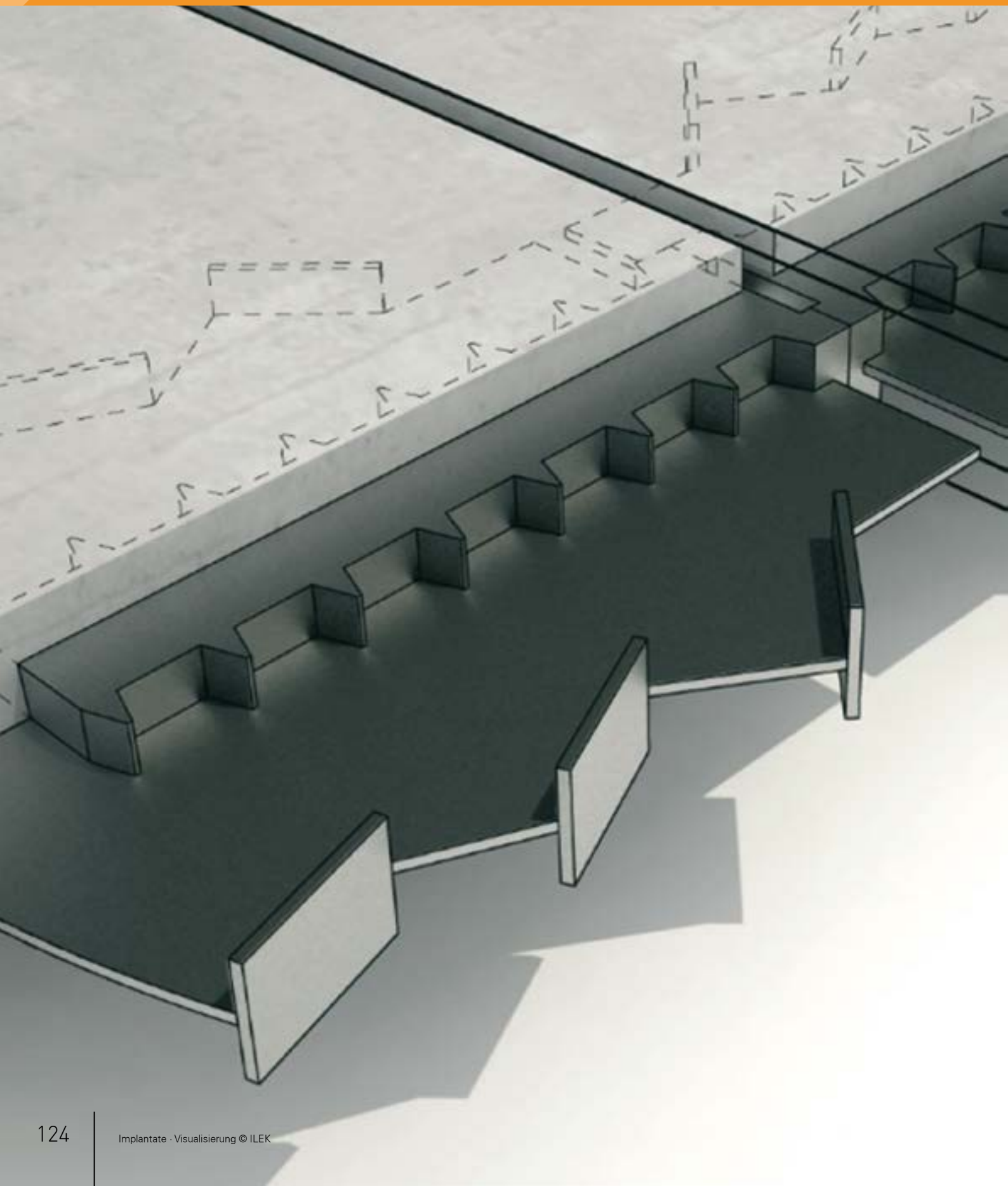
Die Einbettung von Antennen in Beton-Fertigteile scheint für Frequenzen unter 5 GHz prinzipiell möglich. Auch ist bekannt, dass Gitternetze mit Maschenabstand kleiner als einem Zehntel der Wellenlänge sich effektiv wie flächige metallische Elemente verhalten. Somit scheint es unter Nutzung engmaschigerer Gelege möglich, insbesondere planare Antennen einzubetten. Insbesondere scheinen z. B. Fassadenplatten mit integrierten Antennen-Arrays (evtl. mit schwenkbarem Strahl) realisierbar.

Wir danken Frau Dr. Gärtner für die Bereitstellung der CALOSTAT-Proben.

Dipl.-Inf. Sebastian Hegler
arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Hochfrequenztechnik der TU Dresden. Er studierte Informatik und gelangte über den Umweg der Entwicklung von Spezial-Software zur numerischen Simulation der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen zur Professur Hochfrequenztechnik. Inzwischen bearbeitet er auch „klassische" Themen der Hochfrequenztechnik.

V-I.5

Entwicklung von Betonimplantaten für den Einsatz in dünnwandigen Carbonbeton-Fassadenelementen



Implantate · Visualisierung © ILEK

Mit der fortschreitenden Entwicklung des Carbonbetons hin zu höherer Effizienz und damit immer kleineren Bauteilquerschnitten erlangen die Spannungszustände an Fügestellen eine bemessungsbestimmende Relevanz. Im vorliegenden C³-Vorhaben werden Verbindungsmittel entwickelt, die durch ihre Formgebung und Materialauswahl einen homogeneren Spannungszustand in Bereichen der Lastübertragung an Carbonbeton-Fassaden bewirken.

Die Materialeigenschaften von Carbonbeton sowie die breite Verfügbarkeit von computergestützten Entwurfsmethoden ermöglichen die Konzeptionierung von Fassadenstrukturen, die ihre statischen und funktionalen Aufgaben mit einem Minimum an eingesetzter Masse erfüllen. Um die erforderliche Qualität sicherzustellen, müssen solche gewichtsoptimierten Fassaden in der Regel aus im Werk vorgefertigten Elementen zusammengefügt werden. Um das Ziel einer möglichst einfachen Montage auf der Baustelle zu erreichen, erscheint die Fügung mit punktuellen, lösbaren Verbindungsmitteln sinnvoll zu sein. Die punktuelle Einleitung von Lasten in ein Bauteil führt jedoch meist zu bemessungsbestimmenden Spannungsspitzen im Lasteinleitungsbereich. Um diesem Problem zu begegnen, wurde am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart die Technologie der Betonimplantate entwickelt [1]. Implantate (siehe Abbildung) sind Verbindungselemente, die in ein Betonbauteil eingegossen werden, um dieses punktuell mit anderen Bauteilen zu fügen. Form und Material sind so gewählt, dass große Membranbeanspruchungen so in ein Bauteil eingeleitet werden können, dass Spannungsspitzen minimiert und Spannungsfelder im Lasteinleitungsbereich homogenisiert werden. Mit dem Ziel Fassadenelemente möglichst leicht ausführen zu können, wurde das Sandwichelement als vielversprechendste Typologie für den Einsatz von Implantaten identifiziert. Bei dieser Typologie schließen zwei Deckschichten aus bewehrtem Beton eine innere Dämmschicht ein. Durch eine Formbewehrung aus Carbon sowie dem Einsatz einer drucksteifen Dämmschicht können die beiden Deckschichten annähernd schubfest miteinander verbunden werden. Daraus ergibt sich eine hohe Biegesteifigkeit des Bauteils, das aus Carbonbeton entsprechend dünn ausgeführt werden kann. Gegenüber im Fertigteilbau üblichen Sandwichfassaden aus Stahlbeton, die nur eine Deckschicht aufweisen, sind Temperaturlastfälle bei der vorliegenden Typologie von übergeordneter Relevanz: Durch Temperaturunterschiede zwischen den Deckschichten ergeben sich Krümmungen im Element. Um daraus resultierende Zwangsspannungen zu vermeiden, müssen die Auflager elementseitig gelenkig ausgeführt werden. Mit der resultierenden statisch bestimmten Lagerung ergeben sich zwei relevante Beanspruchungen für den Entwurf des Implantats: die vertikalen Kräfte aus Eigengewicht sowie die horizontalen Kräfte aus Windlastfällen.Zur Einleitung von Zugkräften aus der Deckschicht in das Implantat wurden im Projektrahmen mehrere Varianten der Bewehrungsführung entwickelt und anhand von Versuchen miteinander verglichen. Es wurden am Implantat verankerte Mattenbewehrung und durch Umlenkung verankerte einzelne Rovings untersucht. Beide Varianten waren darauf ausgelegt, einen direkten Kontakt zwischen Carbon und metallischen Teilen des Implantates zu vermeiden. Eine hohe Tragfähigkeit konnte dabei besonders für eine Bewehrungsführung nachgewiesen werden, die entsprechend einem vorherrschenden Spannungsfeld ausgebildet war und mittles Umlenkung am Implantat verankert war.

Mit den Erkenntnissen aus dem vorliegenden Projekt konnte nachgewiesen werden, dass die Technologie der Implantate in dünnwandigen Fassaden aus Carbonbeton angewendet werden kann. Es ergeben sich somit signifikante Potentiale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und zur Reduktion von grauer Energie.

Literaturnachweis

[1] J. Mittelstädt, „Zur Einleitung lokaler Lasten in dünnwandige Bauteileaus ultrahochfestem Faserfeinkornbeton mittels Implantaten.“ Dissertation, ILEK, Universität Stuttgart, 2015.

Dr.-Ing. Walter Haase

ist Forschungsleiter am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren für die Arbeitsgruppen/-bereiche: Bauen mit Textilien, Adaptive Tragsysteme, Adaptive Fassaden, Bauen mit Glas und Gradientenbetonforschung. Seit 2017 ist er zudem Geschäftsführer des Sonderforschungsbereichs 1244: Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen.

Dipl.-Ing. Oliver Gericke

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren der Universität Stuttgart. In seinen Forschungsarbeiten beschäftigt er sich mit dem Entwurf und der Herstellung von leichten Strukturen aus Beton.

TUDALIT® Leichter bauen – Zukunft formen

C³ carbon concrete composite

V-I.6

Brückenkappen mit Carbonbewehrung

Intakte Brückenkappe · Foto © Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik

Brückenkappen aus Beton bilden in der Querschnittsaufteilung den Schrammbordbereich und sichern zusammen mit Schutzeinrichtungen den Verkehrsraum gegen seitliches Ausbrechen oder Abstürzen von Fahrzeugen. Daneben dienen Brückenkappen mitunter auch als Fahrrad- und Gehwege. Aufgrund der exponierten Lage und den besonders intensiven Beanspruchungen gelten diese als Verschleißteil und werden in der Nutzungsdauer der Brücke bislang mehrfach erneuert. Maßgeblich hierfür ist die Diskrepanz zwischen dem Frostwiderstand des Betons und der Rissbreitenbeschränkung. Durch Carbonbewehrung könnten die Schwachstellen entschärft und somit dauerhaftere und wirtschaftlichere Bauteile hergestellt werden.

In den langgestreckten, fugenlosen Bauteilen bauen sich durch Verformungsbehinderungen infolge hygrischer und thermischer Verhältnisse Zwangsspannungen auf, die über kurz oder lang zu einer Rissbildung in Querrichtung führen. Zur Begrenzung einer schadensinduzierenden Breite der Risse ist eine entsprechend hohe Längsbewehrung vorgesehen. Um die Bewehrung nicht zu sehr anwachsen zu lassen, wird der Kappenbeton in seiner Festigkeit nach oben begrenzt, wodurch feiner verteilte Risse entstehen. Entgegen der Regelungen in DIN 1045-2 für einen Beton in der Expositionsklasse XF4 soll der Kappenbeton nach den ZTV-ING lediglich der Druckfestigkeitsklasse C25/30 entsprechen. Gleichzeitig können im Winter Frost und Taumittel auf den Beton einwirken, weswegen neben einem wirksamen Mikroluftporensystem ein möglichst niedriger w/z-Wert angestrebt wird. Bei Brückenkappen wird i. d. R. ein höchstzulässiger w/z-Wert von 0,50 angesetzt, um die Betonfestigkeit aus den o. g. Gründen gering zu halten. Aufgrund dieser ambivalenten Herangehensweise kommt es bei Brückenkappen in der Praxis immer wieder zu Frostabwitterungen an der Betonoberfläche infolge von Frost- und Taumittelbeanspruchung, was sich nachteilig auf die Nutzungsdauer der Brückenkappe auswirkt.

Der beschriebene Spagat aus Rissbreitenbeschränkung und Frost-Taumittelwiderstand könnte mit einer Carbonbewehrung signifikant entschärft werden. Durch die gegenüber einer herkömmlichen Stahlbewehrung deutlich höheren Festigkeit der Carbonbewehrung ließe sich in einer Brückenkappe einerseits eine erheblich wirksamere Bewehrungsmenge unterbringen. Darüber hinaus könnte die korrosionsunempfindliche Carbonbewehrung aber auch mit deutlich reduzierter Betonüberdeckung eingebaut werden, wodurch Risse noch effektiver in Ihrer Breite begrenzt würden. In Kombination mit einer angepassten Betonzusammensetzung respektive einem reduzierten w/z-Wert und gleichsam steigender Festigkeit kann somit ein dauerhafteres Bauteil hergestellt werden. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die Optimierung des Verbundes zwischen Kappenbeton und Carbonbewehrung dar, wozu u. a. Untersuchungen zu den nötigen Verankerungslängen und unterschiedlichen Gewebestrukturen durchgeführt werden. Darüber hinaus wird überprüft, ob bzw. inwieweit der Verbund zwischen Bewehrung und Beton unter Frost-Taumitteleinwirkungen in einer gerissenen Brückenkappe beeinträchtigt wird. Auf Grundlage dieser Parameter soll die Carbonbewehrung optimal auf den Anwendungsfall eingestellt werden. Dies beinhaltet insbesondere die praktische Überprüfung der rechnerisch ermittelten Verankerungslänge am Verbund- und Dehnkörper. Durch Anwendung bestehender Modelle soll ferner die Genauigkeit der durch das jeweilige Modell generierten Prognose zur Ausbildung von Rissen überprüft werden.

Zusammenfassend ist das Ziel dieses C³-Vorhabens daher, die Grundlagen für den Einsatz einer Carbonbewehrung für Brückenkappen zu erarbeiten. Gerade vor dem Hintergrund der in den nächsten Jahren anstehenden umfangreichen Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen an Straßenbrücken in ganz Deutschland liegt es nahe, ein solches innovatives Verbundsystem für die Baupraxis bereitzustellen.

Christoph Schulte-Schrepping, M.Sc. studierte an der Ruhr-Universität Bochum Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau. Seit 2013 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum tätig. Forschungsschwerpunkt: Entwicklung von Mehrkomponentenmörteln für die Ringspaltverpressung im maschinellen Tunnelbau; Brückenkappen mit Carbonbewehrung.

V-I.10

Carbonbetonherstellung mittels Infusion, Injektion und Prepreg

Versuchsdurchführung mittels Layerdoppelung · Foto © Otto Grauer @HTWK Leipzig

Die erfolgreiche Etablierung geschlossener halbautomatisierter Verfahren in der Faserverbundkunststoffverarbeitung beruht auf den erzielbaren Bauteileigenschaften sowie den schnelleren, jedoch einfacheren und vor allem reproduzierbaren Prozessen. Dieser Vorsatz ist auch im Bauwesen elementar und wird in diesem C³-Vorhaben durch die Übertragung von Kenntnissen der Kunststofftechnik auf das Gebiet der C³-Verarbeitung zur Entwicklung nachhaltiger Herstelltechnologien für ebene und 3-dimensionale C³-Bauteile angestrebt.

Das Herstellverfahren von Carbonbeton-Bauteilen mit dem geringsten technischen Aufwand ist momentan das lagenweise Laminieren von Hand. Die textilen Bewehrungen werden abwechselnd schichtenweise in die pastöse bis fließfähige Betonmatrix eingebettet. Die Einarbeitung der Bewehrung sowie der Betonauftrag erfolgen manuell mit einer Glättkelle. Beim alternativen Sprüh- bzw. Spritzverfahren erfolgt der Aufbau der Textilbetonschichten analog. Die durch Pumpentechnik förderbare Betonmatrix wird jedoch, in Anlehnung an die Herstellung von Spritzbeton, maschinell auf die Beton- oder Schalungsoberfläche aufgesprüht. Der Feinbeton wird in Schichten von 1 bis 5 mm aufgebracht. Hinsichtlich Spritz- und Aufprallenergie sind durch die filigranen Fasern Grenzen gesetzt. Einerseits besteht die Gefahr der Schädigung der querdruckempfindlichen Fasern, andererseits wird beim Laminieren die Lage des Textils durch die Steifigkeit des frischen Betons und die auf ihn wirkenden Kräfte bestimmt. Um die erfolgreiche Etablierung der neuen Carbonbetonbauweise voranzutreiben, aber auch in Folge der stetigen Forderung nach größeren, komplexeren und vor allem leistungsfähigeren Bauteilstrukturen bei gleichzeitiger Gewichtseinsparung und kostenoptimierten Verarbeitungsprozessen bedarf es demnach neuer Möglichkeiten der Herstellung. Diese sollen Produktion mittels Laminieren in puncto Aufwand, Qualität und Wirtschaftlichkeit in nichts nachstehen.

Ziel war daher die branchenübergreifende Adaption von Kenntnissen zu ausgereiften, halbautomatisierten geschlossenen Verarbeitungsverfahren aus dem Bereich der Faserverbundkunststoffe auf das Gebiet der Carbonbetonverarbeitung. In Hinblick auf den jetzigen Stand der Herstellung von Carbonbetonbauteilen ließ sich erkennen, dass ähnliche Verfahren (Gießen, Handlaminieren) auch in der Kunststofftechnik eingesetzt werden. Durch die werkstoffliche Ähnlichkeit (formgebende Matrix mit Faserverstärkung) bot sich eine Übertragung der Erfahrungen aus dem Bereich der Verarbeitungsprozesse der Faserverbundkunststoffe auf Carbonbeton an. Dadurch ließen sich optimierte Eigenschaftsausnutzungen der einzelnen Verbundkomponenten zur finalen Steigerung der Bauteileigenschaften durch exaktere richtungs- und lagegesicherte Faserpositionierung erzielen.

Hierfür wurden durch labortechnische Versuche der Machbarkeitsnachweis bzgl. der Überführung geschlossener halbautomatisierter Prozesse der Faserverbundkunststoffverarbeitung (Infusion, Injektion und Prepreg-Verarbeitung) erbracht. Nach erfolgter Wertung der Ergebnisse konnte die Prepregtechnologie als geeignete alternative Herstellvariante fokussiert werden. Durch eine mechanische Grundcharakterisierung wurden Vergleichsmessungen durchgeführt und somit qualitative Aussagen zu den herkömmlichen und der neuen Verarbeitungstechnologie getroffen.

Otto Grauer, M.Sc.
absolvierte ein Diplom- und ein Masterstudium im Bauingenieurwesen an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur in Leipzig. Seit 2010 wirkt er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an jener Hochschule und ist aktuell Leiter verschiedener Forschungsvorhaben im Institut für Betonbau – Fachgruppe Nachhaltiges Bauen.

V-I.11 Carbonbetonstab

Erhärteter Carbonbetonstab – ungeschnitten · Foto © Sebastian Ortlepp

Die Untersuchungen fokussieren sich auf Detailbetrachtungen der Produktionskette für mineralisch getränkte Carbonfasern und das Herausarbeiten von Optimierungsmöglichkeiten. Es wurde ein neues Tränkungs- und Formgebungsverfahren untersucht, welches durch das Einfügen eines Zwischenschrittes zur Steigerung des Faser-Volumen-Gehaltes runder Stäbe führt. Zur Herstellung von Bügeln und Schlaufen in unterschiedlichen Größen wurde der Einsatz eines variablen Spannrahmens geprüft. Die abschließende Analyse zur Marktfähigkeit durch die Gegenüberstellung der Kosten-Nutzen-Aspekte bescheinigen neue Anwendungsfelder für mineralisch getränkte Carbonbewehrungselemente.

Im letzten Abschnitt des Projektes lag der Schwerpunkt in Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit zwischen Tauchvorgang und Formgebung. Zunächst wurde als Ausgangsvariante sowohl die Beschichtung als auch die Konsolidierung in Anlehnung an das Herstellungsverfahren von CFK-Strukturen umgesetzt und sich daraus ergebende Schwachstellen analysiert. Das wesentliche Problem liegt hierbei im Tauchvorgang selbst. Während des Beschichtungsvorgangs kommt es im Tauchbad zu einem lokalen Ansteifen der Beschichtungsmatrix im Bereich der Garndurchführung, das einen fortlaufenden Tränkungsprozess behindert und eine kontinuierliche Beschichtung zunehmend unmöglich macht. Die Ursache liegt in der überproportionalen Wasseraufnahme des Garns im Vergleich zu den Feinstoffen der Suspension im Tauchbad. Dadurch verändert sich die Konsistenz der Matrix im Bereich des Fadendurchgangs, worurch die Benetzungsfähigkeit verringert wird. Das lokale Ansteifen wurde gelöst, indem das Garn über eine größere Länge eintaucht und das Tauchbad permanent durchmischt wird. Auch wurde das Volumen der mineralischen Beschichtung im Tauchbehälter verringert und stetig erneuert. Somit blieben die Frischeigenschaften über den gesamten Produktionszeitraum näherungsweise konstant.

Die Konsolidierung bzw. Formgebung des Querschnitts setzt sich aktuell aus zwei Schritten zusammen. Zum leichteren Auspressen der überschüssigen Matrix aus dem Garn wird der Querschnitt zuerst flach umgesetzt, damit überschüssiges Material aus dem Fadeninneren leichter an die Oberfläche dringen kann. Somit wird der Querdruck auf das Garn, wie er z.B. in einer runden Düse auftritt, auf ein Minimum reduziert. Erst in einem zweiten Schritt findet die endgültige Formgebung des Querschnittes statt z.B. durch eine runde Düse zur Herstellung runder Stäbe. Hierbei wird kein Material mehr ausgepresst. Weiterer Schwerpunkt lag in der Untersuchung der Formgebung in Längsrichtung zur Umsetzung von z.B. Bügeln oder Schlaufen. Dieses konnte mithilfe eines Spannrahmens umgesetzt werden. Frisch beschichtete und in Form gebrachte Garne verblieben danach 24 Stunden im Klimaschrank und weitere 7 Tage im Wasserbad. Demonstrativ konnten mit diesem Verfahren Schlaufen und Bügel hergestellt werden, welche in ihren mechanischen Eigenschaften und Faservolumengehalten den geraden Stäben entsprachen.

Abschließend fand eine Bewertung der erarbeiteten Anwendungsmöglichkeiten statt, wobei Besprechungen mit Herstellern, Planungsunternehmen und Bauunternehmen durchgeführt wurden. Hierbei wurde die hergestellte Bewehrung in ein Betonbauteil implementiert, um die praktische Umsetzung sowie die Tragfähigkeit eines mit Carbonbeton bewehrten Betonbauteils im Labormaßstab aufzuzeigen. Anschließend wurden Erkenntnisse der vorangegangenen Zwischenziele über den wirtschaftlichen Bedarf zusammengestellt. Hierfür wurde der Markt unter einer Kosten-Nutzen-Abschätzung analysiert. Die Zusammenstellung der Ergebnisse sowie eine abschließende Wertung werden dem C³-Netzwerk zur Verfügung gestellt und münden demnach auch direkt in die beiden anderen Forschungsprojekte zu mineralisch beschichtenden Carbonfasern V2.6 und V4.15.

Dr.-Ing. habil. Sebastian Ortlepp
ist seit 2017 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HTW Dresden tätig und beschäftigt sich vorrangig mit der Durchführung und Auswertung der experimentellen Untersuchungen.

Dipl-Ing. (FH) Kai Zernsdorf
ist ebenfalls seit 2017 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HTW Dresden tätig und beschäftigt sich vorrangig mit den Grundlagen von mineralisch getränkten Carbongarnen.

V-I.13

Branchenübergreifender Einsatz von recycelten Carbonfasern aus C³-Bauteilen

Krempelmaschine zur Faseraufbereitung · Foto © Mirko Krziwon, ITM, TU Dresden

Das übergeordnete Ziel des C³-Vorhabens ist die Erarbeitung von Lösungen zum Verbleib von Primär- und Sekundärabfällen aus Carbonfasermaterial im Stoffkreislauf. Derartige Abfallquellen sind der Herstellprozess, die Nutzungsphase und der Teilabbruch sowie Totalabbruch von Carbonbetonbauteilen am Ende der Lebensdauer. Dazu werden die Themenfelder der Separation, der Aufbereitung, der Garnherstellung und der Produktentwicklung neuartiger Garnstrukturen mit einem Anteil rezyklierter Carbonfasern untersucht.

Konkret soll im Forschungsvorhaben „Branchenübergreifender Einsatz von recycelten Carbonfasern" untersucht werden, inwieweit aufbereitete PAN-basierte Carbonfasern (rCF) aus recycelten C³-Bauteilen als hochwertiger Rohstoffersatz dienen können. Die Bearbeitung verteilt sich auf drei Schwerpunkte:

- die Gewinnung und Aufbereitung von Carbonfasern (AP 1),
- die Entwicklung und Herstellung neuartiger rCF-Hybridgarn- und rCF-Textilstrukturen (AP 2) und
- die Diskussion von Anwendungsfeldern für Textilstrukturen aus recycelten Carbonfasern (AP 3).

Den Ausgangspunkt für diese Untersuchungen stellen die Ergebnisse des vorangegangenen C³-Vorhabens V1.5 „Abbruch-Rückbau und Recycling von C³-Bauteilen" dar. In diesem Vorhaben wurden Carbonbetonbauteile abgebrochen und erste Separationsversuche durchgeführt. Das dabei gewonnene Recyclingmaterial soll im C³-Vorhaben V-I.13 weiterverwendet werden.

Mit Beginn des C³-Vorhabens im April 2018 werden weitere Separationsversuche unternommen, die die Ausbringquote für Carbonfasern aus Carbonbetonabbruchmassen steigern sollen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass konventionelle Abbruchtechnologien durchaus für den Einsatz bei C³-Bauteilen geeignet sind, wohingegen für die Separation der Carbonfasern baubranchenfernere Recyclingtechnologien, z. B. aus der Kunststoffsortierung verwendet werden müssen, um einen hohen Separationsgrad zu erreichen.
Unmittelbar bevor steht die Untersuchung der verschiedenen Aufbereitungstechnologien der separierten Carbonfaserbewehrungsfragmente, um ein Ausgangsprodukt für die textiltechnische Weiterverarbeitung bereitzustellen.
Im Anfangsstadium des Forschungsvorhabens wird das gewonnene Material aus Sicht der Textilverarbeitungstechnologien charakterisiert, um die Eignung für die weitere Verarbeitung zu bewerten. Nach derzeitigem Kenntnisstand erfüllen die Carbonfaserfragmente aus dem Abbruchmaterial die Anforderungen hinsichtlich einer minimalen Faserlänge von 40 mm zum überwiegenden Teil und eigenen sich damit für die Weiterverarbeitung.

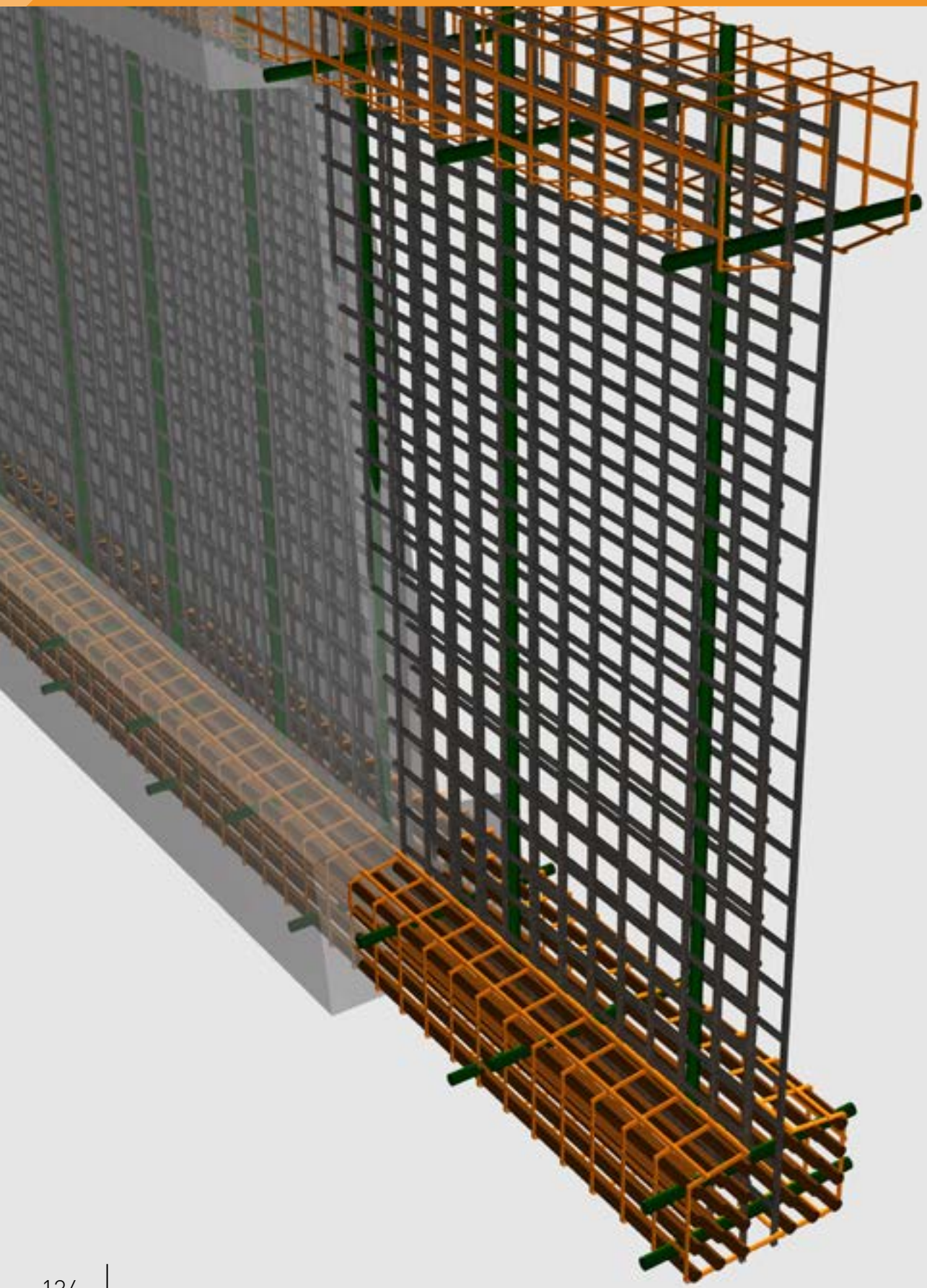
Die Carbonfasern aus der durchlaufenen Aufbereitung müssen sich einer erneuten Prüfung unterziehen. Mit der Prüfung kann festgestellt werden, wie groß der Anteil der wiederverwertbaren Fasern ist.
Ein weiterer Schritt ist die Entwicklung und die technische Umsetzung einer Garnkonstruktion aus rCF-Material. Dabei werden die vorhandenen Kenntnisse des ITM im Umgang mit recycelten Textilfasern genutzt, mit dem Ziel eine Carbonfaserstruktur herzustellen, die einen erneuten Einsatz des rCF-Materials als Bewehrung ermöglicht. Als Ergebnis des AP 2 soll eine rCF-Garnkonstruktion in Form eines Prototyps als schlaffe Bewehrung in der Betonmatrix eingesetzt werden. Dazu finden Prüfungen der mechanischen Eigenschaften statt.

Parallel zu der praktisch-technischen Bearbeitung des Forschungsvorhabens findet die Untersuchung und Charakterisierung von Carbonfaserabfällen aus anderen Branchen (z. B. der Automobilbranche), die Erstellung eines Anforderungskataloges für den Einsatz einer rCF-Garnkonstruktion in einem Faserkunststoffverbund und die Erarbeitung eines alternativen Einsatzszenarios für die neuartige Garnkonstruktion statt. Mit Abschluss des C³-Vorhabens sollen Ende 2019 konkrete Informationen zur Verwertung von Carbonfaserbewehrungsstrukturen am Ende ihres Lebenszyklus vorliegen.

Dipl.-Ing. Jan Kortmann studierte von 2005 bis 2010 an der TU Dresden das Fach Bauingenieurwesen und war im Anschluss als Planungsingenieurin einem internationalen Consultingbüro angestellt. Seit Mai 2012 ist Herr Kortmann als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promovend am Institut für Baubetriebswesen tätig und als Vorhabenkoordinator für die C³-Vorhaben V1.5 und VI.13 verantwortlich.

V-I.14

Tragfähigkeit von Carbonbeton-Bauteilen mit Querkraftbewehrung



Querkraftbewehrung aus Matten und Stäben im Carbonbeton-Bauteil · Visualisierung © Institut für Massivbau, RWTH Aachen, Maximilian Schmidt und Jan Bielak

Bisherige Untersuchungen zur Querkraftbemessung von Carbonbeton-Bauteilen orientieren sich an den aktuellen Nachweiskonzepten im Stahlbetonbau. Für die Neuauflage des Eurocode 2 werden zurzeit verschiedene neue Bemessungsmodelle diskutiert. Damit soll es zukünftig möglich sein, auch innovative Bewehrungsmaterialien und neuartige Querkraftbewehrungsformen zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund werden im laufenden C³-Vorhaben V-I.14 experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit von Carbonbeton-Bauteilen mit verschiedenen Bewehrungstypen durchgeführt.

Während für die Biegebemessung von Carbonbeton inzwischen praxistaugliche Bemessungsmodelle sowie Vorschläge für Teilsicherheitsbeiwerte existieren, ist die Querkraft nach wie vor Gegenstand intensiver Forschung. Grundlegende Fragestellungen sind hierbei die Übertragbarkeit der für Stahlbetonbauteile in der Querkraftbemessung gültigen Plastizitätstheorie sowie die Grenzen für die Ausnutzbarkeit der Spannung der Bewehrungsmaterialien. Darüber hinaus müssen Konstruktionsregeln zur sicheren und wirtschaftlichen Verankerung der Querkraftbewehrung im Druck- und Zuggurt von Biegebauteilen gefunden werden. Für den Druckstrebennachweis ist zu überprüfen, ob eine Abminderung der einaxialen Betondruckfestigkeit infolge Schwächung durch die fein verteilte nichtmetallische Bewehrung erforderlich ist. Dies ist insbesondere für die angestrebten filigranen Querschnitte von Relevanz.

Als erstes Ergebnis der Recherche zur Vorbereitung der experimentellen Untersuchungen lässt sich festhalten, dass in bisherigen Querkraftversuchen unerwünschte Versagensmechanismen die Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Ingenieurmodelle in hohem Maße beeinflussen. Hierzu zählen das Verankerungsversagen der Querbewehrung, die Längsrissbildung entlang der Biegebewehrung und das Druckstrebenversagen. Für die Konzeption der eigenen Versuche wurden daher zunächst Voruntersuchungen durchgeführt, um Versagensmechanismen gezielt zu trennen. Als erstes wurden Verankerungsversuche an getränkten Carbonbewehrungen durchgeführt, um die Wirksamkeit der Bewehrung am Beginn und Ende des kritischen Schubrisses korrekt einschätzen zu können. Weiter wurden einaxiale Zugversuche an Probekörpern mit CFK-Stabbewehrung und umschließender Formbewehrung geprüft. Hierbei konnte festgestellt werden, dass typische Konstruktionsformen aus dem Stahlbetonbau mit Bügelkörben, die den Zuggurt von biegebeanspruchten Bauteilen umschließen, nicht ohne weiteres auf den Carbonbetonbau übertragen werden können. Problematisch sind hier ein mögliches vorzeitiges Versagen sowie die ungewünschte Spaltrissbildung durch die sekundäre, konstruktive Bewehrung. Zuletzt wurden einaxiale Druckversuche an Proben mit praxisrelevanten Abmessungen, Bewehrungsorientierungen und -graden durchgeführt. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die einaxiale Drucktragfähigkeit bei Verwendung zweier C³-Referenzmaterialien – hochfester Beton und EP-getränkte Carbonbewehrung – um maximal 10 % unterhalb der von unbewehrten Proben lag.

Aufbauend hierauf werden im weiteren Verlauf des Vorhabens balkenförmige Carbonbeton-Bauteile mit praxisnahen Abmessungen untersucht. Hierbei werden der Bewehrungsgrad, die Höhe sowie die Art und Verankerung der Querkraftbewehrung gezielt variiert. Als statische Systeme werden neben dem typischen Einfeldträger mit exzentrischer Laststellung auch Einfeldträger mit Kragarm geprüft, um Untersuchungen von Schubfeldern im Bereich von Momentennulldurchgängen zu ermöglichen. Hieraus wird ein Ingenieurmodell abgeleitet, das auch zur Vorhersage der Querkrafttragfähigkeit bei statischen Systemen im Hochbau mit Durchlaufwirkung tauglich ist. Begleitend dazu müssen vorhandene Ansätze für Konstruktionsregeln für Carbonbeton weiterentwickelt werden, um unerwünschte sekundäre Versagensmechanismen gezielt konstruktiv auszuschließen.

Jan Bielak, M.Sc.

studierte Bauingenieurwesen und Wirtschaftswissenschaft an der RWTH Aachen. Nach seinen Abschlüssen war er bis 2015 als Tragwerksplaner im Hochbau in einem Ingenieurbüro in Frankfurt tätig. Seit 2016 forscht er am Institut für Massivbau der RWTH Aachen im Bereich nichtmetallische Bewehrung mit dem Schwerpunkt der Prüf- und Bemessungskonzepte sowie der Querkraft.

Wirtschaftliche Herausforderungen der Wertschöpfungskette von Carbonbeton

Ohne Wirtschaftlichkeit wird sich Carbonbeton nicht durchsetzen können ·Foto © R. Wink (privat)

Ziel des C³-Gesamtprojekts ist die erfolgreiche Markteinführung von Produkten basierend auf Carbonbeton. Voraussetzungen für die Zielerreichung sind wirtschaftliche Produktionsweisen und eine entsprechende Zahlungsbereitschaft auf der Nachfrageseite. Dieses Vorhaben untersucht beispielhaft, inwieweit die Voraussetzungen zur Wirtschaftlichkeit bereits gegeben sind und welche Herausforderungen noch zu bewältigen sind.

Zwei Untersuchungsschritte stehen bei diesem Vorhaben im Vordergrund. In einem ersten Schritt wird anhand einer detaillierten Gegenüberstellung der Wertschöpfungskette von Carbonbeton und Stahlbeton ermittelt, welche Unterschiede sich durch den Übergang zum Carbonbeton ergeben und welche Kostenunterschiede durch diese Abweichungen entstehen. Diese Analyse wird beispielhaft für eine standardisierte Wand durchgeführt. Durch diese detaillierte Gegenüberstellung können Phasen in der Wertschöpfungskette mit noch vergleichsweise hohen Kostennachteilen identifiziert werden, die wiederum einen Ausgangspunkt für weitergehende Diskussionen über den jeweiligen Nutzenbeitrag zur Wertentstehung und möglichen Strategien zur Kostenreduktion bilden.

In einem zweiten Schritt wird eine Zielkostenanalyse für ein standardisiertes Carbonbetonprodukt (Wand) durchgeführt. Ausgangspunkt hierzu ist eine Übertragung der jeweiligen spezifischen Eigenschaften des Carbonbetonprodukts im Unterschied zum konkurrierenden Stahlbetonprodukt in monetäre Entscheidungskonstellationen für Kunden und Multiplikatoren. Als Kunden und Multiplikatoren werden öffentliche Auftraggeber, private Unternehmen im Bereich des Wohnungs- und Gewerbeimmobilienbaus sowie Architektenkammern und weitere Experten befragt. Den Befragten wird erläutert, welche Folgen sich aus den carbonbetonspezifischen Eigenschaften für die Nutzung des Produkts ergibt. Im Anschluss werden sie nach der Größenordnung einer möglichen zusätzlichen Zahlungsbereitschaft für die Verfügbarkeit dieser Eigenschaften und der damit verbundenen Folgen gefragt. Hieraus ergeben sich Aussagen zum möglichen Gesamtpotential für höhere Preise bei Carbonbetonprodukten im Wettbewerb und zu den spezifischen Beiträgen einzelner Eigenschaften zu dieser Zahlungsbereitschaft. Aus diesen spezifischen Beiträgen lassen sich wiederum Anknüpfungspunkte für mögliche Anpassungen in der Wertschöpfungskette entdecken, wenn beispielsweise Eigenschaften, die nur durch besonders kostenintensive Prozesse in der Wertschöpfungskette gewährleistet werden können, (noch) keine entsprechende Zahlungsbereitschaft im Markt finden. Außerdem können sich Empfehlungen für mögliche gesetzliche Änderungen ergeben, um ausreichende Anreize zur Zahlung für bestimmte Eigenschaften, beispielsweise im Hinblick auf ökologische Nachhaltigkeit, auszulösen. Innerhalb des Vortrags werden erste Ergebnisse zu den ökonomischen Besonderheiten der Wertschöpfungskette von Carbonbeton und zum methodischen Vorgehen für die Zielkostenanalyse vorgestellt.

Prof. Dr. Rüdiger Wink

ist seit 2004 Professor für Volkswirtschaftslehre an der HTWK Leipzig. Zuvor war er u.a. Mitarbeiter des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) und Senior Research Fellow an der University of Birmingham (UK). Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Regional- und Innovationsökonomik und hierbei in den vergangenen Jahren insbesondere bei Studien zur ökonomischen Resilienz.

ANZEIGE

INDUSTRY
SOLUTIONS.

Mineral
Building
Solutions.

CHT
SMART CHEMISTRY
WITH CHARACTER.

NO.
STAHLBETON OHNE ALTERNATIVE.

YES.
ZUKUNFT MIT TEXTILBETON.

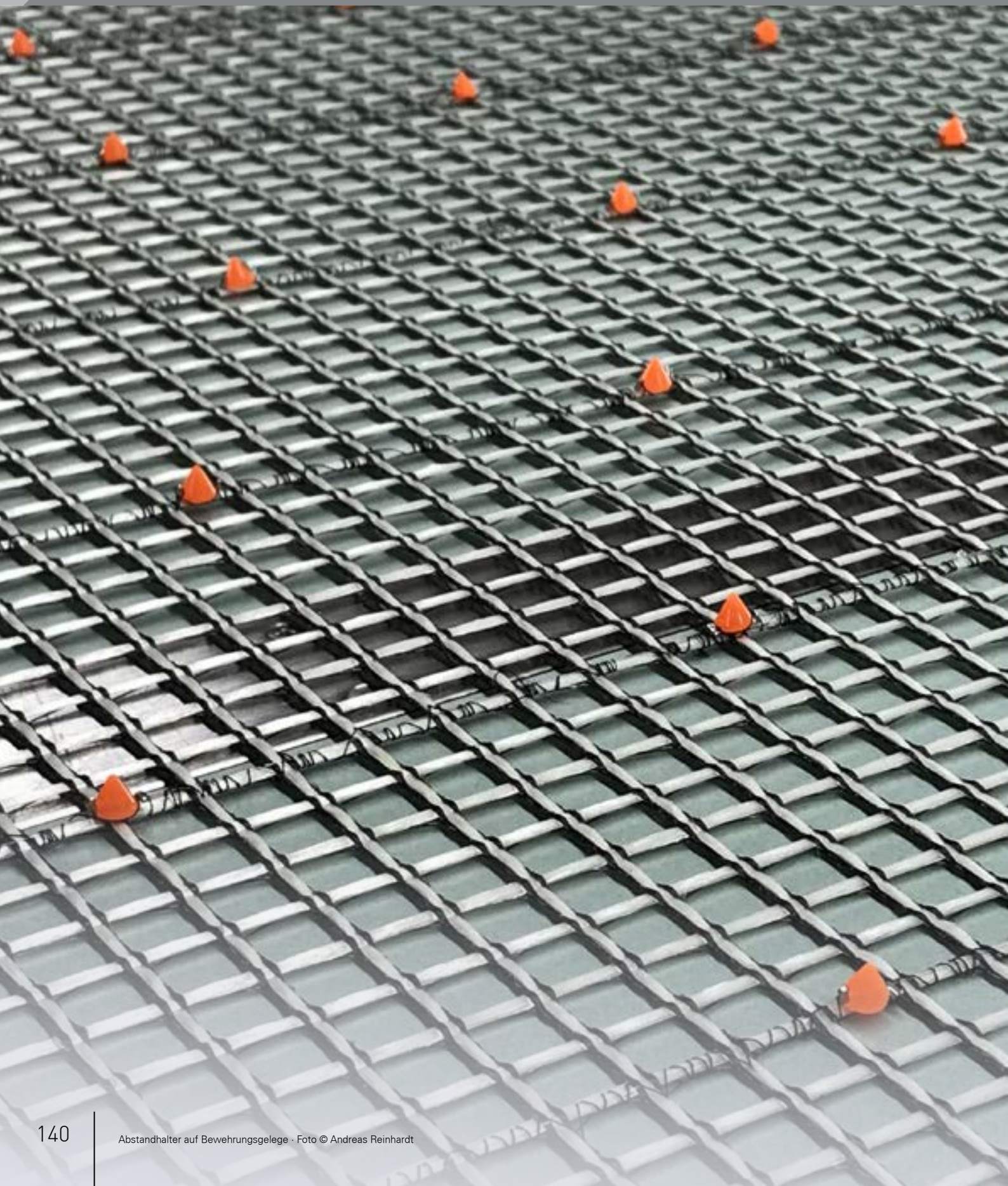
Wie entstehen aus textilen Strukturen tragfähige Betonteile? Mit den Beschichtungslösungen der CHT Gruppe werden architektonische Visionen wahr. Wir verbinden dabei unterschiedlichste Materialien zu einer Einheit und kombinieren innovatives Know-how aus zwei Technologiefeldern. Textilbeton bietet eine nachhaltige Alternative zu Stahlbeton und ist damit der perfekte Baustoff für unsere Zukunft.

Mehr über uns unter www.cht.com

Foto: solidian GmbH

POSTER-PRÄSENTATIONEN

V-I.12 Maschinelle flächendeckende Applikation von Abstandhaltern auf Bewehrungsgelege



Abstandhalter auf Bewehrungsgelege · Foto © Andreas Reinhardt

Zur Lagesicherung textiler Bewehrungsstrukturen während der Betonage bedarf es aufgrund der eher geringen Biegesteifigkeit dieser Materialien Abstandhalter in sehr geringen Abständen zueinander. Diese werden bisher unter großem Zeitbedarf manuell im Fertigteilwerk appliziert. Dadurch ist die Herstellung von Fertigteilen aus Carbonbeton derzeit unwirtschaftlich.

Im Vorhaben V-I.12 des C³-Projekts wurde die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer maschinellen, flächendeckenden Applikation von Abstandhaltern auf textile Bewehrungsstrukturen untersucht.

Dazu wurden mithilfe zweier Textilbearbeitungstechnologien, dem Sticken und der Pick&Place-Methode, punktuell kegelförmige Abstandhalter mit einer Höhe von 6 mm auf Bewehrungsstrukturen appliziert sowie der Investitions-, Wartungs- und Applikations-Aufwand für jeweils vier verschiedene Maschinentypen erfasst. Parallel wurde der Aufwand zur manuellen Befestigung von Abstandhaltern geschätzt sowie zur Kontrolle im Fertigteilwerk auf gleichen Bewehrungsstrukturen gemessen. Aus allen Versuchsmustern wurden Vergleichsbauteile betoniert, zersägt und dadurch die Haltbarkeit und Funktionsfähigkeit sowohl der manuellen als auch der maschinellen Applikationstechnologien nachgewiesen. Die erfassten Zeitbedarfe und Kosten wurden zur Preisbildung genutzt und in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verglichen.

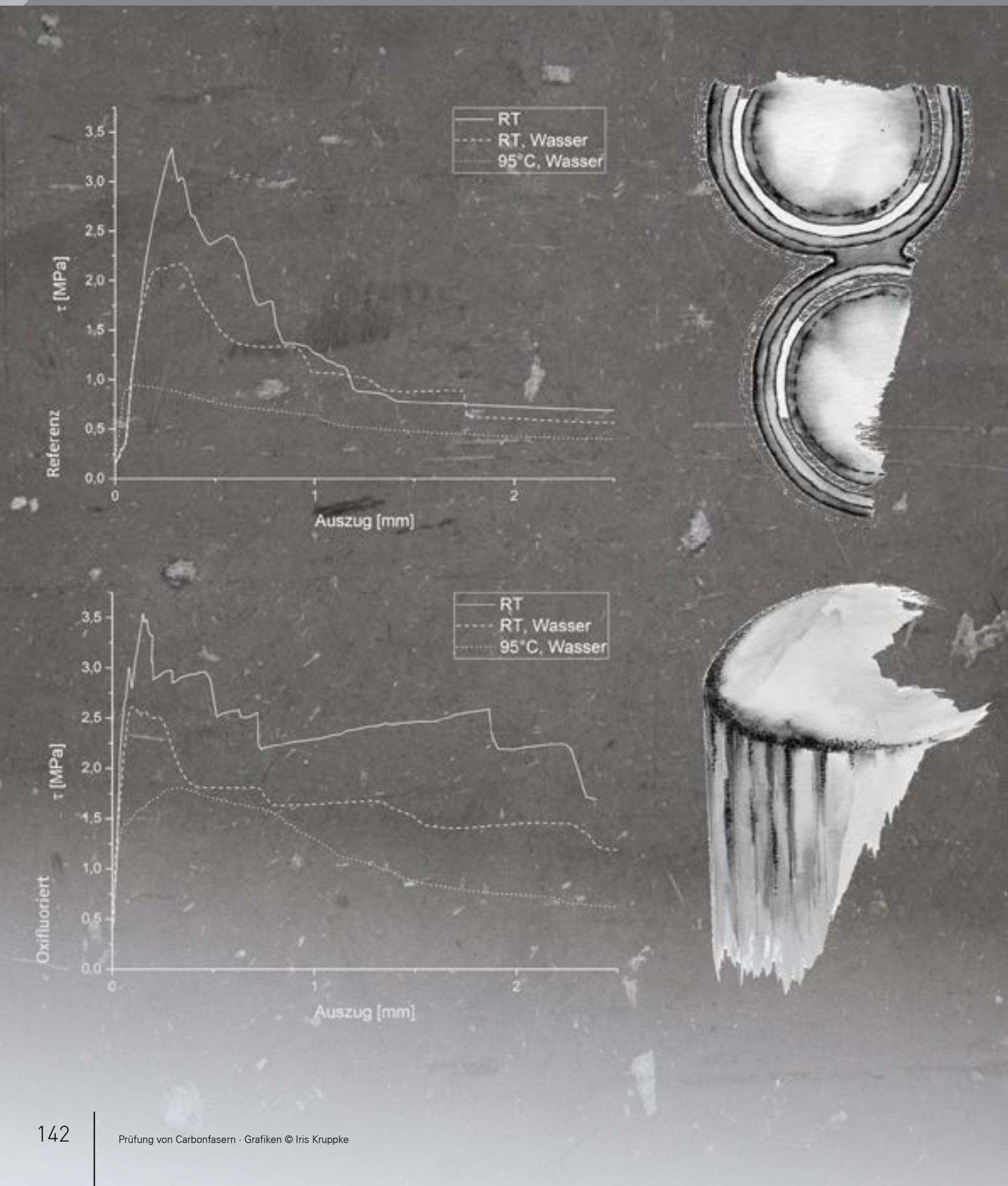
Mit beiden untersuchten maschinellen Technologien, dem Sticken und der Pick&Place-Methode, können Abstandhalter auf technische Textilien transport- und betonierfähig appliziert werden. Beide maschinelle Applikationstechnologien zeigen wirtschaftliche Vorteile gegenüber der manuellen Applikation von Abstandhaltern im Fertigteilwerk. Bei typischen, durchschnittlichen Lohnkosten im Fertigteilwerk kann mit der effizienteren Pick&Place-Methode bei mittel biegesteifer Bewehrung eine Kosteneinsparung von fast 60 % beim Einbau der Bewehrung in die Schalung erzielt werden. Durch Prozessoptimierung sowie bei großer Nachfrage beträgt das Einsparpotenzial bei Verwendung von mit Abstandhaltern vorkonfektionierter Bewehrung bis zu 90 %.

Die Pick&Place-Methode stellt dabei die deutlich wirtschaftlichere Alternative zur manuellen Applikation von Abstandhaltern dar. Außerdem bietet sie eine besonders große Anwendungsbreite und ist mit geringen Umrüstzeiten flexibel hinsichtlich der Rastergröße der Bewehrung. Auch die Applikation von volumenmäßig größeren und deutlich höheren Klein- oder Linienbauteilen, sowie eine Anbindung weiterer Funktionsschritte durch Verlängerung der Portalkette sind mit dieser Technologie mit vergleichsweise geringen Anpassungen möglich. So könnten hier beispielsweise größere Abstandhalter, Sensoren oder Medienleitungen aufgebracht werden und Arbeitsschritte wie Formschnitt, Überlappungsschnitt und die Realisierung von farblichen Überlappungsmarkern anschließen.

Dipl.-Ing. Marén Kupke ist Gesellschafterin bei der AIB GmbH Architekten Ingenieure Bautzen. Außer als Architektin ist sie auch als Energieberaterin, Sachverständige Nachhaltiges Bauen und Sachverständige Brandschutz tätig. Seit 2008 arbeitet sie in der Textilbeton-Forschung und -Entwicklung mit und war von 2009 bis 2010 als Managerin des Netzwerks TEXTON bei InnTex e.V. Chemnitz beschäftigt.

Andreas Reinhardt, M.Sc. ist geschäftsführender Gesellschafter der Modespitze Plauen GmbH und betreut hier u.a. seit 2009 den Bereich Technische Textilien mit den Schwerpunkten textilbasierte Funktionsapplikationen, „sensor placement“ und „rapid prototyping“. Er war über sechs Jahre im Management des Netzwerks highSTICk aktiv und ist seit mehr als 12 Jahren im Vorstand des Branchenverbandes Plauener Spitze und Stickereien e.V. aktiv.

Maßgeschneiderte Oberflächenmodifizierung von Verstärkungsfasern für den Carbonbeton mittels Oxifluorierung



Prüfung von Carbonfasern · Grafiken © Iris Kruppke

Um das Potenzial des Carbonbetons vollständig ausnutzen zu können, sind fundierte Kenntnisse der Faser-Matrix-Grenzflächen unerlässlich. Sie ermöglichen ein maßgeschneidertes Grenzschichtdesign, das die Verbundeigenschaften wesentlich verbessert. So ist es durch die Oxifluorierung der Carbonfaseroberfläche gelungen, die Faser-Matrix-Haftung um bis zu 30 % zu steigern.

Der carbonfaserbewehrte Textilbeton besteht aus einer anorganischen Matrix, in welche die beschlichteten, beschichteten oder imprägnierten Hochleistungsfasern eingebettet sind. Um die Leistungsfähigkeit dieses komplexen Systems zu erhalten und optimal ausnutzen zu können, sind neben einer ausreichenden thermomechanischen Stabilität der eingesetzten Imprägnierung auch die sehr gute Kompatibilität und Adhäsion der Komponenten zueinander von wesentlicher Bedeutung. Die vorliegenden Grenzflächen bestimmen somit das Gesamtpotential des Verbundwerkstoffs.

Durch die Oxifluorierung von Fasern oder Gelegen kann die originär inerte Carbonfaseroberfläche in ihren Eigenschaften modifiziert werden. Um den daraus resultierenden Effekt zu untersuchen, sind Carbonfasern (CF) und Gelege mit einem Gasgemisch behandelt und anschließend mit einer wässrigen, acrylatbasierten Modellbeschichtung imprägniert worden. In Zusammenarbeit mit dem IMB und dem IfB der TUD wurden Betonauszugsversuche sowohl am Einzelfaden als auch am Textil durchgeführt. Die Wirkung der Oxifluorierung wurde unter variierenden Prüfbedingungen – RT/Normalfeuchte, RT/Wasserlagerung sowie 95 °C/Wasserlagerung – umfassend untersucht und mit kommerziell beschlichteten sowie mit beschichtungsmittelangepasst beschlichteten Fasersystemen verglichen. Zusätzlich wurden Textilauszugsversuche nach Lorenz bei Raumtemperatur und bei 80 °C durchgeführt.

Für beide textile Aufmachungsformen konnte eine maßgebliche Steigerung der Verbundeigenschaften durch die Oxifluorierung sowohl anhand der Schubspannungskurven als auch der Verbundflussdiagramme nachgewiesen werden. Es ist ein verbessertes Imprägnierungsverhalten der funktionalisierten CF mit den Beschichtungsdispersionen beobachtet worden. Durch die Behandlung wird die Schlichte, die originär nicht für den Textilbeton geeignet ist und bewiesener Maßen den Verbund verschlechtert, entfernt und gleichzeitig die CF funktionalisiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass für diese Untersuchung die Prüfkonditionen sowie die Oberflächenmodifikation einen signifikanten Einfluss haben. Speziell für die Einzelgarnauszugsversuche zeigten sich ein gesteigerter Haft- (> 30% als τ_{max} der Referenz) und ein erhöhter Reibverbund für alle genannten Prüfbedingungen. Bei RT zeigten die Verbundflusskurven im Reibbereich eine Verbesserung um 26 % und das Maximum konnte sogar um 162 % gesteigert werden.

Basierend auf den Prüfergebnissen zur Funktionalisierung von CF mittels Oxifluorierung und Beschichtung konnte gezeigt werden, dass eine maßgeschneiderte Grenzschichtmodifikation haftungssteigernde Auswirkungen in makro-, meso- und mikroskaliger Ebene zeigt. Die stattfindenden Verbesserungen des Materialverbundes sind folglich als Summeneffekt folgender Wechselwirkungspotentiale zu betrachten: Einführung von chemischen Funktionalitäten, Einstellbarkeit und Erhöhung der polaren Oberflächenenergie in Abhängigkeit der Behandlungsbedingungen, Reduktion von haftungsvermindernden weak boundary layer auf Filamentebene sowie Vergrößerung der Oberfläche durch Einführung von Mikrokavitäten. Da die Oxifluorierung sowohl am Garnmaterial als auch an Gelegen angewendet werden kann, ist diese gut für den Einsatz in industriellen Prozessen geeignet und kann die Belastbarkeit von Carbonverbundwerkstoffen auf Basis anorganischer Matrizes deutlich steigern.

Dr.-Ing. Iris Kruppke

hat von 2006 bis 2012 Chemieingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden studiert. Seit dem arbeitet Sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am ITM und hat 2018 ihre Promotion an der Technischen Universität Dresden im Fachgebiet Textilmaschinenbau erfolgreich abgeschlossen, wofür sie mit dem Manfred Hirschvogel Preis als beste Arbeit der Fakultät ausgezeichnet wurde. Ihre Forschungsgebiete liegen in der Oberflächenfunktionalisierung von Carbonfasern mit besonderem Augenmerk auf dem Grenzschichtdesign und der Beschichtungsentwicklung für den carbonfaserbasierten Textilbeton.

Carbonbeton-Pavillons „Tiny House“: klare Formen, mobile Module

Mobile Gartenpavillons aus Carbonbeton auf der diesjährigen Landesgartenschau Würzburg · Foto © betondesign factory

Carbonbeton ist ein Baumaterial der Zukunft, das viel Potential zur bautechnischen Instandsetzung und Verstärkung von marodem Stahlbeton sowie zur Herstellung von Beton-Fertigteilen bietet. Entwickler der innovativen Textil-Bewehrung für Beton ist u.a. die V. Fraas Solutions in Textile GmbH mit der Marke SITgrid®. Die neueste Entwicklung aus Carbonbeton sind mobile Gartenpavillons, zu sehen auf der Landesgartenschau Würzburg vom 12. April bis 07. Oktober 2018.

Das Bild des klassischen Gartens befindet sich im Wandel und auch die Ansprüche an den Garten haben sich verändert. Der zeitgemäße Garten soll flexibel sein und sich an wechselnde Lebenssituationen anpassen.

So entstand die Idee des „Modularen Gartens" als Themengarten der Landesgartenschau Würzburg 2018. Dabei liegt das Augenmerk sowohl in der einfachen und klar strukturierten Modulbauweise als auch in der Veränderlichkeit und Mobilität des Gartens. Die modernen Gartenideale wurden mit traditionellen Vorlieben wie zum Beispiel dem Bedürfnis nach Rückzugsorten und Entspannungsmöglichkeiten oder auch dem Wunsch nach selbst angebautem Gemüse oder Kräutern kombiniert.

Zentrum des „Modularen Gartens" sind Carbonbeton-Pavillons der Firma betondesign factory aus Einzelmodulen im Format von 80 x 80 cm, die sich in Kombination individuell an die jeweilige Gartensituation anpassen lassen. Ebenso flexibel sind die mobilen Hochbeetmodule aus Carbonbeton. Der große Vorteil des Materials ist seine Leichtigkeit und die damit einfache Handhabung durch den Einsatz von High Tec Materialien wie dem Carbon-Armierungstextil SITgrid® der V. Fraas Solutions in Textile GmbH sowie speziellen ultrahochfesten Betonen. Bei Bedarf können sämtliche Elemente problemlos rückgebaut und an anderer Stelle in gleicher Form oder modifiziert wieder aufgebaut werden. Die einzelnen Carbonbeton-Holzverbund-Module des Btex Case Systems, ausgezeichnet mit dem „Bundespreis für hervorragende innovatorische Leistungen für das Handwerk", sind einfach zusammen zu schrauben und ergeben eine fertige Außenfassade in Architekturbeton, die dämmfähig ist und eine Vielzahl von gestalterischen Möglichkeiten beinhaltet. So entsteht beispielsweise durch den Einsatz von begrünten Elementen, sogenannten Living Wall Systemen, oder in Kombination mit anderen Materialien wie Accoya Rombusleisten ein spannendes, modernes Design.

Die architektonische Spannweite der Carbonbeton „Tiny Houses" der betondesign factory reicht vom Geräteschuppen im Kubus-Design über den modernen Gartenpavillon bis hin zum kleinen Ferienbungalow im Bauhausstil. Der auf der Landesgartenschau Würzburg gezeigte Pavillon besticht durch seine großzügige integrierte Glasfront mit Holzfenstern aus witterungsbeständigem Accoya Holz und einer unverwechselbaren Architekturbetonfassade, die sich durch den Aufbau der quadratischen Btex Case System-Module im Format von 80 x 80 cm ergibt. Der Innenraum sowie die Dachkonstruktion sind mit innovativen, ökologischen Dämmelementen versehen. Eine begrünbare Pergola verbindet den Pavillon und das Gerätehaus miteinander. Die Fassade der Gartenhäuser teilen sich sowohl graue Betonelemente sowie einzelne begrünte „Living-Wall"- Elemente.

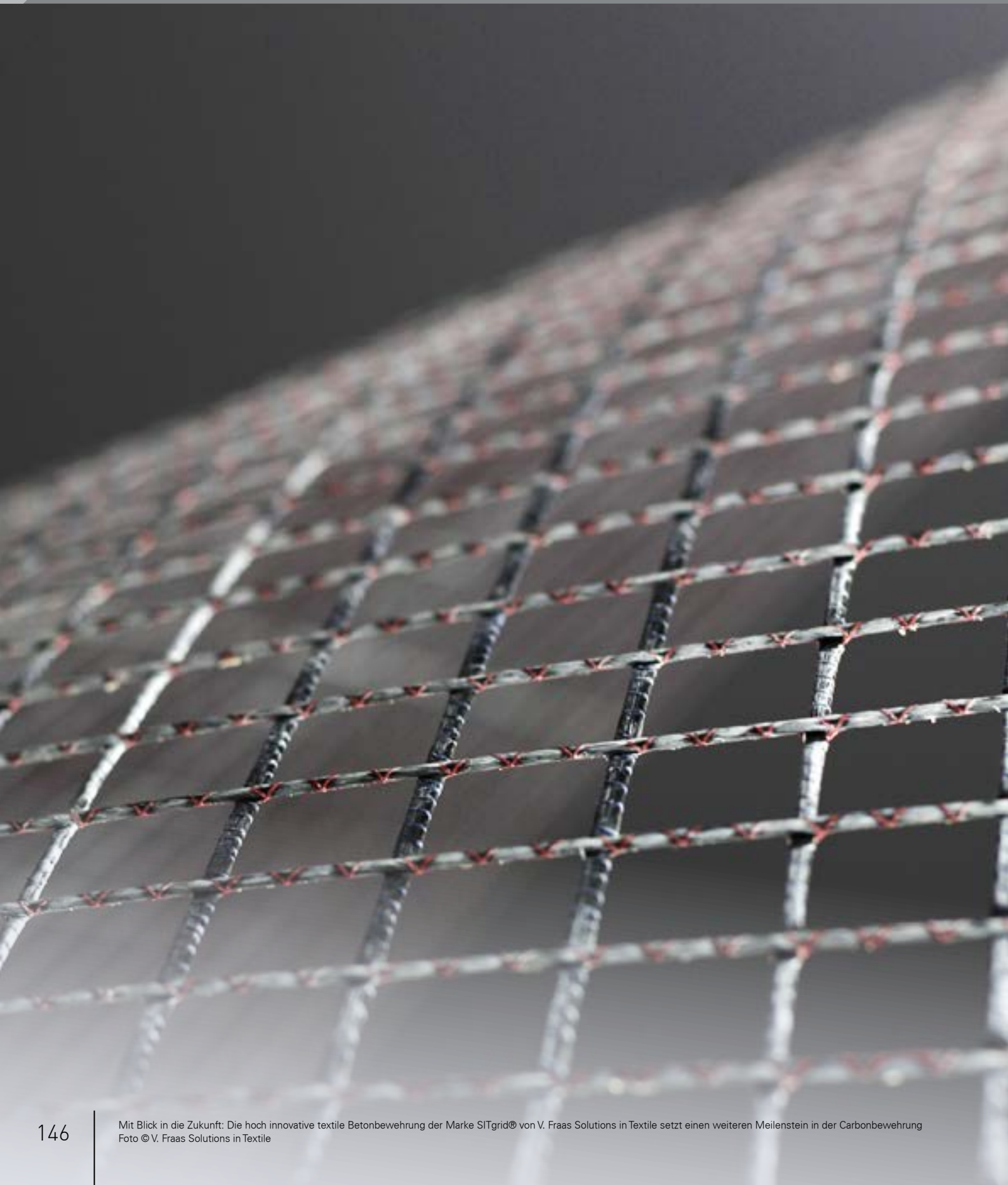
Die gesamte Gestaltung des Themengartens „Modularer Garten" ist auf das elegant-moderne Erscheinungsbild der Carbonbeton-Pavillons abgestimmt und wirkt durch den Einsatz von authentischen Materialen harmonisch entspannend.

Roy Thyroff
Geschäftsführer V. Fraas Solutions in Textile GmbH
Orter Str. 6
95233 Helmbrechts
Deutschland

Tel.: +49 9252 703-0
E-Mail: sit@fraas.com

www.solutions-in-textile.com

V. Fraas Solutions in Textile setzt mit SITgrid® 041 neue Standards bei Carbonbeton



Mit Blick in die Zukunft: Die hoch innovative textile Betonbewehrung der Marke SITgrid® von V. Fraas Solutions in Textile setzt einen weiteren Meilenstein in der Carbonbewehrung
Foto © V. Fraas Solutions in Textile

Die V. Fraas Solutions in Textile GmbH ist Entwickler und Produzent von textilen Betonbewehrungen der Marke SITgrid®. Vor allem die Carbon-Gittergelege eröffnen neue Perspektiven bei der bautechnischen Instandsetzung und Verstärkung von marodem Stahlbeton sowie bei der Herstellung von Beton-Fertigteilen. Jetzt kündigt die V. Fraas Solutions in Textile GmbH die Marktreife einer bahnbrechenden Neuentwicklung an: SITgrid® 041 setzt als 2D Carbongelege mit extrem hoher Leistungsfähigkeit völlig neue Maßstäbe in der Carbonbewehrung – vor allem als statische Bewehrung.

Nachdem SITgrid® 041 in der Instandsetzung und im Betonfertigteilbau bereits in zahlreichen Entwicklungsprojekten eingesetzt worden ist, zeigen die aktuell erarbeiteten Analysen und Messergebnisse ein revolutionäres Potential. „Wir werden mit SITgrid® 041 neue Standards bei Carbonbeton setzen", so Roy Thyroff, Geschäftsführer der V. Fraas Solutions in Textile GmbH. Mit der Carbonbewehrung SITgrid® 041 können erstmals Betone mit einem Größtkorndurchmesser von bis zu 8 mm gegossen werden. Darüber hinaus können die Strukturen des innovativen Carbongeleges nicht nur bei Hochleistungsbetonen, sondern auch bei Standardbetonen ihre Leistungsfähigkeit ausspielen. SITgrid® 041 hat damit besonderes Potential neben der Gebrauchstauglichkeits-Instandsetzung vor allem in der statischen Sanierung. Roy Thyroff: „Aufgrund der besonderen Oberflächenstruktur und der speziellen Beschichtung ist eine äußerst hohe Leistungsfähigkeit selbst in normalen Betonen gegeben. Aktuell ist SITgrid® 041 in vielen Probeflächen und Nullserien bei der Sanierung und im Betonfertigteilbau am Start."

Über V. Fraas Solutions in Textile:

Die V. Fraas Solutions in Textile GmbH ist Spezialist für technische Textilien und bietet mit der Marke SITgrid® in industrieller Serienfertigung 2D/3D AR-Glas- und Carbon-Gittergelege an, die zur bautechnischen Instandsetzung und Verstärkung von marodem Stahlbeton sowie zur Herstellung von Beton-Fertigteilen dienen. Mit der Marke SITnet® hat das Unternehmen hochfeste und patentierte Ladungssicherungsnetze im Sortiment.

Roy Thyroff
Geschäftsführer V. Fraas Solutions in Textile GmbH
Orter Str. 6
95233 Helmbrechts
Deutschland

Tel.: +49 9252 703-0
E-Mail: sit@fraas.com

www.solutions-in-textile.com

ANZEIGE

Forschen

Bauen

Wissen teilen

texton e.V.
Das Unternehmensnetzwerk
für faser- und textilbewehrte Betone

Alte Dresdner Str. 99
01108 Dresden

info@textil-beton.net
www.textil-beton.net

Besuchen Sie uns auch auf Facebook!

texton

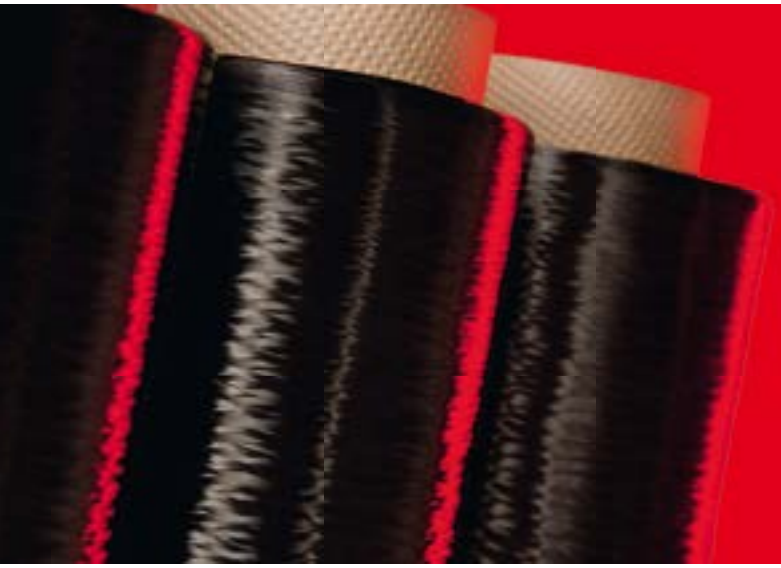
Das Unternehmensnetzwerk
für faser- und textilbewehrte Betone

ANZEIGE

TEIJIN

Human Chemistry, Human Solutions

Tenax® CARBONFASERN FÜR DIE BAUINDUSTRIE



Carbonfasern von Teijin werden seit vielen Jahren in zahlreichen Bauprojekten eingesetzt. Mit Carbonbeton können nun auch aufwändige Sanierungen und innovative Neubauprojekte realisiert werden.

Bogenbrücke Naila
© V. Fraas Solutions in Textile GmbH

Bosporus-Brücke
© solidian GmbH

Brücke Albstadt-Ebingen
© solidian GmbH

Fassade Neuer Markt
© solidian GmbH

Teijin Carbon Europe GmbH produziert seit über 30 Jahren Carbonfasern in Deutschland. Mit unserer Qualität und Erfahrung erarbeiten wir neue Lösungen – gemeinsam mit unseren Kunden, für eine starke Zukunft!

TEIJIN CARBON EUROPE GMBH

www.teijincarbon.com
industry@teijincarbon.com

ANZEIGE

Für die Erhaltung von Beton

TARKUS
IngenieurSanierung GmbH

Seit über 25 Jahren

In der Forschung mit Carbonbeton und

bereits im Einsatz bei innovativer Betoninstandsetzung

... und manchmal bauen wir auch nur schöne Dinge (BUGA 2019, Heilbronn)

CONCRETE AND MORE ...

Übersicht der C³-Partner

- **AIB GmbH**
  Liselotte-Herrmann-Straße 4, 02625 Bautzen
- **Albani Group GmbH & Co. KG**
  Steinerne Furt 44, 86167 Augsburg
- **ALHO Systembau GmbH**
  Hammer 1, 51598 Friesenhagen
- **Assmann Beraten + Planen AG**
  Reichenbachstraße 55, 01069 Dresden
- **Augel GmbH**
  Windkaulweg 1, 56745 Weibern
- **BARG Betontechnik u. -instandsetzungs GmbH & Co. KG**
  Potsdamer Straße 23/24, 14163 Berlin
- **Bauhaus-Universität Weimar, F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde**
  Coudraystraße 11, 99423 Weimar
- **Baustoffprüflabor Müller & Lobisch GmbH**
  Am Gewerbepark 8, 04860 Süptitz
- **Bauunternehmen Torsten Sperling**
  In der Lache 11, 63697 Hirzenhain
- **Bautenschutz Müller GmbH**
  An der Jägerbäk 2, 18069 Rostock
- **Bauwerke – Management – Systeme AG**
  Sohlweg 76, 41372 Niederkrüchten
- **BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH**
  Hammerweg 25, 01127 Dresden
- **Bertschinger Bau GmbH**
  Schopperstraße 35, 97421 Schweinfurt
- **Betonwerk Oschatz GmbH**
  Mühlberger Straße 17–19, 04758 Oschatz
- **Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl Massivbau**
  Konrad-Wachsmann-Allee 2, 03046 Cottbus
- **Bundesanstalt für Wasserbau – Referat Baustoffe**
  Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- **CarbonCon GmbH**
  Ammonstraße 72, 01067 Dresden
- **Caruso Umweltservice GmbH**
  Hauptstraße 33, 04463 Großpösna
- **CHT Germany GmbH**
  Postfach 1280, 72002 Tübingen
- **Clement Germany GmbH**
  Grubenstraße 48, 18055 Rostock
- **DBF Deutsche Basalt Faser GmbH**
  Carl-Rabe-Straße 11, 06526 Sangerhausen
- **Deuna Zement GmbH**
  Industriestraße 7, 37355 Deuna
- **Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)**
  Budapester Straße 31, 10787 Berlin
- **Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.**
  Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin
- **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie**
  Pfaffenwaldring 38–40, 70569 Stuttgart
- **Dipl. Ing. H. Bendl Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG Sebnitz**
  Kreuzstraße 3a, 01855 Sebnitz

- **Dlubal Software GmbH**
  Am Zellweg 2, 93464 Tiefenbach
- **dresden | exists**
  01062 Dresden
- **Dreßler Bau GmbH**
  Müllerstraße 26, 63741 Aschaffenburg
- **Dr. Mirtsch Wölbstrukturierung GmbH**
  Mühlenstraße 62, 13187 Berlin
- **DYWIDAG-Systems International GmbH**
  Siemensstraße 8, 85716 Unterschleißheim
- **EBF Dresden GmbH**
  Clara-Zetkin-Straße 31, 01159 Dresden
- **EIPOS GmbH**
  Freiberger Straße 37, 01067 Dresden
- **EK Bauwerkabdichtung von Glasenapp GmbH**
  Salmdorfer Straße 1, 85540 Haar
- **EnergieAutark GmbH**
  Lindenweg 22, 04509 Delitzsch
- **ENKA Bautechnik GmbH & Co. KG**
  Rothenberg 77, 42799 Leichlingen
- **EurA AG**
  Am Köhlersgehäu 60, 98544 Zella-Mehlis
- **Evonik Ressource Efficiency GmbH**
  Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau
- **Fachhochschule Münster**
  Corrensstraße 25, 48149 Münster
- **Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. (FDB)**
  Postfach 21 02 67, 53157 Bonn
- **Filmaton**
  Karl-Liebknecht-Straße 133, 04275 Leipzig
- **Fischer Bauabdichtung GmbH**
  Bahnhof Frauendorf 3, 04654 Frohburg
- **FISSEK GmbH**
  Am Fernblick 13, 08499 Mylau
- **Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP**
  Otto-Eißfeldt-Straße 12, 06120 Halle
- **Fraunhofer-Einrichtung für Polymaterialien und Composite PYCO**
  Kantstraße 55, 14513 Teltow
- **Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie Gruppe Geschäftsmodelle: Engineering und Innovation**
  Städtisches Kaufhaus, Neumarkt 9-19, 04109 Leipzig
- **FTA Forschungsgesellschaft für Textiltechnik Albstadt mbH**
  Parkweg 2, 72458 Albstadt
- **GGB Gesellschaft für Geomechanik und Baumesstechnik mbH**
  Leipziger Straße 14, 04579 Espenhain
- **GINKGO Projektentwicklung GmbH**
  An der Pikardie 6, 01277 Dresden
- **Goldbeck Ost GmbH**
  Zum Bahndamm 18, 08233 Treuen
- **GQ Quadflieg Bau GmbH**
  Schumannstraße 18, 52146 Würselen
- **Groz-Beckert KG**
  Parkweg 2, 72458 Albstadt
- **Gustav Gerster GmbH & Co. KG, Geschäftsbereich Gerster TechTex**
  Memminger Straße 18, 88400 Biberach/Riss
- **Halfen GmbH**
  Liebigstraße 14, 40764 Langenfeld
- **HÄNDLE GmbH Maschinen und Anlagenbau**
  Industriestraße 47, 75417 Mühlacker
- **H-BAU Technik GmbH**
  Am Güterbahnhof 20, 79771 Klettgau-Erzingen
- **HEBAU GmbH**
  Postfach 1308, 87517 Sonthofen
- **HeidelbergCement AG**
  Oberklamweg 6, 69181 Leimen
- **Hentschke Bau GmbH**
  Zeppelinstraße 15, 02625 Bautzen
- **Hering Bau GmbH & Co. KG**
  Neuländer 1, 57299 Burbach
- **Herzog GmbH**
  Am Alexanderhaus 160, 26127 Oldenburg
- **HFB Engineering GmbH**
  Zschortauer Straße 42, 04129 Leipzig
- **Hitexbau GmbH**
  Steinerne Furt 44, 86167 Augsburg
- **Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig**
  Karl Liebknecht Straße 132, 04277 Leipzig
- **Hörnig Bauwerkssanierung GmbH**
  Magnolienweg 5, 63741 Aschaffenburg
- **HTW Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen / Architektur**
  Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden
- **HUESKER Synthetic GmbH**
  Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher
- **IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH**
  Über der Nonnenwiese 1, 99428 Weimar
- **ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH**
  Diezmannstraße 5, 04207 Leipzig
- **Implenia Construction GmbH, Baustofftechnik**
  Martin-Luther-Ring 13, 04109 Leipzig
- **Implenia Instandsetzung GmbH**
  Zielstattstraße 19, 81379 München
- **InformationsZentrum Beton GmbH**
  Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde
- **Ingenieurbüro Grassl GmbH**
  Hertzstraße 20, 13158 Berlin
- **Ingenieurbüro Roland Fink**
  Blumenstraße 16, 01445 Radebeul
- **Ingenieurbüro Säbisch**
  Spinnereistraße 7, 04179 Leipzig
- **INROS LACKNER SE**
  Sachsendorfer Straße 2, 03051 Cottbus
- **Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH**
  Gostritzer Straße 65, 01217 Dresden
- **Jens Brand Felsenbau**
  Heinrich-Albrecht-Straße 16, 03042 Cottbus
- **Johne & Groß GmbH**
  Kamenzer Staße 18, 01936 Schwepnitz

- **JORDAHL GmbH**
  Nobelstraße 51, 12057 Berlin
- **Privatperson**
- **kahnt und tietze ug (haftungsbeschränkt)**
  Anna-Kuhnow-Straße 39, 04317 Leipzig
- **Käppler & Pausch GmbH**
  Bönnigheimer Ring 39, 01904 Neukirch/Lausitz
- **KARL MAYER Technische Textilien GmbH**
  Mauersbergerstraße 2, 09117 Chemnitz
- **Privatperson**
- **Klaus Raps Beteiligungs GmbH**
  Hohenmarkstraße 116a, 61440 Oberursel (Taunus)
- **Klebl GmbH**
  Köthener Staße 40, 06388 Südliches Anhalt
- **Kordes + Ziegenhorn Partner**
  Emil-Ueberall-Straße 5, 01159 Dresden
- **Laumer Bautechnik GmbH**
  Bahnhofstraße 8, 84323 Massing
- **Lefatex Chemie GmbH**
  Stiegstraße 64, 41379 Brüggen
- **Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V.**
  Felix-Hausdorff-Straße 2, 17489 Greifswald
- **Leibniz Universität Hannover, Hannoversches Zentrum für Optische Technologien – HOT**
  Nienburger Straße 17, 30167 Hannover
- **Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.**
  Hohe Straße 6, 01069 Dresden
- **Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH**
  Marschnerstaße 39, 01307 Dresden
- **LISt GmbH**
  Seminarstraße 4, 09306 Rochlitz
- **Materialforschungs und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar**
  Postfach 2310, 99404 Weimar
- **Max Bögl Bauservice GmbH & Co. KG**
  Max-Bögl-Str. 2, 07546 Gera
- **maxit Baustoffwerke GmbH**
  Brandensteiner Weg 1, 07387 Krölpa
- **MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG**
  Am Kruppwald 1-8, 46238 Bottrop
- **Meißner Hoch-, Tief- und Straßenbau GmbH**
  Ölbergstraße 4-6, 53840 Troisdorf
- **MFPA Leipzig GmbH**
  Postfach 74 11 06, 04323 Leipzig
- **Modespitze Plauen GmbH**
  Annenstraße 9, 08523 Plauen
- **Müller-BBM GmbH**
  Lessingstraße 10, 01465 Dresden
- **Müller Fugensysteme GmbH**
  Niederdorfstraße 57, 01877 Rammenau
- **Nordex Energy GmbH**
  Langenhorner Chaussee 600, 2419 Hamburg
- **NU Informationssysteme GmbH**
  Bahnhofstraße 4, 01587 Riesa
- **OPTERRA Karsdorf GmbH**
  Straße der Einheit 25, 06638 Karsdorf
- **PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co. KG**
  Wolfsbankring 9, 45355 Essen
- **PAULSBERG OHG**
  Loschwitzer Straße 56, 01309 Dresden
- **P-D Glasseiden GmbH Oschatz**
  Wellerswalder Weg 17, 04758 Oschatz
- **Photonion GmbH**
  Hagenower Straße 73, 19061 Schwerin
- **pmp Projekt GmbH, Gesellschaft für Projektentwicklung und Generalplanung mbH**
  Domlinden 21, 14776 Brandenburg
- **Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH**
  Margarethenstraße 61, 19322 Wittenberge
- **Qpoint Composite GmbH**
  Breitscheidstraße 78, 01237 Dresden
- **Reisch Ingenieure GmbH**
  Pröllstraße 14, 86157 Augsburg
- **Rekers Betonwerk GmbH & Co. KG**
  Portlandstraße 15, 48480 Spelle
- **Privatperson**
- **Ruhr-Universität Bochum, Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Lehrstuhl Baustofftechnik**
  Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
- **RWTH Aachen, Institut für Massivbau**
  Mies-van-der-Rohe-Straße 1, 52074 Aachen
- **RWTH Aachen University, Institut für Bauforschung, Lehrstuhl für Baustoffkunde**
  Schinkelstraße 3, 52062 Aachen
- **Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)**
  Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz
- **SAERTEX GmbH & Co. KG**
  Brochterbecker Damm 52, 48369 Saerbeck
- **SCALE GmbH**
  Donaustraße 7, 85049 Ingolstadt
- **schlaich bergermann und partner.sbp gmbh**
  Schwabstraße 43, 70197 Stuttgart
- **Schlatter Deutschland GmbH & Co. KG**
  Dahlweg 105, 48163 Münster
- **Schöck Bauteile GmbH**
  Vimbucher Straße 2, 76534 Baden-Baden
- **SGB Steuerungstechnik GmbH**
  Marschnerstraße 13, 04109 Leipzig
- **SGL Carbon GmbH**
  Werner-von-Siemens-Straße 18, 86405 Meitingen
- **Sika Deutschland GmbH**
  Kornwestheimer Straße 103-107, 70439 Stuttgart
- **SKZ-KFE gGmbH**
  Friedrich-Bergius-Ring 22, 97076 Würzburg
- **Solidian GmbH**
  Sigmaringer Straße 150, 72458 Albstadt
- **Specht Kalleja & Partner GmbH**
  Keplerstraße 8-10, 10589 Berlin
- **Stäubli GmbH**
  Theodor-Schmidt-Straße 19, 95448 Bayreuth
- **steinbeisser GmbH**
  Max-Planck-Ring 8, 06188 Landsberg/OT Queis
- **STL Heizsysteme GmbH**
  Florian-Geyer-Straße 7, 01307 Dresden

- **Synthomer Deutschland GmbH**
  Werrastraße 10, 45768 Marl
- **Syspro-Gruppe Betonbauteile e.V.**
  Hanauer Straße 31, 63526 Erlensee
- **T A R K U S IngenieurSanierung GmbH**
  Hochbergweg 2, 12207 Berlin
- **Technische Universität Berlin, Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren – Massivbau**
  Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin
- **Technische Universität Chemnitz, Fakultät Maschinenbau, Institut für Strukturleichtbau, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung**
  Reichenhainer Straße 31/33, 09126 Chemnitz
- **Technische Universität Darmstadt, Ernst-Berl-Institut für Technische und Makromolekulare Chemie**
  Alarich-Weiss-Straße 8, 64287 Darmstadt
- **Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Massivbau**
  Franziska-Braun-Straße 3, 64287 Darmstadt
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Massivbau**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Baustoffe – IfB**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Baubetriebswesen**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für Betriebliche Umweltökonomie**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik – ITM**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik – ILK**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Arbeitsgruppe Mechanische Verfahrenstechnik**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik – IWM**
  01062 Dresden
- **Technische Universität Dresden, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Hochfrequenztechnik**
  01062 Dresden
- **Teijin Carbon Europe GmbH**
  Kasinostraße 19-21, 42103 Wuppertal
- **Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V. (titv)**
  Zeulenrodaer Straße 42, 07973 Greiz
- **texton e.V.**
  Alte Dresdner Straße 99, 01108 Dresden
- **thones® Dichtungstechnik GmbH**
  Zeppelinstraße 15, 01665 Klipphausen
- **ThyssenKrupp AG, TechCenter Carbon Composites**
  Frankenring 1, 01723 Kesselsdorf
- **ToPAS GmbH**
  Oskar-Röder-Straße 12, 01237 Dresden
- **TORKRET GmbH**
  Langemarckstraße 39, 45141 Essen
- **TUDAG**
  Freiberger Straße 37, 01067 Dresden
- **TUDALIT e.V.**
  Freiberger Straße 37, 01067 Dresden
- **TUDATEX GmbH**
  Freiberger Straße 37, 01067 Dresden
- **UNGER Bau-Systeme GmbH**
  Donauwörther Straße 2, 09114 Chemnitz
- **Universalbeton Heringen GmbH & Co. KG**
  Nordhäuser Straße 2, 99765 Heringen
- **Universität Rostock, Institut für Chemie, Abteilung Analytische und Technische Chemie**
  Dr.-Lorenz-Weg 1, 18059 Rostock
- **Universität Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren – ILEK**
  Pfaffenwaldring 14, 70569 Stuttgart
- **V. FRAAS Solutions in Textile GmbH**
  Orter Straße 6, 95233 Helmbrechts
- **VDZ gGmbH**
  Postfach 30 10 63, 40410 Düsseldorf
- **Vitrocell Systems GmbH**
  Fabrik Sonntag 3, 79183 Waldkirch
- **Weber Betonwerk GmbH**
  Industriestraße 3-5, 97258 Ippesheim
- **Wilhelm Wallbrecht GmbH & Co. KG**
  Adelheidstraße 24, 30171 Hannover
- **WTM Engineers GmbH**
  Johannisbollwerk 6-8, 20459 Hamburg

Stand: September 2018

Impressum

Herausgeber

C³ – Carbon Concrete Composite e.V.
World Trade Center Dresden
Ammonstraße 72
01067 Dresden
Tel. +49 351 484 567-00
Fax +49 351 484 567-10
post@bauen-neu-denken.de
www.bauen-neu-denken.de

TUDALIT e.V.
Freiberger Str. 37
01067 Dresden
Tel. +49 351 404 704-10
Fax +49 351 404 703-10
info@tudalit.de
www.tudalit.de

Redaktion

TUDALIT e.V. und C³ – Carbon Concrete Composite e.V. übernehmen keinerlei Gewähr für die Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit und/oder Qualität der bereitgestellten Informationen.

Inhaltliche Prüfung

Dr.-Ing. Frank Schladitz | C³ – Carbon Concrete Composite e.V.
Dr.-Ing. Matthias Lieboldt | C³ – Carbon Concrete Composite e.V.

Korrekturen

Chris Gärtner, Anja Giesder | C³ – Carbon Concrete Composite e.V.
Silke Scheerer, Petra Kahle | Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau
Kerstin Schön | TUDALIT e.V.

Design, Layout, digitale Bildbearbeitung, Druckvorstufe

Stefan Gröschel, Sven Hofmann

Druck

Addprint AG | Gewerbegebiet Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz/Possendorf

Stand

September 2018

Fotos

Sven Hofmann, Stefan Gröschel, Zooey Braun, Mirko Krziwon

Auflage

600 Exemplare

Herzlichen Dank an unsere Unterstützer:

Notizen

Notizen

Notizen

C3 carbon concrete composite

www.bauen-neu-denken.de

TUDALIT®

Leichter bauen – Zukunft formen

www.tudalit.de