



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>



**MB** 2018

JAHRESBERICHT  
ANNUAL REPORT

WÄCKERBARTH Ingenieurkammer Sachsen  
MEDALLE



Bohr  
um





**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

Institut für Massivbau

# **JAHRESBERICHT 2018**

## **ANNUAL REPORT 2018**





**„DIE GESCHICHTE DER MENSCHHEIT  
IST DIE GESCHICHTE DER  
MENSCHLICHEN VISIONEN“**

Hans Kasper (\*1916)  
Deutscher Schriftsteller und Hörspielautor

Heute – Begegnung von Vergangenheit und Zukunft	11
<b>FORSCHUNG</b> <i>RESEARCH</i>	12
Forschung am IMB <i>Research at IMB</i>	14
Ergebnishaus CUBE – Entwurf fertig! <i>C<sup>3</sup> tech demo house CUBE – design completed</i>	16
Ein Regelwerk für Carbonbeton <i>Regulations for carbon reinforced concrete</i>	18
Qualitätssicherung von Carbonbeton <i>Quality assurance of carbon reinforced concrete</i>	20
Referenztextil für das C <sup>3</sup> -Projekt <i>Reference textile for the C<sup>3</sup>-project</i>	22
Wohin mit dem Rest? <i>What to do with the waste?</i>	24
Energiespeichernde Carbonbeton-Elemente <i>Building integrated energy storage</i>	26
Bausystem 2.0 für Carbonbeton <i>Building system 2.0 for carbon reinforced concrete</i>	28
Thermoanker – Innovativ und tragfähig! <i>Thermal anchor – Smart and stable!</i>	30
AUTARTEC® – Demonstrator in Bauphase <i>AUTARTEC® – Construction phase started</i>	32
Bauen leicht gemacht <i>Easy building</i>	34
Spannsystem mit CFK-Lamellen <i>A prestressing system with CFRP lamellae</i>	36
Die perfekte Anwendung für Carbonbeton? <i>The perfect application for carbon reinforced concrete?</i>	38
Geschwungen verankert <i>Loop-shaped anchorage</i>	40
Mit Formgebung zu mehr Verbundwiderstand <i>Increased composite resistance by shaping</i>	42
Stabwerkmodelle für Carbonbeton <i>Strut-and-tie models for carbon concrete</i>	44
Carbonbeton unter Druck <i>Carbon reinforced concrete under compression</i>	46
Hochtemperaturbeanspruchung von Carbonbeton – Zugprüfung <i>Carbon reinforced concrete under high temperature – tensile tests</i>	48

Über Durchläufer und Versager <i>Good vibrations</i>	50
Rissentwicklung bei Fahrbahndecken aus Carbonbeton <i>Crack development in carbon reinforced concrete road pavements</i>	52
Brückenkappen mit Carbonbewehrung <i>Bridge caps with carbon reinforcement</i>	54
Sanierung der Thainburgbrücke Naumburg mit Carbonbeton <i>Restoration of the Thainburg bridge in Naumburg with carbon reinforced concrete</i>	56
Großbauteile erfolgreich geprüft <i>Successful component tests</i>	58
Pilzköpfe aus Beton – Deckenformen am Stützenanschluss <i>Mushroom-shaped column heads made of concrete</i>	60
Effizient geformte Stützen <i>Efficiently shaped columns</i>	62
Faseroptische Sensoren im Beton <i>Fiber optic sensors in concrete</i>	64
UHPC unter zyklischer Beanspruchung <i>UHPC under cyclic loading</i>	66
Verbundermüdung von Stahlbeton <i>Bond fatigue of steel reinforced concrete</i>	68
Diskrete-Elemente-Simulation des Betonbruchverhaltens <i>Discrete element simulation of concrete failure</i>	70
Wasser <i>Water</i>	72
DEM – kontinuierlich diskontinuierlich <i>DEM – Continuously discontinuous</i>	74
2D-Simulation braucht dünne Proben <i>2D simulations need thin specimens</i>	76
Verbund unter Impact – die Geschichte geht weiter <i>Bond under impact loading – the story goes on</i>	78
Impactforschung – langsam wird es ernst <i>Impact research – Slowly, it is getting serious</i>	80
Stahlbeton unter Impact – Aller guten Dinge sind drei <i>Steel reinforced Concrete under Impact loading – All good things come in threes</i>	82
Faserbeton unter extremer Belastung <i>Fibre concrete under extreme loading</i>	84
Stahlfaserverstärkter Beton unter Impact <i>Steel fibre reinforced concrete (SFRC) under impact loading</i>	86
Carbonbeton als zusätzliche Sicherheit <i>Carbon reinforced concrete as additional safety</i>	88

<b>DAS C<sup>3</sup>-PROJEKT</b> <i>THE C<sup>3</sup>-PROJECT</i>	90
Das C <sup>3</sup> -Projekt – Entwicklungen 2018 <i>The C<sup>3</sup>- project – developments 2018</i>	92
Das C <sup>3</sup> -Wirtschaftlichkeitsvorhaben <i>The C<sup>3</sup>-economic efficiency project</i>	95
Das C <sup>3</sup> -Projekt in der Öffentlichkeit <i>The C<sup>3</sup>-project in public</i>	96
Carbonbeton erobert die Politik <i>Carbon reinforced concrete conquers politics</i>	96
Deutschland- und weltweites Interesse am Thema Carbonbeton <i>Germany- and worldwide interest in the topic of carbon reinforced concrete</i>	97
10. Carbon- und Textilbetontage <i>10th Carbon and Textile Reinforced Concrete Days</i>	98
Green Talents besuchen Hot Spots der Nachhaltigkeitswissenschaft <i>Green Talents visit the C<sup>3</sup>-project</i>	99
<b>LEHRE</b> <i>TEACHING</i>	100
Lehrveranstaltungen des Instituts für Massivbau <i>Lectures at the Institute of concrete structures</i>	102
Projektarbeiten <i>Project works</i>	108
Diplomarbeiten <i>Master's Theses</i>	117
Schülerpraktikum MANOS 2018	129
<b>OTTO-MOHR-LABORATORIUM</b> <i>OTTO MOHR LABORYTORY</i>	130
Testen auf höchstem Niveau <i>Testing at the highest level</i>	132
Leistungen <i>Services</i>	134
Ausstattung <i>Equipment</i>	136
Hydropulsprüfmaschine 1000 kN <i>Hydro pulse testing machine 1000 kN</i>	140
Fast wie im Film – Görlitzer Kaufhaus <i>Almost like in a movie – the Görlitz department store</i>	142
Weiterführung der Tragwerksversuche im Beyer-Bau <i>Continuation of tests in the Beyer-Bau</i>	144

Klebstofffreie Holzkonstruktionen mit laminierten Brettern <i>Adhesive free timber construction with laminated boards</i>	146
Faserverbundbewehrung im Mauerwerk <i>Fibre composite reinforcement in masonry</i>	148
<b>DAS INSTITUT</b> <i>The Institute</i>	150
Einleitung	152
Deutscher Brückenbaupreis und Dresdner Brückenbausymposium	153
„Färdsch“. Schwerpunktprogramm (SPP) 1542 erfolgreich abgeschlossen	155
Sächsischer Umweltminister Schmidt fasziniert von Carbonbeton	156
Von 18 bis 1 macht jeder Science!	157
Die 10. Carbon- und Textilbetontage in Dresden – ein voller Erfolg!	158
Preise und Ehrungen	160
Institutsveranstaltungen	163
Promotionen	166
Tragverhalten von Carbonbeton als Biegeverstärkung von Stahlbetonplatten unter Brandbelastung <i>Load-bearing behaviour of carbon concrete as bending reinforcement of reinforced concrete slabs under fire load</i>	166
Eine Finite-Elemente-Analyse zum Verbundverhalten unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten <i>A finite element analysis of bond of reinforcement under high loading rates</i>	168
Das Institut in Zahlen und Fakten	170
Austausch und Zusammenarbeit	181
Publikationen	182
Das Team 2018	190
Dank an unserer Förderer	191
Institutsalltag	192
Impressum	193



# HEUTE – BEGEGNUNG VON VERGANGENHEIT UND ZUKUNFT

Aus Anlass von Barack Obamas Rede vor dem Parlament des Vereinigten Königreichs von Großbritannien und Nordirland am 25. Mai 2011<sup>1)</sup> sagte der Sprecher des Unterhauses, John Bercow, die folgenden bemerkenswerten Sätze:

*“History is more than the path left by the past. It influences the present and can shape the future.”<sup>2)</sup>*

Das Institut für Massivbau ist sich der eigenen Geschichte sehr bewusst, insbesondere durch die hervorragende Quellensammlung von Dr.-Ing. Hans Wiese, Oberingenieur am Institut von 1993 bis 1999, der im Januar 2019 für immer von uns gegangen ist. Seine Sammlung an Informationen wird uns auch in Zukunft helfen, die Geschichte des Instituts nieder zu schreiben. Dazu kommt ein Forschungsvorhaben – finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft – über die Person Willy Gehler, einer Persönlichkeit, deren fachlich hochstehendes Wirken in vier verschiedenen politischen Systemen drohte, in Vergessenheit zu geraten. Willy Gehler hat durch seine Forschung an der TU Dresden an vielen Stellen die Betonbauweise deutlich vorangebracht, ist aber durch seine politische Verstrickung aus dem kollektiven Gedächtnis der Bauingenieure nahezu verschwunden gewesen.

Heute dominieren am Institut für Massivbau Forschungsarbeiten zum Carbonbeton, zum Impakt, zu mehraxialen Beanspruchungen und zum Brückenbau, wobei wir hiermit unseren Beitrag zur Zukunft leisten wollen.

Wenn man sich mit den Problemen der Vergangenheit und den damals gefundenen Lösungen beschäftigt, stellt man fest, wie ähnlich die Strategien sind, um zu Lösungen zu kommen, z. B. beim Verbund zwischen Bewehrung (egal ob Stahl, Glas, Basalt oder Carbon) und dem Beton. Ein Blick in die Vergangenheit kann also bei der Lösung von heutigen Herausforderungen durchaus beschleunigend wirken.

Neben unseren traditionellen Aufgaben in der Lehre sehen wir es als selbstverständlich an, wenn wir den Studierenden mit einem Blick in die Geschichte des Betonbaus auch diese Erkenntnis näher bringen. Denn unsere Vorgänger hatten oft jenen entscheidenden Mut, um neue Erkenntnisse umzusetzen, der heute durch so manche Vorsicht und Vorschrift kleingehalten wird.

## Wir danken Ihnen allen:

den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts, den geneigten Lesern, den Partnern an unserer TU Dresden und in allen anderen Hochschulen, den uns vertrauenden Firmen und Büros sowie unserer Bauverwaltung.

Und nun wünschen wir eine angenehme Lektüre mit dem Jahresbericht 2018.

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

<sup>1)</sup> Diese bemerkenswerte Rede kann auf Youtube angesehen werden: <https://www.youtube.com/watch?v=fp85zRg2cwg> oder gelesen werden über <http://edition.cnn.com/2011/POLITICS/05/25/obama.europe.speech/index.html>

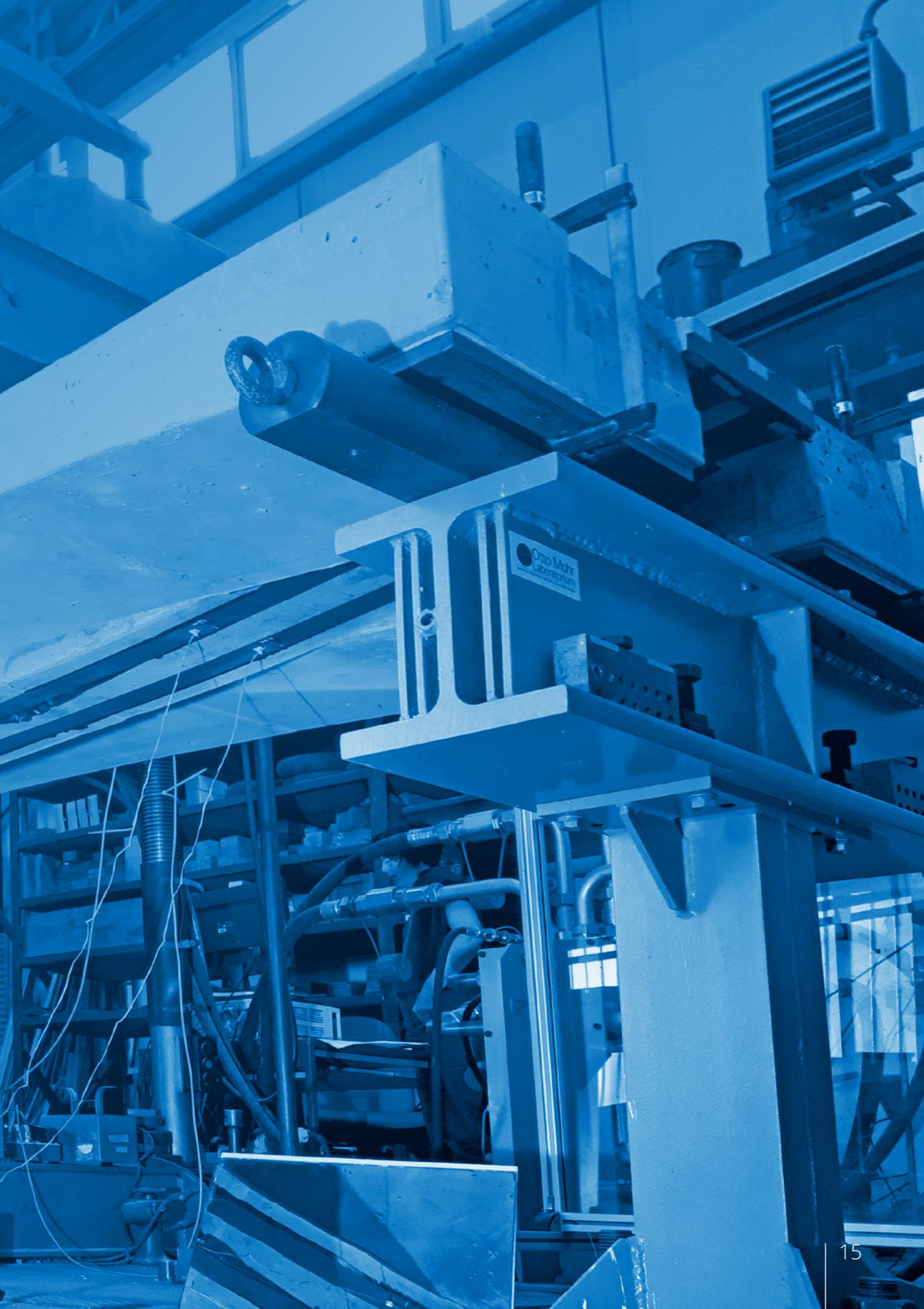
<sup>2)</sup> Kann ebenfalls über den Youtube-Link angesehen oder über folgenden Link gelesen werden: <https://www.parliament.uk/business/news/2011/may/us-president-address/speaker-bercow-speech/>



# FORSCHUNG

## RESEARCH

M. x. Prüfkraft  
1000 kN

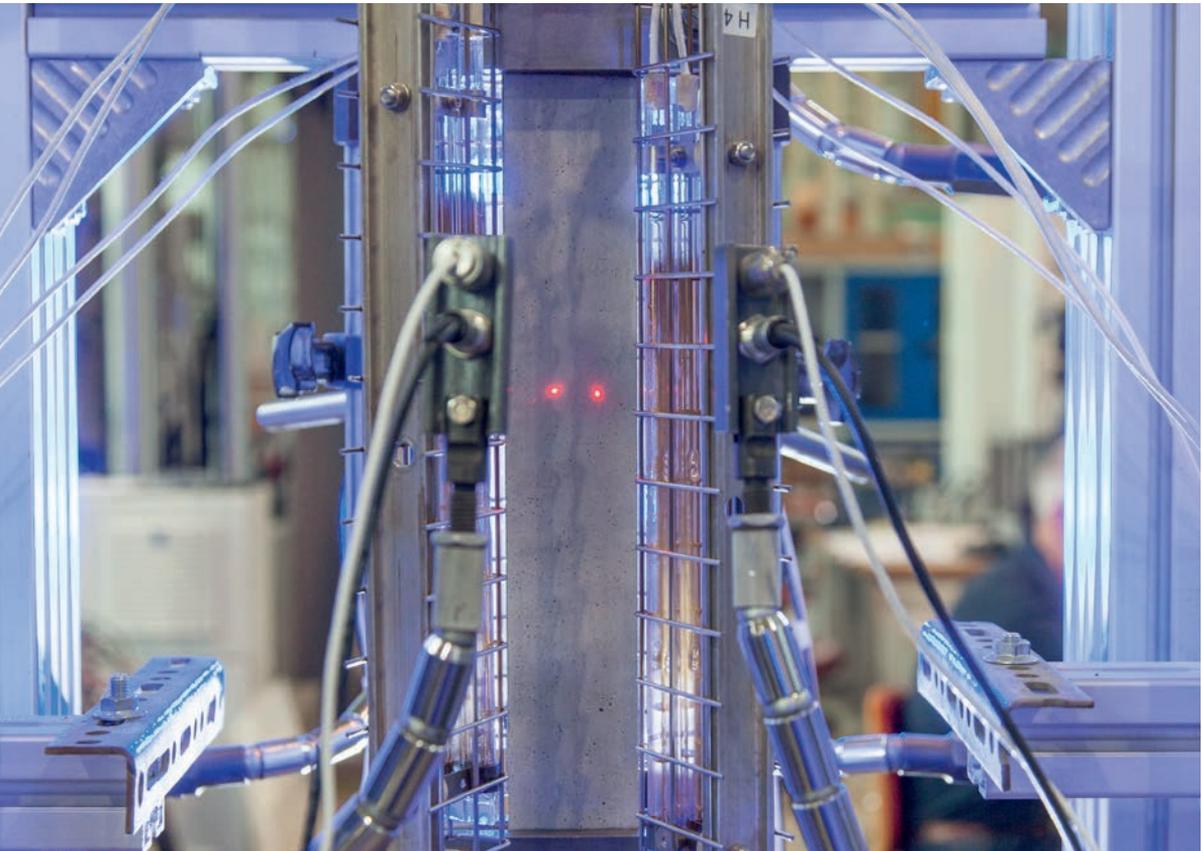


# FORSCHUNG AM IMB

## RESEARCH AT IMB

Das Institut für Massivbau (IMB) ist eines von elf Instituten an der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden. Am IMB wird in sechs Forschergruppen zu verschiedensten Themen rund um das Bauen mit Beton geforscht. Die Bandbreite reicht von der Modellierung des Zusammenwirkens einzelner Teilchen bis zur experimentellen Untersuchung von ganzen Bauteilen. Wir beschäftigen uns mit speziellen Materialeigenschaften von Beton, dessen Verbund zum Bewehrungsstahl, mit dem Einfluss unterschiedlichster Lastszenarien

*The Institute of Concrete Structures (in short: IMB) is one of eleven institutes at the Faculty of Civil Engineering at the Technische Universität Dresden. At the IMB, research is being carried out in six research groups on various topics relating to building with concrete. The range extends from the modelling of the interaction of individual particles to the experimental investigation of whole structural components. We deal with special material properties of various concretes from light-weight to ultra-high performance, the combination of concrete with different rein-*



Zugversuch an Carbonbeton-Probekörper mit Temperatureinrichtung | Tensile test on carbon reinforced concrete specimen with temperature device | Photo: Stefan Gröschel

vom statischen Standard-Kurzzeitversuch über Dauerversuche bis zum Impakt, mit optimierten Bauweisen für den Neubau und alternativen Methoden zum Erhalt des Bestehenden.

**Unsere aktuellen Projekte können folgenden Forschungsschwerpunkten zugeordnet werden:**

- Eigenschaften von Betonen verschiedenster Zusammensetzung,
- Verbund zwischen Bewehrung und Matrix,
- Spezielle Belastungsszenarien wie Impakt- und mehraxiale Beanspruchungen bei Material- und Bauteilversuchen,
- Simulation mit DEM und FEM, Erarbeitung von Stoffgesetzen und Bemessungsverfahren,
- Textile Bewehrungen – vor allem aus Carbonfasern – für Verstärkung und Neubau,
- In-situ-Belastungsversuche und Langzeitüberwachung von Bauwerken,
- Sonstige Forschungsthemen.

Neben der reinen Grundlagenforschung nehmen gemeinsame Projekte mit Praxispartnern einen hohen Stellenwert ein, denn dies ist die beste Methode, Forschungsergebnisse in die Baupraxis zu überführen. Auch der gegenseitige wissenschaftliche Austausch mit Forschern anderer Universitäten und Forschungseinrichtungen hat große Bedeutung. Gemeinsame Veranstaltungen und Gespräche bspw. im Rahmen der Treffen der Schwerpunktprogramme SPP 1542 und SPP 2020, im DFG-Graduiertenkolleg GRK 2250, in den verschiedenen Verbundvorhaben im Zwanzig20-Projekt C3 oder bei der Gremienarbeit bspw. zur Neuauflage der DAfStb-Hefte 220/240, im Unterausschuss Ultrahochfester Beton oder in der fib task group „History of Concrete Structures“ sind für alle Teilnehmer\*innen gewinnbringend und Ideenpool für neue, gemeinsame Vorhaben gleichermaßen.

*forcements, with the influence of different load scenarios – from static standardized short-term test to long term tests to impact – on the load bearing capacity, with optimized construction methods for new buildings and alternative methods for maintaining the existing.*

***Our current projects can be grouped into the following research areas:***

- *Properties of concretes of various composition,*
- *Bond between reinforcement and matrix,*
- *Special stress scenarios such as impact and multi-axial stresses in material and component tests,*
- *Simulation with DEM and FEM, development of constitutive laws and design procedures,*
- *Textile reinforcements – mainly made of carbon fibres – for strengthening of existing structures and for new constructions,*
- *In-situ load bearing tests and long-term monitoring of structures,*
- *Other research topics.*

*In addition to pure basic research, joint projects with industrial partners are of great importance as this is the best method to transfer research results into the building practice. Furthermore, mutual scientific exchange with researchers from other universities and research institutes is also of great importance. Joint meetings and discussions, for example, within the framework of the Priority Programmes SPP 1542 or SPP 2020 and of the Research Training Group GRK 2250, in the various collaborative research projects within the Twenty20 project C<sup>3</sup> or, e. g., the committees work on the new edition of the DAfStb booklets 220/240, the subcommittee on UHPC or in the frame of the fib TG 'History of Concrete Structures' are profitable for all participants and a pool of ideas for new joint projects.*



Entwurf des Ergebnishauses – CUBE | Design of the C<sup>3</sup> tech demo house CUBE | Visualization: HENN Architects, Iurii Vakaliuk

## ERGEBNISHAUS CUBE – ENTWURF FERTIG! C<sup>3</sup> TECH DEMO HOUSE CUBE – DESIGN COMPLETED!

Bereits im Herbst 2017 fertigten Bauingenieur- und Architekturstudenten der HTWK Leipzig, FH Aachen und der Università di Camerino, Ascoli, Italien verschiedene Basisentwürfe für das Carbonbetongebäude CUBE im Rahmen des International Design AAL-Workshops an der HTWK Leipzig an. Sie dienten als Anregung und Vorarbeit für das CUBE-Team und das Berliner Architekturbüro HENN, die den Auftrag für die Vorentwurfsplanung erhielten. Im Februar 2018 lagen vier konzeptionelle Entwürfe vor, die als „Haus im Haus“, „Roof“, „Hypar“ und „Twist“ titulierte wurden. Der Vorentwurf „Twist“ erfüllt dabei die gesetzten Randbedingungen am besten, wobei hier der Schwerpunkt besonders auf die Signalwirkung des Gebäudes gelegt wurde.

Im Sommer 2018 erfolgte eine genauere Aufarbeitung des Vorentwurfs hin zu einem Gebäude- und Objektentwurf, der alle Anforderungen hinsichtlich der gewünschten Funktionalität, dem C<sup>3</sup>-Ergebnispräsentationspotential und der sächsischen Bauordnung erfüllt.

*In autumn of 2017, students of civil engineering and architecture from the HTWK Leipzig, FH Aachen and the Università di Camerino, Ascoli, Italy developed and manufactured different basic concepts for the carbon-reinforced building – the C<sup>3</sup> tech demo house CUBE, in course of the “International Design AAL-Workshops”, which took place at the HTWK in Leipzig. The elaborated concepts served as inspiration and groundwork for the CUBE-Team and the architects from the office “HENN” from Berlin, who was contracted to prepare the preliminary design. In February 2018, four concepts called “House in House”, “Roof”, “Hypar” and “Twist” were presented. The “Twist” concept was the most suitable one to fulfil the defined requirements, whereby the focus was on the landmark effect of the building.*

*In summer 2018, the preliminary design was refined to a building design which met all requirements concerning functionality, appearance, C<sup>3</sup>-demonstration potential, and the Saxon building regulation. The building has a ground and gross floor area of approximately 24.1 × 7.2 m (174 m<sup>2</sup>) and of 220 m<sup>2</sup> respectively. The longitudinal sides*

Das Gebäude weist eine Grundfläche von ca.  $24,1 \times 7,2$  m ( $174 \text{ m}^2$ ) und eine Bruttogeschossfläche von  $220 \text{ m}^2$  auf. Die Längsseiten des Gebäudes sind nach Südwesten und Nordosten entlang des Zelleschen Weges ausgerichtet. Der Zugang zum Gebäude erfolgt östlich über die Einsteinstraße. Das Haus, das als Demonstratorbau und Versuchsstand konzipiert ist, besteht aus einem ebenerdigen Präsentationsraum mit einer Größe von ca.  $90 \text{ m}^2$  und einem zweietagigen Technik- und Labortrakt mit sanitären Einrichtungen, der eine Fläche von ca.  $100 \text{ m}^2$  einnimmt. Die untere Etage, die  $1,6$  m unterhalb des Geländes liegt, beherbergt die Gebäudetechnik und Versuchsstände für kleinformatige Carbonbetonbauteile. Das obere Geschoss besteht aus drei,  $11 \text{ m}^2$  großen Laborräumen, in denen nach Bauende bauklimatische und tragsicherheitsrelevante Messungen durchgeführt werden können. Die Laborräume weisen jeweils eine große Fassadeöffnung auf, die mit Photovoltaik- und Fensterelementen flexibel bestückt werden kann.

Der Labortrakt und der Präsentationsraum werden durch zwei etwa  $30$  m lange, verdrehte Wand-Dachelemente (Twist-Elemente) überdeckt, deren Breite bzw. Höhe zwischen  $4,0$  m und  $7,2$  m variiert. Die beiden Elemente stützen sich gegenseitig ab und sind geometrisch als Regelfläche in der Art gewählt, dass sie ein Lichtband entlang des Firstverlaufes erzeugen. Unter den Twist-Elementen bildet eine Glasfassade den Raumabschluss. Im Winter 2018/19 wird das Gebäude im Detail durchgeplant.



Lageplan des Ergebnishauses CUBE auf dem Grundstück am Zelleschen Weg | Plan view of  $C^3$  tech demo house CUBE on the property at Zellescher Weg | Graphic: AIB GmbH, Bautzen

*are oriented towards southwest and northeast along the road Zellescher Weg. The main entrance is located on the east side of the building close to the street Einsteinstraße. The building, which is designed as a technology demonstration house and test stand, consists of a presentation room on the ground level with a size of ca.  $90 \text{ m}^2$  and a split-level block over two floors ( $100 \text{ m}^2$ ) for building services, laboratories and sanitary facilities. The lower floor, which is located  $1.6$  m below the ground level, accommodates the building technology and some setups to test small-scale carbon reinforced concrete elements. The upper floor consists of three laboratories with a floor area of  $11 \text{ m}^2$  each. There, different building physical and load-bearing relevant measurements are going to be taken. The window surfaces of the laboratories can be equipped with photovoltaic panels or different window elements.*

*The split-level block and the presentation room are covered by two twisted carbon-reinforced concrete shell-like elements, which serve both as a wall and as a roof. They have a length of about  $30$  m and a varying width of  $4.0$  to  $7.2$  m and support each other. Their shape – given by a ruled surface – was chosen in that way, that natural light could be used in the presentation room through a top window-band. A glass façade under the twisted elements forms the spatial closure. In winter 2018, the building is planned in detail.*

#### ► Titel | Title

TP C3-V3.1-I: Weiterentwicklung, Untersuchung und Nachweissführung von Bauteilen und Tragwerken aus Carbonbeton sowie wissenschaftliche Begleitung von Entwurfs-, Konstruktions- und Bauüberwachungsprozessen im Carbonbetonbau im Vorhaben C3-V3.1: Ergebnishaushaus des  $C^3$ -Projektes – CUBE

*TP C3-V3.1-I: Advanced development, investigation and feasibility analysis of building components and structures made of carbon reinforced concrete as well as scientific support for the design, engineering and supervision processes of carbon concrete constructions as part of the joint research project C3-V3.1:  $C^3$  technology demonstration house – CUBE*

#### ► Förderer | Funding

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH /  $C^3$  – Carbon Concrete Composite

#### ► Zeitraum | Period

09.2017 – 04.2021

#### ► Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach

#### ► Leiter | Project manager

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach

#### ► Bearbeiter | Contributors

Dipl.-Ing. Michael Frenzel, Iurii Vakaliuk M.Sc.

#### ► Projektpartner | Project partners

7 Partner, davon 2 aus der Forschung, 4 Firmen und ein Verein



Mit Carbonbeton verstärkte Stahlbetonplatte nach Versagen | *Steel reinforced concrete slab strengthened with carbon reinforced concrete after failure* | Photo: Stefan Gröschel

## EIN REGELWERK FÜR CARBONBETON

### REGULATIONS FOR CARBON REINFORCED CONCRETE

Das Vorhaben C3-V1.2 hat sich das Ziel gesetzt, zum Ende des Projektes einen ersten Vorschlag für Regelwerke für Carbonbeton vorstellen zu können. Dazu sind eine Vielzahl an Partnern aus Forschung und Praxis erforderlich. Insgesamt arbeiten in diesem Vorhaben 17 Partner mit, somit ist es eines der größten Vorhaben im gesamten C<sup>3</sup>-Projekt. Das Projekt sollte ursprünglich Mitte dieses Jahres beendet sein, musste jedoch um 1 Jahr verlängert werden, um die umfangreichen experimentellen Untersuchungen und die Arbeiten an den Regelwerken zielführend abschließen zu können.

Nachdem zu Beginn des Projektes die Grundlagen zum Aufstellen eines Regelwerkes erarbeitet sowie eine Vielzahl an kleinteiligen Versuchen durchgeführt wurden, standen dieses Jahr die Versuchsplanung und Durchführung der Großbauteilversuche in Kooperation mit dem Vorhaben C3-V2.7 bevor. Dazu sollten die Erkenntnisse, die aus den kleinteiligen Versuchen gewonnen wurden, auf großformatige Bauteile übertragen werden. Im Speziellen

*The project C3-V1.2 set itself the goal to present a first proposal for regulations for carbon reinforced concrete by the project's end. Therefore, a multitude of associates from research and practice is required. In total, 17 partners are involved in this project making it one of the largest projects within the entire C<sup>3</sup>-project. It was originally scheduled to be completed by the middle of 2018, but had to be extended by one year to complete the extensive experimental investigations and to work on the regulations.*

*First, the foundation for setting up a set of rules was developed and a multitude of small-scale tests were carried out. This year, the experimental design and the implementation of the large-scale tests in cooperation with the project C3-V2.7 were imminent. For this purpose, the knowledge gained in the small-scale tests should be transferred to the large-scale components. This involves the bending and shear force strengthening of components with commercially available geometries. An extensive planning of the plates strengthened on bending as well as of the T-beams used to*

handelt es sich hierbei um die Biege- und Querkraftverstärkung von Bauteilen mit üblichen Geometrien. Im Zuge dessen musste zu Beginn die umfangreiche Planung der Platten, welche auf Biegung verstärkt werden, sowie der Plattenbalken, die zur Untersuchung der Querkraftverstärkung herangezogen werden, durchgeführt werden. Im Anschluss erfolgten die Herstellung der Grundkörper in einem Betonfertigteilwerk und anschließend die nachträgliche Verstärkung der Platten und Plattenbalken mit Carbonbeton. Dann wurden sowohl die unverstärkten großformatigen Platten als auch die verstärkten Platten, welche auf Biegung verstärkt wurden, experimentell auf Ihre Tragfähigkeit getestet. Mit Hilfe der Großbauteilversuche konnte eindrucksvoll gezeigt werden, dass mit einer dünnen Verstärkungsschicht von 10 mm Dicke die Traglasten im Vergleich zum unverstärkten Bauteil enorm gesteigert werden können. Die Prüfung der unverstärkten sowie verstärkten Plattenbalken, welche auf Querkraft verstärkt wurden, befindet sich derzeit noch in der Durchführung.

Darüber hinaus wird aktuell die Planung zur Verstärkung einer kompletten Brücke mit Carbonbeton vorangetrieben, was den Abschluss des Projektes darstellt. Im Zuge dessen soll eine bestehende Straßenbrücke aus Stahlbeton mit Carbonbeton verstärkt werden, bei welcher alle zuvor gewonnenen Erkenntnisse des Projektes Anwendung finden sollen. Die Verstärkungsarbeiten sind für Anfang/Mitte 2019 geplant.



Verstärkung von Plattenbalken mit Carbonbeton | *Strengthening of a steel reinforced concrete beam with carbon reinforced concrete* | Photo: Stefan Gröschel

*investigate the shear force strengthening had to be carried out at the beginning. This was followed by the base bodies' production in a prefabricated concrete plant and the subsequent strengthening of the slabs and T-beams with carbon reinforced concrete. Afterwards, the carrying capacity of both the unstrengthened large-sized slabs and the slabs strengthened on bending were experimentally examined. With the help of the large-scale tests, it was demonstrated impressively that with a thin reinforcement layer of 10 mm thickness, the load capacities can be increased enormously compared to the unstrengthened component. The examination of the unstrengthened and the shear force strengthened T-beams are currently still in process.*

*In addition, plans to strengthen a complete bridge with carbon reinforced concrete are currently promoted to represent the project's completion. An existing road bridge made of reinforced concrete is to be strengthened with carbon reinforced concrete trying to apply all results gathered during this project. Strengthening works are scheduled for early/mid 2019.*

► **Titel | Title**

TP C3-V1.2-I-a: Erstellung und Überprüfung von Sicherheits- und Bemessungskonzepten für Carbonbeton zur Erstellung eines normativen Regelwerkes im Verbundvorhaben C3-V1.2: Nachweis- und Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen

*TP C3-V1.2-I-a: Development and review of design and safety concepts for carbon concrete to formulation standards as part of the joint research project C3-V1.2: Verification and testing concepts for standards and approval*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

01.2016 – 04.2019

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Angela Schmidt, Dipl.-Ing. Kristina Farwig, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

► **Projektpartner | Project partners**

17 Partner, davon 7 aus der Forschung, 2 Verbände und 8 Firmen



Lagerung von Verbundprobekörpern aus Carbonbeton unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer | Storing of specimen under controlled conditions in a climate chamber | Photo: Thilo Schoch

## QUALITÄTSSICHERUNG VON CARBONBETON

### QUALITY ASSURANCE OF CARBON REINFORCED CONCRETE

Das Forschungsvorhaben C3-E „Qualitätssicherung von Carbonbeton“ erforscht die Zusammenhänge zwischen der Herstellung und den Materialeigenschaften von Carbonbeton. Da es sich um einen Baustoff handelt, gelten besondere Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit sicherheitsrelevanter Materialeigenschaften. Bei Carbonbeton wird die herkömmliche Stahlbewehrung durch eine Bewehrung aus Kohlefasern ersetzt, welche somit verantwortlich für die Standsicherheit der Gebäude ist. Eine Qualitätssicherung von Carbonbeton stellt die Materialeigenschaften der Bewehrung, des Betons sowie des Verbundes zwischen beiden Komponenten durch die Vorgabe und Überprüfung der Herstellungsparameter sicher.

Um für das sogenannte „Referenztextil“ des Forschungsprojekts „C<sup>3</sup>-Carbon Concrete Composite“ eine derartige Qualitätssicherung vorschlagen zu können, wird der gesamte Herstellprozess von Carbonbeton mithilfe einer eigens dafür angelegten Datenbank dokumentiert. Ziel dieser digitalen Verknüpfung der Versuchsergebnisse mit den Herstellungsparametern aller Zwischenprozessschritte ist die anschließende Untersuchung des Einflusses

*The research project C3-E “Development of a quality management system for the production of carbon reinforced concrete” focuses on the correlation between the manufacturing process and the material properties of carbon reinforced concrete. In carbon reinforced concrete, the reinforcing elements are made of carbon fibres instead of steel, and hence they play a significant role in the structural stability and reliability of the building. As high demands are placed on the material, consistent material behaviour is very important within the construction industry. Quality assurance of carbon reinforced concrete guarantees the material properties of the reinforcement, the concrete and the interaction behaviour between the components by defining and testing the manufacturing parameters.*

*Therefore, the whole manufacturing process is being modelled in a newly developed database where the material properties of carbon reinforced concrete are linked to the manufacturing process. Based on these data, the analysis of the influence of the manufacturing process on the material behaviour of carbon reinforced concrete can be done very easily and accurately.*

einzelner Prozessparameter auf das Materialverhalten von Carbonbeton. Der Input von Daten der Textilherstellung wird mithilfe einer direkten Maschinenanbindung am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden in die Datenbank realisiert. Begleitend dazu findet eine manuelle Verknüpfung der Daten zu den händischen Prozessen der Betonage und Probekörperfertigung im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden statt. Eine direkte Anbindung der Maschinen ist in diesem Fall nicht möglich.

Um die Einflüsse auf das Materialverhalten zu identifizieren, werden u. a. Garnzugprüfungen am Referenztextil sowie Dehnkörperversuche und Auszugversuche an Prüfkörpern aus Carbonbeton durchgeführt. Weiterhin werden die geometrischen Details des Referenztextils dokumentiert sowie ein Vorschlag von Sichtprüfungen des Textils zur Qualitätssicherung erarbeitet.

Eine Sammlung von Prüfanweisungen, Hinweisen zur Herstellung und Lagerung der Halbzeuge und Probekörper sowie eine erste Datenbank für die Referenzversuche werden das Ergebnis dieses Vorhabens sein und sollen als Grundlage bzw. Vorlage für die weitere Forschung an Carbonbeton dienen.



Versuchsvorbereitung: Sägen von Verbundprobekörpern zur späteren Bestimmung der Materialkennwerte | *Preparation of material tests: Cutting of specimen in order to identify the material properties of carbon reinforced concrete* | Photo: Jörg Singer

*The data input is done by a direct digital connection between the database and the textile machines of the Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology. This way, there is no additional documentation effort needed for this part of textile manufacture. The data input of the manual manufacture process of the compound material is done by hand as it has not yet been automated.*

*In order to be able to correlate the material behaviour to the manufacturing process, uniaxial tensile tests, textile pull-out tests, bending tests etc. are done as well as a description of geometric details of the yarn in the textile.*

*At the end of the project, there will be an overview of tests, material handling information, stocking conditions and a proposal for sight testing of the textile as well as a link to the existing database regarding the reference textile.*

► **Titel | Title**

TP C3-E-I-a: Entwicklung einer prozessintegrierten Qualitätssicherung zur Fertigung von Carbonbeton im Verbundvorhaben C3-E-I: Qualitätssicherung Carbonbeton

*TP C3-E-I-a: Development of process-integrated quality assurance of carbon concrete as part of the joint research project C3-E-I: Quality assurance of carbon concrete*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

05.2017 – 04.2019

► **Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Leiter Teilvorhaben | Project manager**

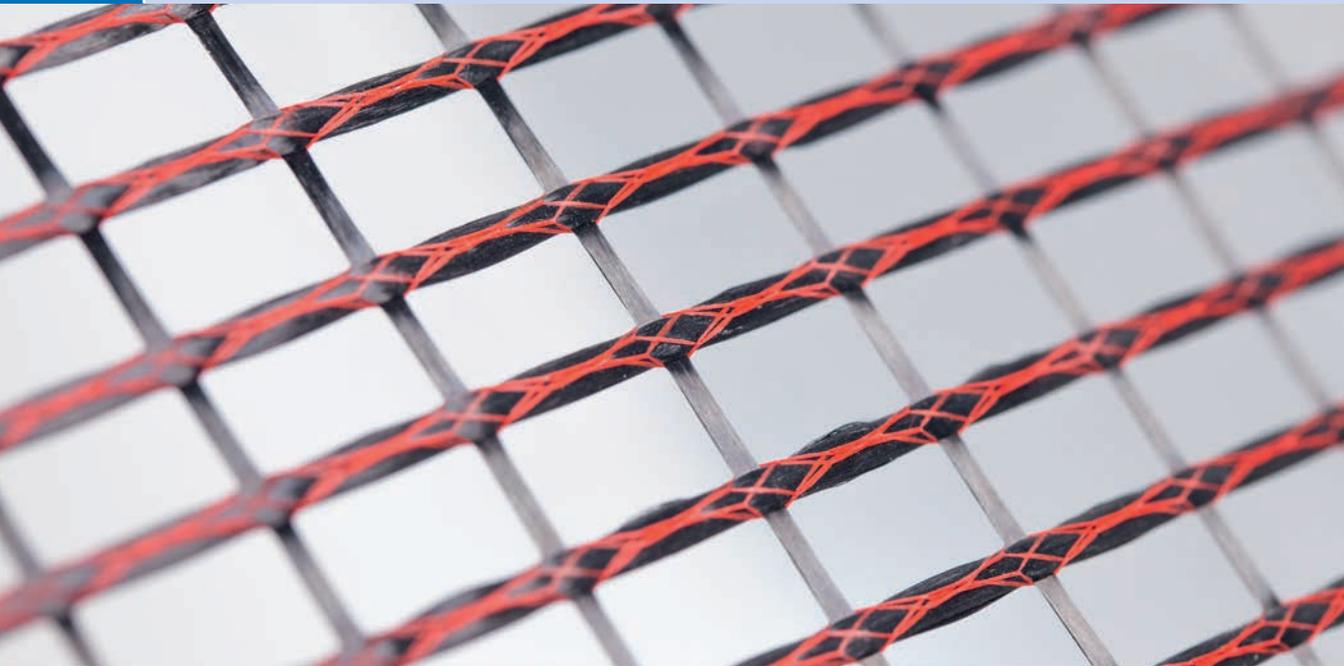
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze  
Dipl.-Ing. Jan Panzer

► **Projektpartner | Project partners**

Institut Für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden | Institut für Werkzeugmaschinen, TU Dresden



Referenzmaterial Fertigung V.Fraas | Reference material by V.Fraas | Photo: Stefan Gröschel

## REFERENZTEXTIL FÜR DAS C<sup>3</sup>-PROJEKT

### REFERENCE TEXTILE FOR THE C<sup>3</sup>-PROJECT

Basierend auf den Entwicklungen im Basisvorhaben C3-B1 und weiterführenden Arbeiten der beteiligten Unternehmen konnte zum Jahresende 2017 das Referenzmaterial für textile Carbonbewehrungen, strukturell angelehnt an die TUDALIT-Bewehrung nach abZ Z-31.10-182, gefertigt werden. In 2018 folgten umfangreiche Tests zu dieser Fertigung sowie die Belieferung der C<sup>3</sup>-Projekte.

Mit diesem Textil, gefertigt aus *carbon heavy tows* von Teijin Carbon, getränkt mit einer polymerbasierten Tränke von CHT auf den Maschinen von V.Fraas, werden in 2018 und den kommenden Jahren umfangreiche Informationen gesammelt, um das Material dann allumfassend im Innen- und Außenbereich einsetzen zu können. Es wird angestrebt, die Bemessungsfestigkeit gegenüber der TUDALIT-Zulassung deutlich zu erhöhen und gleichzeitig die Verankerungslängen zu verringern. Somit kann ein wirtschaftlicheres Arbeiten bei der Verstärkung und der Bewehrung neuer Bauteile erreicht werden. Die hierzu notwendigen Ver-

*Based on the developments in the C3-B1 project and further efforts of the companies involved in the project, a reference material for carbon textile reinforcements, based on the structure of the TUDALIT reinforcement according to abZ Z-31.10-182, was produced at the end of 2017. In 2018, there were extensive tests for this initial production and also the various projects of the C<sup>3</sup> were supplied.*

*With this textile, carbon-heavy tows manufactured by Teijin Carbon, impregnated with a polymer-based coating from CHT and produced on the machines of V.Fraas, a lot of information was gathered in 2018, to enable different fields of application, suitable for outdoor environmental conditions. The aim is to almost double the design strength compared to that of the TUDALIT approval. And as a result, to achieve a more economical work in the strengthening and reinforcement of new components. The necessary tests are carried out, not only at the Institute of Concrete Structures but also at the facilities of the involved partners in the C<sup>3</sup>-pro-*

suche werden nicht nur am IMB, sondern auch bei beteiligten Partnern im C<sup>3</sup>-Projekt durchgeführt. Im Projekt C3-E-I: Qualitätssicherung Carbonbeton werden alle Fertigungs- und Versuchswerte gesammelt und übergreifend ausgewertet.

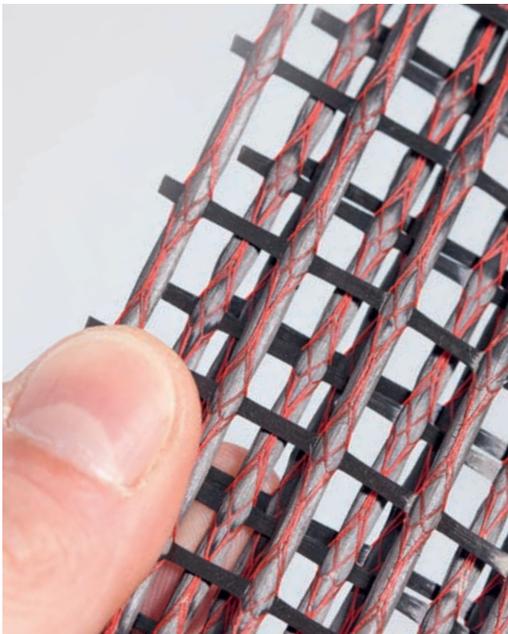
Aktuell kann das Material als Plattenware bei V.Fraas hergestellt werden, der TUDATEX ist aber auch schon eine Fertigung von gerollter Ware gelungen, ohne Einbußen bei der Festigkeit und beim Verbundverhalten feststellen zu können. Eine zweite, aus den gleichen Materialien gefertigte Struktur wird als biaxiale Geometrie mit *heavy tows* gleicher Feinheit in Kett- und Schussrichtung und ca. 25 mm Achsabstand untersucht, um auch mit größerem Zuschlagkorn in der zugehörigen Betonmatrix arbeiten zu können. Analog dem Sprachgebrauch im Stahlbetonbau stehen dann eine Q-Matte (biaxial) und eine R-Matte (einaxial nach abZ TUDALIT) zur Verfügung.

Parallel dazu wird an der Bereitstellung eines zweiten Materials, basierend auf einer Lefatex-Tränke, für die TUDALIT-Zulassung gearbeitet. Die Hauptversuche hierzu sind vorbereitet und werden in 2019 durchgeführt.

*ject, to assess, for example, the fire behaviour of the material. Through the E-project quality management, all production values and test values are collected and evaluated carefully.*

*Currently, the material can be produced as flat sheet material at V.Fraas, TUDATEX have already succeeded in manufacturing a rolled textile, without loss of strength and bonding behaviour. In order to work with larger aggregates in the associated concrete matrix, a second textile structure, manufactured from the same materials, is studied as a biaxial structure, with heavy tows of equal yarn count in warp and weft direction and about 25 mm yarn distance. Analogous to the linguistic usage in reinforced concrete construction, a Q-mat (biaxial) and an R-mat (uniaxial, acc. to abZ TUDALIT) are available.*

*Alternatively, a second material based on a Lefatex impregnation within the TUDALIT approval is currently in development. The main experiments are prepared and will be carried out in 2019*



Referenzmaterial C<sup>3</sup>-80 °C Fertigung V.Fraas | Reference material C<sup>3</sup>-80 °C by V.Fraas | Photo: Stefan Gröschel

► **Titel | Title**

Referenztextil für das C<sup>3</sup>-Projekt

*Reference textile for the C<sup>3</sup>-project*

► **Förderer | Funding**

Institut für Massivbau, TU Dresden

► **Zeitraum | Period**

02.2017 – 01.2018

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Harald Michler,  
Dipl.-Ing.(FH) Frank Neumann,  
Dipl.-Ing. Jan Panzer,

► **Projektpartner | Project Partners**

Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden | V.Fraas Solutions in Textile, Helmbrechts | TUDATEX GmbH, Dresden | Teijin Carbon Europe GmbH, Wuppertal | CHT Germany GmbH, Tübingen



Händisches Freilegen von Textilien | Manual uncovering of textiles | Photo: Sebastian May

## WOHIN MIT DEM REST?

### WHAT TO DO WITH THE WASTE?

Eine nachhaltige und ressourcensparende Wertstoffkette muss auch über den Bauteillebenszyklus hinaus funktionieren und sinnvoll sein. Das Forschungsprojekt C3-V1.5 beschäftigt sich mit genau dieser Herausforderung. Ein sogenanntes Downcycling der Ausgangsstoffe Carbon und Beton sollte möglichst vermieden werden, da hierbei die ursprüngliche Qualität und die exzellenten Eigenschaften des hochwertigen Baustoffes verloren gehen. Nur bei einer Wiederverwendung oder einer effizienten stofflichen Weiterverwertung der Primärmaterialien kann von einem ressourcenschonenden Recycling und damit von einer nachhaltigen Verwendung der Materialien gesprochen werden.

Neben der Konzeptionierung und Herstellung von schlanken, materialeffizienten Neubauteilen wurde auch die Nachnutzung beziehungsweise Wiederverwendung des Baumaterials Carbonbeton in den vergangenen drei Jahren tiefgründig untersucht. Des Weiteren wurden Ansätze zum Fügen der dünnen Car-

*A sustainable and resource-efficient material chain must be reasonable also beyond the component life cycle. The research project C3-V1.5 deals with exactly this challenge. A so-called downcycling of the primary carbon and concrete components needs to be prevented, otherwise the building material loses its initial quality and superior properties. Reuse or efficient material utilisation of the primary material components equates a resource-conserving recycling and a sustainable use of materials.*

*In addition to the conceptual design and production of slender, material efficient new components, the reuse and recycling of the building material carbon reinforced concrete has been studied for the last 3 years. Furthermore, approaches for a joining technology were considered theoretically and then tested under laboratory conditions. The idea behind this is to separate durable carbon reinforced concrete components after primary use and to reassemble them for a second use. For this purpose, thin plates were concreted in the laboratory*

bonbetonbauteile theoretisch betrachtet und anschließend praktisch unter Laborbedingungen geprüft. Die Idee dahinter ist, langlebige Carbonbetonbauteile nach einer primären Nutzung zu trennen und an anderer Stelle zur erneuten Nutzung als Einheit wieder zusammenzufügen. Dazu wurden dünne Platten mit einem Carbondtextil und einem Verbindungselement im Labor betoniert, kraftschlüssig verspannt und anschließend auf die maximale Tragfähigkeit in Längs- und Querrichtung zur Koppelstelle geprüft. Ein frühzeitiges Versagen konnte dabei nicht festgestellt werden. Einer praxistauglichen Anwendung steht also nichts im Weg.

Darüber hinaus wurden die im Jahresbericht 2017 beschriebenen abgebrochenen Großbauteile in ihre Komponenten Beton und Carbonbewehrung separiert und zur weiteren Verwendung in kleinteiligen Versuchen von den Partnern genutzt. Dabei wurden die recycelten Carbondtextile sowie geschredderte Carbongarne erneut einbetoniert und in Standardversuchen getestet. Die Versuchsergebnisse und Erkenntnisse waren dabei teilweise erfolgversprechend, zeigten aber auch noch weiteren Forschungsbedarf. Darauf aufbauend werden im Rahmen des Forschungsprojekts C3-V-I.13 „Recycling“ wiederaufbereitete Carbonfasern erneut zu Carbongarnen versponnen und anschließend Textilien hergestellt und getestet.

*with a carbon textile and a connecting element, clamped force-fit and then tested for maximum load capacity in the longitudinal and transverse direction to the coupling point. An early failure could not be detected. Therefore, nothing stands in the way of using it practically.*

*The large discontinued components from the annual report 2017 were separated into their individual components carbon reinforcement and concrete and then used in small-sized tests by partners. The recycled textiles and the shredded textile threads were re-concreted and tested in standard tests. The test results and findings were partly promising and indicate further research potential. On this base there will be more producing and testing of recycled carbon textiles in the C3-V-I.13 project.*



Zug- und Querkraftüberprüfung von zwei gestoßen Carbonbetonplatten | *Testing of tensile and transverse force connection of two carbon plates* | Photo: Franz Bracklow

► **Titel | Title**

TP C3-V1.5-I-d: Konzeption Großbauteile und Lastenheft „Herstellung“ im Verbundvorhaben C3-V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von C<sup>3</sup>-Bauteilen

*TP C3-V1.5-I-d: Conception of large-scale structures and standard "production," as part of the joint research project C3-V1.5: Demolition, dismantling and recycling of C<sup>3</sup> components*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: Jülich / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

03.2016 – 06.2018

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Sebastian May

► **Projektpartner | Project partners**

8 Partner, davon 3 aus der Forschung und 5 Firmen



Herstellung eines Betonelements mit integrierter Energiespeicherung | *Manufacturing of a concrete element with integrated energy storage* | Photo: Philipp Riegelmann

## ENERGIESPEICHERNDE CARBONBETON-ELEMENTE

### *BUILDING INTEGRATED ENERGY STORAGE*

Mit der zunehmenden Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien treten Fragestellungen auf, die bei herkömmlichen Energieträgern wie Kohle oder Erdgas keine große Rolle spielten. Elektrische Energie, welche durch Solar- und Windkraftanlagen gewonnen wird, unterliegt starken zeitlichen Schwankungen. Weiterhin ist der Transport elektrischer Energie über große Entfernungen mit einem großen Aufwand und hohen Verlusten verbunden. Ein „energiespeicherndes Haus“ könnte einen Ausgleich zwischen Energieerzeugung und Verwendung im gesamten Gebäudebetrieb erzielen und eine dezentrale Energieversorgung ermöglichen.

In diesem Kontext werden innerhalb dieses Forschungsvorhabens Ansätze entwickelt, um energiespeichernde Materialien in Bauprodukte zu integrieren. Diese Ansätze sehen vor, die textile Bewehrung unmittelbar als Stromspeicher bzw. -leiter einzusetzen und Beton in ge-

*To meet the worldwide growing need for living space and green energy, buildings have to be aesthetic, energy-efficient and economically viable. Our hypothesis: by integrating renewable technologies into the prefabrication process such objectives may be reached. The installation of renewables after building completion leads to complex and time-consuming installation and planning processes as various interdependent installations have to be coordinated. On the contrary, the integration of renewables at a very early stage of the overall building process through the integration of renewables into the prefabrication process enables time and cost-effective implementation processes.*

*Energy storage enables to counterbalance fluctuations in energy generation and energy demand. A high level of energetic self-sufficiency on building scale that is based on renewable energies usually requires electric storage capacity. For this reason, energy storage is a*

ring belasteten Bereichen durch energiespeicherndes Material zu ersetzen. Als wichtige Leitlinien im Vorhaben sollen für die Energiespeicherung bevorzugt einfache, kostengünstige und robuste Verfahren und Materialien verwendet werden. Hier wurden sogenannte Superkondensatoren als besonders vorteilhaft identifiziert.

Zu Beginn des Vorhabens stehen insbesondere die Konzeption verschiedener Konstruktionsvarianten sowie deren Optimierung bezüglich Tragfähigkeit und Speicherleistung im Vordergrund. Eine besondere Herausforderung besteht darin, sowohl die Bauteile als auch deren Teilkomponenten modular und demontierbar zu gestalten, um eine nachträgliche Austauschbarkeit zu ermöglichen.

Das Institut für Massivbau ist insbesondere an der Konstruktionsentwicklung sowie der Untersuchung der Tragmechanismen der entwickelten Bauelemente beteiligt. Die Bauelemente aus Carbonbeton sollen – trotz integrierter Energiespeicher – den Anforderungen an Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit herkömmlicher Bauprodukte genügen. Einflüsse des integrierten Speichermaterials, insbesondere auf die Biege- und Querkrafttragfähigkeit, werden theoretisch sowie experimentell untersucht. Erste Versuche zeigten bereits, dass trotz integrierter Speichermaterialien eine ausreichende Tragfähigkeit gewährleistet werden kann. Neben den technischen Herausforderungen sind weiterhin Fragestellungen bezüglich des Herstellungsprozesses, spezifischer Anwendungsszenarien sowie einer wirtschaftlich sinnvollen Umsetzung zu beantworten.



Biegeversuch eines Betonelements mit integrierten Funktionskörpern | *Bending test of a concrete element with integrated functional elements* | Photo: Philipp Riegelmann

*key device for a viable decentral power supply from fluctuating renewable sources. The overall objective of this project is to enable the integration of energy storage components into the prefabrication process through the development of highly prefabricated, energy storage concrete elements.*

*As an important guideline, easy, robust and cost-effective processes and materials shall be used. In accordance with this approach, supercapacitors were identified as advantageous storing elements. Carbon reinforced concrete enables robust and durable constructions with easy formability that enables the integration of further components into the structure. Furthermore, the electrical conductivity of carbon provides the opportunity to use the reinforcement material as conductors. Particular emphasis is placed on the development of different design variations and their optimization concerning the load bearing and storage capacity. One of the special challenges is to design construction that is easy to maintain.*

*The Institute of Concrete Structures participates in the construction development and in the determination of the bearing mechanisms of the prefabricated elements. The influence of the integrated storage material on the load-bearing capacity and serviceability will be investigated. Among fundamental technical questions regarding the material, practical-oriented questions like production methods, specific application scenarios and economic aspects will be investigated.*

► **Titel | Title**

TP C3-V4.6-II: Konstruktionskonzept eines funktionsintegrierten Bauelements als Teilvorhaben im Verbundvorhaben C3-V4.6: Energiespeichernder Carbonbeton

*TP C3-V4.6-II: Carbon Concrete with integrated electrical energy storage as part of the joint research project C3-V4.6: Energy-storing carbon reinforced concrete*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

04.2018 – 03.2020

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

► **Projektpartner | Project partners**

3 Partner, davon 1 aus der Forschung und 2 Firmen



Elementwand aus Carbonbeton | Element wall made of carbon reinforced concrete | Photo: Matthias Tietze

## BAUSYSTEM 2.0 FÜR CARBONBETON

### BUILDING SYSTEM 2.0 FOR CARBON REINFORCED CONCRETE

Um die Markteinführung von Produkten auf Basis des neuen Baustoffs Carbonbeton zu erleichtern und zu beschleunigen, haben sich in diesem Projekt Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, um ihre jeweiligen speziellen Erfahrungen für die Produktentwicklung zu bündeln.

Vor dem Hintergrund verstärkter Forderungen nach höherer Kosten- und Energieeffizienz neu gebauter Gebäude zielt das Vorhaben auf die Entwicklung einer lebenszyklusoptimierten, modularen Bauweise. Dazu gehört auch eine entsprechende Planungsweise, die Bauherren und Nutzern frühzeitig eine visualisierte, nach individuellen Nachhaltigkeitskriterien optimierte Entscheidungsgrundlage anbietet. Dies erfolgt durch die Integration von Preis- und Kosteninformationen sowie Energieverbrauchs- und Rohstoffdaten innerhalb eines zu entwickelnden Gebäudekonfigurator, welcher Planungen nach verschiedenen Nachhal-

*In order to facilitate and accelerate the market launch of products based on the new building material carbon concrete, companies and research institutions have joined forces in this project to bundle their respective unique expertise for product development.*

*Against the background of increased demands for higher cost and energy efficiency in newly constructed buildings, the project aims to develop a life cycle-optimized, modular design. This also includes a corresponding planning approach, which offers building owners and users a visualized basis for decision-making at an early stage, optimized according to individual sustainability criteria. This is achieved by integrating price and cost information as well as energy consumption and raw material data within a building configurator to be developed, which evaluates and optimises planning according to various sustainability criteria. The aim of the optimization is to achieve the highest*

tigkeitskriterien bewertet und optimiert. Als Zielstellung der Optimierung wird dabei eine möglichst hohe Kosteneffizienz im gesamten Gebäudelebenszyklus bei gleichzeitig ökologischer sowie nachhaltiger Gestaltung des Gebäudes angestrebt. Diese Anforderungen lassen sich mit verschiedenen Ansätzen erfüllen. Dazu gehören eine hocheffiziente Planung, das Bauen mit vorgefertigten Elementen und – eng damit verbunden – das modulare Bauen.

Das im Gebäudekonfigurator verankerte Planungssystem soll dabei durch die Kombination neuartiger Werkstoffe wie Carbonbeton, optimierten Bauteilen und darauf abgestimmten Bauweisen sowie einer weitgehend automatisierten Fertigung und einer integrierten Wertschöpfungskette eine Gebäudeplanung nach variablen Zielkriterien ermöglichen. Diese Zielkriterien, wie beispielsweise Kosten- oder Ressourceneffizienz, können dabei frei variiert werden.

Zur Entwicklung des Bausystems 2.0 für Carbonbeton werden einzelne Teilziele in Teams von Projektpartnern bearbeitet. Dabei ist die Entwicklung geeigneter Bauteile sowie Bauarten ein Teilziel, welches parallel zu der Programmierung des Konfigurators für die Planung, Fertigung und Montage läuft. Die Etablierung der neuen Wertschöpfungskette für das Bausystem 2.0 stellt das dritte Teilziel dar.



Elementierung von Wand- und Deckenelementen im Gebäudekonfigurator | *Elementation of wall and ceiling elements in the building configurator* | Graphic: Jörg Weselek

*possible cost efficiency over the entire building life cycle while at the same time designing the building ecologically and sustainably. These requirements can be met with various approaches. These include highly efficient planning, construction with prefabricated elements and - closely related to this - modular construction.*

*The planning system anchored in the building configurator will combine innovative materials such as carbon reinforced concrete, optimized building components and coordinated construction methods, as well as a largely automated production and an integrated value-added chain to enable building planning according to variable target criteria. These target criteria, such as cost or resource efficiency, can be freely varied.*

*For the development of the construction system 2.0 for carbon reinforced concrete, individual goals are undertaken by the teams of the project partners. Besides such goals, the development of suitable components and types of construction is also an important goal that runs parallel to the programming of the configurator for planning, production and assembly. Within the planned work, the establishment of the new value chain for the building system 2.0 is also included.*

- ▶ **Titel | Title**  
 Bausystem 2.0 für Carbonbeton - Bezahlbares Bauen durch eine digitalisierte und automatisierte Wertschöpfungskette  
*Building system 2.0 for carbon concrete - Affordable construction through a digitized and automated value chain*
- ▶ **Förderer | Funding**  
 Europäische Union (Mittel des ESF) und Freistaat Sachsen
- ▶ **Zeitraum | Period**  
 05.2018 – 04.2021
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
 Dipl.-Ing. Daniel Ehlig
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
 NU Informationssysteme GmbH, Riesa | AIB GmbH, Bautzen |  
 BWB, Hohnstein | EnergieAutark GmbH, Vetschau |  
 Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig |  
 Institut für Bauklimatik, TU Dresden



Es war ein langer Weg, bis die finale Form des Thermoankers (vorn im Bild) gefunden war | It was a long way to find the final geometry of the thermal anchor (in the front) | Photo: Stefan Gröschel

## THERMOANKER – INNOVATIV UND TRAGFÄHIG! THERMAL ANCHOR – SMART AND STABLE!

Das Verbundvorhaben C3-V1.1 „Entwicklung von Herstell- und Verarbeitungsprozessen von Carbonbeton“ hatte zum Ziel, Markteintrittsbarrieren für Carbonbeton zu minimieren bzw. gänzlich zu eliminieren. Dies betrifft auch die automatisierte Herstellung von (Halb-)Fertigteilen im Betonfertigteilwerk. Die Anpassung der für Stahlbetonstrukturen bewährten Fertigungsprozesse an dünnere Betonelemente und engmaschigere, nichtmetallische Bewehrung war allerdings nicht die einzige Herausforderung.

Eine Thermodoppelwand diente als Referenzbauteil im Projekt. In der Stahlbetonvariante besteht diese Wand aus zwei Betonschalen von sechs bis sieben Zentimetern Dicke. Zwischen diesen Schalen befinden sich eine werksseitig aufgetragene Wärmedämmung und ein Hohlraum zur Verfüllung mit Ortbeton. Die Verbindung beider Schalen erfolgt über einen sogenannten Thermoanker. Das Ziel war es, die Stahlbetonschalen durch nur drei Zentimeter dünne Carbonbetonschalen zu ersetzen. Da

*The aim of the joint research project C3-V1.1 „Development of manufacturing and workmanship processes of carbon reinforced concrete“ was to minimize or rather completely eliminate market entry barriers for carbon reinforced concrete (CRC). An example of this is the automation of the manufacturing process of precast and semi-finished elements. However, the adaptation of the well-known manufacturing processes from steel reinforced concrete to thinner concrete structures and close-meshed, non-metallic reinforcement was not the only challenge.*

*A double wall was used as a reference structure within the project. Built out of steel reinforced concrete, this wall consists of two concrete shells with a thickness of six to seven centimetres. In between these shells, there is thermal insulation and a cavity to be filled by in-situ concrete. The connection of the two shells is done by a thermal anchor. However, the goal is to replace the common shells by CRC shells with a thickness of just three centimetres. As*

diese Einbindetiefe für herkömmliche Thermoanker jedoch zu gering ist, wurde im Projekt ein neuartiger Thermoanker entwickelt. Mit dem Entwurf des Thermoankers galt es, mehrere Hürden gleichzeitig zu überwinden. Zum einen sollte dieser so ausgeführt werden, dass er herstellertechnologisch optimal in den vollautomatischen Fertigungsprozess integriert werden kann und geometrisch an die engmaschige textile Bewehrung angepasst ist. Zum anderen musste er bauphysikalischen und mechanischen Anforderungen genügen.

In mehreren Herstellversuchen im Fertigteilwerk wurde die Geometrie des Thermoankers optimal an den Herstellprozess angepasst, sodass letztendlich dessen Tragfähigkeit in Laborversuchen untersucht werden konnte. Hierfür wurde an kleinteiligen Probekörpern der Verbund beider Enden des Einbauteils zum Beton in Längszug-, Längsdruck- und Querszugversuchen untersucht. Da die Belastung des Bauteils im Fertigteilwerk bereits am ersten Tag nach der Herstellung erfolgen kann, wurden, zusätzlich zu den üblichen 28 Tagen, ausgewählte Versuche bereits einen Tag nach der Herstellung durchgeführt. Um die Ergebnisse einordnen zu können, erfolgten zusätzlich Versuche am Thermoanker für Stahlbetondoppelwände in einer dünnen Carbonbetonschicht. Diese Versuche ergaben, dass mit dem neuen Thermoanker fast doppelt so hohe Kräfte übertragen werden können wie im Vergleich zu der herkömmlichen Stahlbetonlösung.



Ein Ende des Thermoankers dient gleichzeitig als Abstandhalter für die textile Bewehrung, eine handelsübliche Klemme kann zur Befestigung genutzt werden | *One end of the thermal anchor can also be utilized as spacer for the textile reinforcement, therefore a commercial clamp can be used as fastening* | Photo: Juliane Wagner

*the bonding depth is reduced, the conventional thermal anchors cannot be used anymore and a new thermal anchor has to be developed. When designing the new anchor, a few conditions had to be taken into account. On the one hand, the anchor had to be adapted to the manufacturing process and the geometry of the textile mesh. On the other hand, it had to withstand structural, thermal and environmental loads.*

*After a lot of manufacturing tests in a precast factory, the ideal geometry for the anchor was found. Then, laboratory tests could be started. In small-sized specimens, the bond of both ends of the anchor was tested under longitudinal tension, compression and transversal tension. As the loading of a structure in a precast factory can occur right on the first day after the manufacturing, selected tests were done at the age of one day, in addition to the common tests after 28 days. To evaluate the results further, tests were done with the common thermal anchor for steel reinforced structures, in a thin CRC shell. Based on the test's results, it was found out that the new anchor transmits nearly twice of the loads of when compared to that of the common anchor.*

► **Titel | Title**

TP C3-V1.1-X-d: Untersuchung von Nachbehandlungsmethoden zur Sicherstellung einer dauerhaften Oberfläche und Beitrag zur Konstruktion von An- und Einbauteilen für Carbonbeton im Verbundvorhaben C3-V1.1: Entwicklung von Herstell- und Verarbeitungsprozessen von Carbonbeton

*TP C3-V1.1-X-d: Investigation of post-treatment methods to ensure a durable surface and contribution to the construction of built-in parts for carbon reinforced concrete as part of the joint research project C3-V1.1: Development of manufacturing and workmanship processes of carbon reinforced concrete*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

12.2015 – 03.2018

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Juliane Wagner

► **Projektpartner | Project partners**

15 Partner, davon 7 aus der Forschung und 8 Firmen



Außenansicht des autartec®-Hauses | External view of the autartec® house | Photo: Elke Sähn (Fraunhofer IVI)

## AUTARTEC® – DEMONSTRATOR IN BAUPHASE

### AUTARTEC® – CONSTRUCTION PHASE STARTED

Nachdem zwischen 2014 und 2017 die einzelnen Komponenten für das autartec®-Haus konzeptioniert, erforscht und schließlich gebaut wurden, findet seit 2018 der Aufbau des autartec®-Demonstrators statt. Dazu wurden am Bergheider See in Brandenburg zuerst die Pontons aus Stahl in das Wasser gelassen und anschließend durch eine Stegbrücke mit dem Festland verbunden. Danach erfolgte der Aufbau der Rahmenkonstruktion. Anfänglich war diese Rahmenkonstruktion aus Stahl geplant, wurde aber aufgrund des geringen Eigengewichts letztlich aus Holz gebaut.

Nach Errichtung des Holzrahmens erfolgte unter reger Beteiligung der Projektpartner ein weiterer wichtiger Meilenstein, das Richtfest. Nach den Feierlichkeiten ging es an die Arbeit und seitdem schreitet der Innenausbau zügig voran. Im ersten Schritt wurden die Wände aus Carbonbeton im Gebäude aufgebaut. Diese Arbeit, wie auch der spätere Einbau der Treppenstufen, erfolgte durch den Partner bendl HTS aus Sebnitz. Die Wandelemente wurden mit

*From 2014 to 2017 every technology module of the autartec® house was designed, tested and finally manufactured. This year the construction phase of the autartec® house has begun on lake Bergheider in Brandenburg. Building the pontoon of the swimming house has been the first step, afterwards a bridge was build which connects the house and the mainland. Next, a frame construction made of wood was built on top of the pontoon. At first, a steel frame was planned, but due to the additional amount of dead load the planners in charge chose wood.*

*By building the framework a very important milestone was reached. The roofing ceremony was celebrated with the participation of all project members. This day of pleasure and relaxation refilled the energy reserves and raised the motivation to proceed the work. First, bendl HTS constructed the carbon reinforced concrete wall elements. To prevent the wall elements from turning over they were connected by a guide rail. From a static point of view, the wall elements have no task, however, laboratory experiments*

einer Führungsschiene an der Ober- und Unterkante verbunden, damit diese gegen Kippen gesichert sind. Aus statischer Sicht übernehmen die Wandelemente keinerlei Aufgaben, ein Wandelement ist jedoch in der Lage, die Masse eines ICE-Wagons sicher in den Baugrund abtragen zu können, wie Tests im Labor gezeigt haben. Im späteren Verlauf der Bauarbeiten, wenn die Technikmodule in die Wandelemente eingesetzt wurden, werden noch Türen zur Verkleidung montiert. Somit kann ein defektes Technikmodul ohne weiteres jederzeit repariert oder ausgetauscht werden, ohne das entsprechende Wandelement zu demontieren.

Im zweiten Schritt erfolgte der Aufbau der Treppe aus Carbonbeton. Die Treppenstufen wurden zu Beginn in das Obergeschoss mit einem installierten Kleinkran gebracht. Grund dafür war, dass die Treppenstufen nacheinander auf die Stahlspindel gefädelt werden mussten und anschließend in ihre vorgesehene Position herabgelassen wurden. Danach wurden die Treppenstufen miteinander verbunden. Somit beteiligen sich bei Belastung einer Stufe die darunter sowie die darüber liegende Stufe ebenfalls am Lastabtrag. Nach Anschluss des Handlaufs konnte die Treppe für den gefahrlosen Aufstieg in das Obergeschoss freigegeben werden.



Wand- und Treppenelemente aus Carbonbeton | Wall and stair elements of carbon reinforced concrete | Photo: Marén Kupke (AIB Bautzen)

*showed that they are able to bear capacities up to the weight of an ICE railway carriage. Later in the construction phase technology modules and doors will be installed in the wall elements. Therefore each damaged technology module can be repaired or replaced easily without removing the whole wall element.*

*Compared to the wall elements the filigree stairs have to transfer the bearing loads to the foundation. The steps were lifted to the second level by a crane and threaded carefully on a steel spindle. To receive a better load transfer and to fix their positions and prevent displacement the steps were linked to each other. The steel spindle will be connected with both the ceiling construction in the second floor and of course the base plate to obtain better stiffness and stability. Finally, a handrail will be installed to complete the stair system and release it for use.*

► **Titel | Title**

Wachstumskern autartec® – Verbundprojekt 1: Funktionsintegrierte Bauelemente aus Textilbeton – TP 1.6; Experimentelle Untersuchungen zur Prüfung und Entwicklung von Materialien im Bereich des Textilbetons sowie funktionspezifische Bauteilprüfungen an Textilbetonelementen

*'Wachstumskern' autartec® – common research project 1: Functional integrated construction units made of textile reinforced concrete – TP 1.6; Experimental investigation for development and testing process of textile reinforced concrete materials and component testing for textile reinforced concrete construction units*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)/Wachstumskern autartec®

► **Zeitraum | Period**

09.2014 – 08.2017  
Kostenneutrale Verlängerung bis 08.2018

► **Leiter | Project manager**

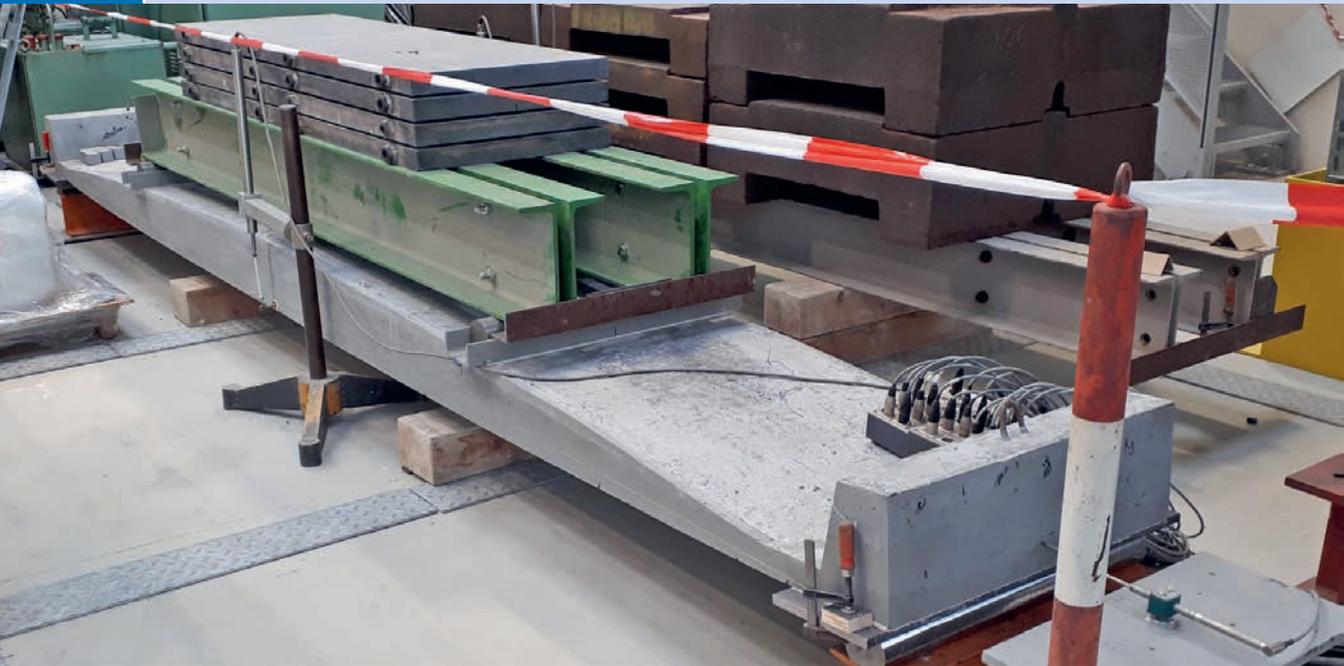
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Egbert Müller

► **Projektpartner | Project partners**

AIB GmbH, Bautzen | bendi HTS, Sebnitz | BWB, Sebnitz | DZT, Dresden | Rupp Betonerzeugnisse GmbH, Neustadt/Orla



Dauerversuch an einem Deckenelement | Long-term test of a ceiling element | Photo: Sebastian May

## BAUEN LEICHT GEMACHT

### EASY BUILDING

Im Rahmen dieses Institutsprojektes entwickelten, erforschten und prüften wir ein materialeffizientes Deckenbauteil aus Carbonbeton für den herkömmlichen Hochbau als Fertigteil. Durch eine Reduzierung der benötigten Betondeckung auf ein Minimum – für Carbonbewehrung nur notwendig zur Sicherstellung der Verbundkraftübertragung – können Bauteile aus Carbonbeton gegenüber dem konventionellen Stahlbetonbau, wo eine viel größere Betondeckung zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion gebraucht wird, mit geringeren Bauteildicken hergestellt werden.

Bekannte Stahlbetondeckenhöhen können über den Grenzwert der Biegeschlankheit abgeschätzt werden. Dabei darf das Verhältnis von Spannweite zur statischen Nutzhöhe im Allgemeinen maximal 35 sein, beziehungsweise 25 im Fall von Flachdecken des konventionellen Hochbaus. Bei einer Vollplatte mit einer Spannweite von 4,5 m ergibt sich somit eine Nutzhöhe von 18 cm. Zur Bestimmung der Konstruktionshöhe muss noch eine

*As part of this project, we developed, researched and tested a material-efficient ceiling prefabricated element made of carbon concrete for conventional building construction. Reducing the required concrete cover to a minimum – and providing only the necessary thickness to ensure composite action and bonding between concrete and carbon reinforcement – allows components made of carbon concrete to be manufactured with a smaller thicknesses compared to that of a conventional reinforced concrete construction, for which a much greater concrete cover is needed to protect the reinforcement from corrosion.*

*For a traditional reinforced concrete floor, its thickness can be estimated by the limiting value of the bending slenderness. In doing so, the ratio of span length to the effective depth may be a maximum of 35, or in the case of flat ceilings used for conventional building construction, 25. For a solid cross-section slab with a span of 4.5 m, this results in an effective depth of 18 cm. To determine the final*

Betondeckung von rund 3 cm berücksichtigt werden. Die Deckenplatte besitzt letztendlich eine Höhe von 21 cm und erfüllt damit die oben beschriebenen Grenzwerte.

Das Carbonbeton-Deckenelement wurde in Summe viermal mit teils geringfügigen Modifikationen am Bewehrungskorb sowie Optimierungen beim Herstellprozess gefertigt und anschließend erfolgreich auf seine Tragfähigkeit getestet. Neben der Traglastprüfung wurde auch das Dauerstandverhalten im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden geprüft. Die vertikalen Belastungen werden bei dem Deckenelement über einen Druckbogen mit Zugband abgetragen. Der Bogen entspricht dabei einer einfach gekrümmten Schale mit einer Wandstärke von gerade einmal 4,5 cm. Der Bogenschub wird über in den Stegen angeordnete Carbonstäbe aufgenommen. Bei einer unsymmetrischen Belastung des Druckbogens wird die Beanspruchung über Biegung aufgenommen.

Das Deckenelement wiegt mit 400 kg gerade einmal 30 % eines herkömmlichen Stahlbetonvollquerschnitts mit gleichen Außenabmessungen. Mit dem Konstruktionsprinzip konnte ca. 1 t Beton und damit auch natürliche Rohstoffe wie Kies gespart werden. Das neu entwickelte Deckenelement zeigt sehr gut, dass durch die Verwendung von flexiblen und hochfesten Carbonbewehrungen zukünftig ein nachhaltiges sowie ressourcensparendes Bauen unter Einhaltung der erforderlichen Nachweise möglich ist.



Versagen des Deckenelementes und der Carbonstäbe | Failure of a ceiling element with carbon rebars | Photo: Sebastian May

*thickness of the element, a 3 cm concrete cover must be factored in. Thus, the ceiling panel has a final height of 21 cm, and it fulfils the limiting value described above.*

*In total, four prototypes of this element were produced by slightly changing the reinforcement cage as well as optimizing the manufacturing process. The elements were successfully tested, and they had adequate bearing capacity. Besides the ultimate load bearing capacity, the creep behaviour of the element was also tested in the Otto Mohr Laboratory of the TU Dresden. In the ceiling element, the vertical loads are carried by a compression arch with a tieback. The arch is a single curvature shell with a wall thickness of just 4.5 cm. The arch thrust is equilibrated by carbon bars arranged in the web. In case of an asymmetrical loading, the compression arch carries the flexural demands.*

*The ceiling element weights just 400 kg, which is 30 % of a conventionally reinforced concrete cross-section with the same external dimensions. With the design principle proposed, it was possible to save around 1 t of concrete, and other natural resources such as gravel. The newly developed ceiling element shows well that the use of flexible and high-strength carbon reinforcements makes sustainable and resource-saving construction possible while complying with all the necessary documented evidence of conformity in the future.*

- ▶ **Titel | Title**  
Entwicklung leichter Deckenelemente aus Carbonbeton  
*Development of lightweight ceiling elements made of carbon reinforced concrete*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Institut für Massivbau, TU Dresden
- ▶ **Zeitraum | Period**  
09.2016 – 04.2018
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Dr.-Ing. Harald Michler
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Sebastian May



Untersicht auf vorgespanntes Deckenelement mit extern verlegten CFK-Lamellen | Bottom view of pre-stressed slab element with extern applied CFK-Lamellas | Photo: Oliver Steinbock

## SPANNSYSTEM MIT CFK-LAMELLEN

### A PRESTRESSING SYSTEM WITH CFRP LAMELLAE

In jüngerer Vergangenheit konnte besonders im Brückenbau ein Trend weg von der Vorspannung im Verbund hin zu Tragwerken ohne Verbund beobachtet werden. Grund hierfür ist vornehmlich die größere Flexibilität. So bieten Spannsysteme ohne Verbund grundsätzlich die Möglichkeit des Austauschens, des Nachspannens und des nachträglichen Verstärkens. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Verankerungselemente, denen aufgrund des fehlenden Verbunds eine besondere Bedeutung zukommt, diese Anforderungen ebenfalls erfüllen. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des Verbundprojekts C3-V4.2 ein kompaktes Spannsystem entwickelt, welches sich an bestehenden Systemen ohne Verbund für Spannstrahlitzen orientiert und damit sowohl im Hochbau als auch für die Quervorspannung im Brückenbau verwendet werden kann.

Letztlich wurde ein modulares Ankersystem mit dem Prinzip einer Reib-Klemm-Verankerung entwickelt. Das Ankersystem setzt sich aus Spannblechen mit verschiedenen gehobel-

*Recently, especially in the field of bridge construction, the trend has moved away from prestressing with full bond towards non-bond structures. The main reason for that is the high flexibility. In general, non-bond prestressing systems offer the possibility of replacement, post-tensioning and post-strengthening. However, the major prerequisite for doing so is that the anchorage elements, significant due to their missing bond, also meet those requirements. Against this background, a compact prestressing system has been developed as part of the joint project C3-V4.2. It is geared to existing non-bond systems for prestressing strands so it can be applied for both building construction and the transverse prestressing in bridge construction.*

*Finally, a modular anchor system, following the principle of friction clamp anchoring, has been developed. The anchor system is composed of tension plates with different planed surfaces, which grip the CFRP lamella by a specific prestressing of the screws. The combination of graded prestressing and surface treatment at*

ten Oberflächen zusammen, die wiederum über eine gezielte Vorspannung von Schrauben die CFK-Lamellen einspannen. Die Kombination aus abgestufter Vorspannung und Oberflächenbearbeitung im Ankerbereich ermöglicht eine nahezu gleichmäßige Lasteinleitung bei vergleichsweise geringer Verankerungslänge.

In Zusammenarbeit mit dem Projekt C3-V1.5 „Abbruch, Rückbau und Recycling von C<sup>3</sup>-Bauteilen“ konnte das Spannsystem nicht nur in kleinteiligen Versuchen, sondern auch am Deckenelement auf dessen Praxistauglichkeit untersucht werden. Das Deckenelement setzt sich aus Druckbogen und Zugsteg zusammen und greift als Vorbild die Idee der sog. Möller-Träger wieder auf. Der im Vergleich zu einer konventionellen Flachdecke stark ausgedünnte und ohne jegliche Querkraftbewehrung bewehrte Querschnitt erreicht nur in Verbindung mit einer Vorspannung die im Hochbau üblichen Durchbiegungsanforderungen. Das Prinzip der Reib-Klemm-Verankerung wurde sowohl für den temporären Vorspannvorgang selbst, als auch für die dauerhafte Verankerung im Bauteil selbst angewendet.

Nach einem erfolgreichen ersten Belastungsversuch bis zum Bruch, mit dem Versagen der Lamellen auf freier Länge, wurde erneut eine Lamelle eingebaut und anschließend einer Dauerbeanspruchung sowie einer erneuter Belastung bis zum Versagen unterzogen. Es konnten weder negative Auswirkungen einer erneuten Verwendung der Ankerkörper noch ein Rutschen der Lamellen bei Dauerbeanspruchung festgestellt werden, sodass die angestrebten Ziele erreicht werden konnten.



Vorspannvorgang mit temporären Ankerkörpern am Deckenelement | Pre-Stressing via the developed temporary anchorage | Photo: Oliver Steinbock

*the anchor zone allows an almost consistent load application while the bond length is comparatively small.*

*In collaboration with the C<sup>3</sup>-project C3-V1.5 “Demolition, removal and recycling of C<sup>3</sup>-structural members”, the usability of the prestressing systems was not only able to be investigated in small-sized tests, but also with a whole floor slab. The floor slab consists of a pressure arch and a tension member and picks up the idea of the historical Möller girder. Compared to a conventional flat slab the cross section without any transverse reinforcement is severely thin and it just meets the common limitation of deformation for building construction in conjunction with a prestressing. The principle of friction-clamp anchoring was applied both to the temporary prestressing process and to the permanent anchoring in the component itself.*

*After a successful initial load test until failure of the slats at free length, another lamella was re-installed and then subjected to permanent loading and a further load until failure. No negative effects for the reuse of the anchor bodies could be detected nor a slippage of the slats under continuous load so that the desired goals were achieved.*

► **Titel | Title**

TP C3-4.2-VI: Entwicklung kompakter Verankerungselemente für Spannverfahren ohne Verbund im Verbundvorhaben als Teilvorhaben im Verbundvorhaben C3-V4.2: Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke

*TP C3-4.2-VI: Development of compact anchorages for unbonded tendons as part of the joint research project C3-V4.2 Prestressed concrete structures with carbon fibres for street bridges and plate and shell structures*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> - Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

05.2016 – 04.2019

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

► **Projektpartner | Project partners**

FG Entwerfen und Konstruieren – Massivbau TU Berlin| Hentschke Bau GmbH, Bautzen | Dywidag-Systems International, Unterschleißheim| SGL Carbon GmbH, Meitingen | sbp, Stuttgart | Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. Roland Fink, Radebeul (assoziiertes Partner)



Großbauteilversuch zur Untersuchung der Endverankerung der Carbonbewehrung | Large-scale test to investigate the bond behaviour and end anchorage length of the carbon grid | Photo: Alexander Schumann

## DIE PERFEKTE ANWENDUNG FÜR CARBONBETON? THE PERFECT APPLICATION FOR CARBON REINFORCED CONCRETE?

Der Werkstoff Stahlbeton besitzt eine Vielzahl von positiven Eigenschaften, weshalb Beton heutzutage der meistverwendete Werkstoff der Welt ist. Jedoch weisen Stahlbetonbauteile einen entscheidenden Nachteil auf: die Stahlbewehrung im Bauteil korrodiert mit der Zeit. Diese Problematik tritt verschärft bei Bauteilen auf, die dauerhaft starken Medien oder Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, beispielsweise Parkhausplatten. Diese werden in der Regel aus Stahlbeton hergestellt und weisen oft nach kurzer Zeit bereits erhebliche Schäden oder Mängel auf, die auf Dauerhaftigkeitsprobleme der Stahlbewehrung zurückzuführen sind. Aus diesem Grund werden Parkhausplatten mit teuren und wartungsintensiven Beschichtungssystemen versehen, um die Dauerhaftigkeitsproblematik besser kontrollieren zu können. Jedoch stellt dies nicht die optimale Lösung dar, weshalb im Projekt C3-V4.19 eine alternative Strategie für Parkhausplatten verfolgt wird: die korrosionsgefährdete Stahlbewehrung wird

*Steel reinforced concrete has a variety of positive properties, which is why it is the most common used material in the world today. However, reinforced concrete components have the significant disadvantage that the steel reinforcement in the component corrodes over time. This problem intensifies for components permanently exposed to strong media or environmental influences. A typical example for this are parking garage slabs. These are usually made of reinforced concrete and show considerable damage or defects due to durability problems of the steel reinforcement after a short period of time. Therefore, parking garage slabs are usually provided with expensive and high-maintenance coating systems to minimise durability problems. However, this is not the optimal solution, which is why the project C3-V4.19 pursues an alternative strategy for multi-storey car parks: corrosion-resistant and high-performance carbon reinforcement in form of webs to replace the corrosive steel reinforcement. The outcome are parking garage*

durch nicht rostende und hochleistungsfähige Carbonbewehrung in Form von Gelegen ersetzt. Somit entstehen Parkhausplatten aus Carbonbeton, die aufgrund der Korrosionsbeständigkeit der Carbonfasern dauerhaft und bestenfalls wartungsfrei sind.

Damit Parkhausplatten aus Carbonbeton den Weg in die Praxis finden, müssen essentielle Fragestellungen beantwortet werden. Im speziellen Fall wird das Verbund- und Endverankerungsverhalten der gewählten Carbonbewehrung bei kurzen Auflagerlängen untersucht, da Parkhausplatten i. d. R. lediglich geringe Auflagerbreiten besitzen. Das Verbundverhalten soll dabei sowohl an kleinteiligen Versuchen als auch an großformatigen Bauteilen erforscht werden. Erste Tastversuche mit der ausgewählten Materialkombination, bei welcher ein neu entwickeltes Carbongelege Anwendung findet, wurden bereits durchgeführt und zeigten ein hohes Leistungsvermögen.

Auf den ersten Erkenntnissen aufbauend werden im nächsten Schritt weitere kleinteilige Versuche durchgeführt, um das Verbundverhalten des neuen Geleges charakterisieren zu können. Daran anschließend sollen großformatige reale Platten hergestellt und getestet werden, um die Eignung der Carbonbetonplatten bei kurzen Auflagerbreiten nachzuweisen.



Tastversuch zur Überprüfung der gewählten Materialkombination | Preliminary test to prove the suitability of the defined materials | Photo: Alexander Schumann

*slabs made of carbon reinforced concrete that are durable and, at best, maintenance-free due to the corrosion resistance of the carbon fibres.*

*To smooth their way into practice, essential questions need to be answered. In this special case, the composite behaviour and the end-anchoring behaviour of the chosen carbon reinforcement is examined for short support lengths, since parking garage slabs usually have only small bearing widths. The bond behaviour is studied on small-scale experiments as well as on large-scale components. First tentative tests with selected material combinations, using a recently developed carbon grid, have already been carried out and demonstrated a high performance.*

*Using those first findings, further small-scale tests will be carried out in order to characterise the bond behaviour of the new carbon grid. Subsequently, large-scale slabs will be produced and tested to prove the suitability of carbon reinforced concrete slabs for short bearing widths.*

► **Titel | Title**

TP C3-V4.19-III: Untersuchungen zum Verbundverhalten und der Endverankerung von Carbonbewehrungen im Verbundvorhaben C3-V4.19: Carbonbewehrte Parkhausdeckenplatten

*TP C3-V4.19-III: Investigations of the bond behavior and the end anchorage of textile grids made of carbon fibres as part of the joint research project C3-V4.19: Carbon reinforced parking garage ceiling slabs*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

04.2018 – 03.2020

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

► **Projektpartner | Project partners**

Dreßler-Bau GmbH, Dresden | Institut für Massivbau, TU Darmstadt



Übergreifungsstoß in der Verstärkungsschicht | *Overlapping area in the strengthening layer* | Photo: Franz Bracklow

## GESCHWUNGEN VERANKERT

### LOOP-SHAPED ANCHORAGE

Carbonbewehrungen erfreuen sich sowohl in der Bauwerksertüchtigung als auch im Neubau zunehmender Beliebtheit. Der Einsatz von Garnen mit über 50.000 Filamenten pro Roving und Feinheiten bis zu 3.300 tex, sogenannte *heavy tows*, ermöglicht eine größere zulässige Beanspruchung und steigert damit die Leistungsfähigkeit der textilen Bewehrungsstruktur. Jedoch führen große Garnzugkräfte bei nahezu gleichbleibender Rovingoberfläche zur Verlängerung der erforderlichen Endverankerungs- und Übergreifungsbereiche. Eine modifizierte schlaufenförmige Garnanordnung am Gelegerand gewährleistet die Kraftübertragung über kürzere Bereiche und ermöglicht die wirtschaftliche Ausführung des Gesamtsystems.

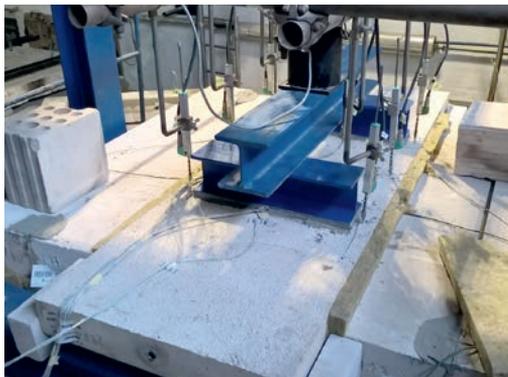
Auf Grundlage verschiedenster Untersuchungen am Institut für Massivbau (IMB) zu Anordnung, Form und Ausrundungsradien konnte durch den Projektpartner Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik ein solches Textil mit schlaufen-

*Carbon fibre is enjoying increasing popularity both as a strengthening material for existing structures and as reinforcement in new construction. The use of yarns with more than 50.000 filaments per roving and a linear density of up to 3.300 tex, so-called "heavy tows", allows high permissible stresses and improved performance of the textile reinforcement. The high yarn tensile forces with almost equal reinforcement surface leads to larger anchorage lengths and overlapping areas. A modified loop-shaped yarn arrangement at the textile edge ensures the force transmission within a short length and enables an economic design of the overall system.*

*Based on different investigations at the Institute of Concrete Structures - on arrangement, shape and bending radius of the anchoring loops - the Institute of Textile Machinery and High-Performance Material Technology was able to produce such a textile with loop-shaped anchorage ends in the weft direction. Further investigations, including a high number of strain tests,*

förmigen Verankerungen in Schussrichtung maschinell gefertigt werden. Weitere Untersuchungen, darunter zahlreiche Dehnkörperversuche, wurden durch das IMB durchgeführt. Neben dem qualitativen Vergleich, unter anderem mit geraden Übergreifungen und durchgängigen Bewehrungsstrukturen, wurden dabei auch das Verhalten unter Dauerstand- und Temperaturbeanspruchung untersucht. Die finale Validierung der Funktionsfähigkeit des entwickelten Textils erfolgte mittels Großbauteilversuchen unter Brandbelastung. Hierzu wurden drei schwach bewehrte Stahlbetonplatten (1,80 x 0,60 x 0,10 m) mit einer 1 cm starken und sich in Feldmitte schlaufenförmig übergreifenden Verstärkungsschicht hergestellt.

In Vorbereitung der Brandversuche erfolgte die Ermittlung der maximalen Tragfähigkeit im Vierpunkt-Biegeversuch am Otto-Mohr-Laboratorium. Hier trat ein Biegeversagen außerhalb der textilen Übergreifung auf. Das dabei erzielte Lastniveau entsprach näherungsweise der rechnerischen Tragfähigkeit einer vergleichbaren Platte mit durchgängiger Textilbewehrung. Auf Grundlage dieses Referenzversuches wurde ein fiktives Gebrauchslastniveau für die Biegeversuche unter Einheitstemperaturkurve an der Materialforschungs- und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig gewählt. Beide Platten konnten dabei den Brandbelastungen über 60 bzw. 90 min ohne Tragfähigkeitsverlust standhalten. Dem Übergreifungsstoß und damit auch der schlaufenförmigen Verankerung kann damit eine gute Funktionsfähigkeit attestiert werden.



Versuchsaufbau der Plattenprüfung unter Einheitstemperaturkurve | Experimental setup of slab experiments under burning conditions | Photo: Franz Bracklow

*were carried out by the Institute of Concrete Structures. A qualitative comparison among the newly developed loops, straight overlaps and continuous reinforcement was conducted, and their behaviour under fatigue and temperature stresses was also investigated. Finally, large components was tested under fire to validate its behaviour. For this purpose, three reinforced concrete slabs (1.80 x 0.60 x 0.10 m) with a one cm thick strengthening layer and a loop overlapping at the mid-span were produced.*

*In preparation for the experiments under exposure to fire, the determination of the maximal load capacity with a four-point bending test took place at the Otto Mohr Laboratory. A bending failure occurred outside the textile overlap. The ultimate load correlated well to the calculated load capacity of a slab with continuous textile reinforcement. Based on this reference test, a fictitious service load level for the bending tests under uniform temperature curve at the Leipzig Institute for Materials Research and Testing was chosen. Both slabs could resist fire load for more than 60 or rather 90 minutes without losing load capacity. The loop-shaped anchoring shows a good functionality.*

► **Titel | Title**

Materialeffiziente und praxisgerechte Gestaltung von Verankerungen und Übergreifungen von Textilbetonbewehrungen aus Rovings hoher Feinheiten

*Material-efficient and practice-orientated design of anchorage and overlapping areas for carbon fibre heavy tows (CFHT) textile reinforcements*

► **Förderer | Funding**

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AIF)

► **Zeitraum | Period**

01.2015 – 11.2018

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Kerstin Speck  
Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden



Auf den Garnenden applizierte Verankerungskörper | Anchoring elements applied to the yarn ends | Photo: Maximilian May

## MIT FORMGEBUNG ZU MEHR VERBUNDWIDERSTAND

### INCREASED COMPOSITE RESISTANCE BY SHAPING

Bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts ist die Verwendung von Bewehrungsstahl im Massivbau nicht mehr wegzudenken und wird seither gründlich erforscht. Gegenwärtig wird der Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl nicht mehr nur durch Haken und Schlaufen in den Bauteilenden sichergestellt, sondern auch durch aufgerollte oder aufgewalzte Rippen. Form und Anordnung dieser verbundverbessernden, geometrischen Veränderung wurden über Jahrzehnte hinweg bis zur heutigen Ausführung optimiert.

Der Verbund zwischen der Carbonbewehrung und dem Beton im noch jungen Textil- bzw. Carbonbetonbau ist hauptsächlich mithilfe der Kunststoff-Matrix, welche die Carbonfasern zu Fasersträngen verbindet, realisiert und durch Modifikation dieser stetig verbessert worden. Der Ansatz, den Verbund zwischen Beton und Carbonbewehrung durch die Form der Textilien zu verbessern, wie es auch bei den Beton-

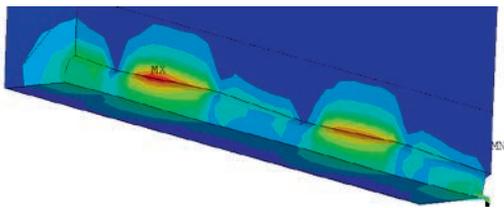
*Reinforcing steel has become indispensable in the construction of concrete structures. The technology has been used and researched since the middle of the 19th century. At present, the bond between the two material components concrete and reinforcement steel is no longer only ensured by hooks and loops in the component ends, but also by rolled up or milled ribs. The shape and arrangement of these geometrical changes, which improve the composite, have been optimised over decades up to the present design.*

*The bond between the carbon reinforcement and the concrete in the still young textile or carbon reinforced concrete material combination has mainly been realised with the help of a polymer matrix which connects the carbon fibres to fibre strands, and has been continuously improved by modifying these. The C<sup>3</sup>-project "Mechanical anchoring" investigates an approach to improve the bond between concrete and carbon reinforcement by modifying the shape of the textiles,*

stahlrippen im Stahlbetonbau passiert ist, soll in dem C<sup>3</sup>-Projekt „Mechanische Verankerung“ untersucht werden. Hierfür werden umfassende experimentelle Untersuchungen zum Verbundverhalten durchgeführt und verschiedene verbundverbessernde Maßnahmen erprobt, welche auf dem Prinzip des Formschlusses beruhen. Dazu gehören zum Beispiel aufgeklebte Kunststoffverankerungskörper oder strukturierte Faserstrangoberflächen.

Begleitend zu den im Otto-Mohr-Laboratorium durchgeführten Experimenten sollen die diversen Möglichkeiten in Simulationsmodellen untersucht werden. Basis für diese Betrachtungen bilden Referenzversuche, anhand derer die Verbesserung und/oder Verschlechterung des Verbundverhaltens in den einzelnen Phasen identifiziert und beurteilt werden kann.

Die Umsetzung der Simulation erfolgt als dreidimensionales Strukturmodell mit Volumenelementen, welche die zwei Materialien darstellen. Der Verbund wird über Kontaktflächen generiert. In Abhängigkeit der auf die jeweilige Fläche wirkenden Querdrukkräfte und des definierten Reibungsbeiwertes wird eine maximal aufnehmbare Haftzugspannung berechnet. Beim Überschreiten dieser Spannung gleiten die Flächen aneinander vorbei. Dadurch sind die für das Auswerten des Verbundverhaltens wichtigen Verbundspannungs-Schlupf-Kurven erstellbar und mit den im Labor durchgeführten Experimenten vergleichbar. Da die Computersimulation einen Einblick in das Material ermöglicht, liefert sie einen hohen Erkenntnisgewinn über die im Kompositmaterial wirkenden Verbundmechanismen.



Plastische Dehnungen im Betonmodell während des Garnauszugs | Plastic strains in the concrete model during yarn pull-out | Graphic: Tilo Senckpiel-Peters

*similar to reinforcing steel ribs in reinforced concrete construction. For this purpose, comprehensive experimental studies will be carried out on the bond behaviour and various methods to improve the bond will be tested, which are based on the principle of mechanical bond. These include, for example, glued polymer anchoring bodies or structured fibre strand surfaces.*

*In addition to the experiments carried out in the Otto Mohr Laboratory, the various possibilities will be investigated in simulation models. These observations are based on reference experiments which can be used to identify and evaluate the improvement and/or deterioration of the bond behaviour in the individual phases.*

*The simulation is realised as a three-dimensional structural model with volume elements representing the two materials. The bond is generated by contact surface elements. Depending on the transverse compressive force acting on the respective surface and the defined coefficient of friction, a maximum adhesive tensile stress is calculated. If this stress is exceeded, the surfaces glide past each other. This makes it possible to create the bond stress-slip curves that are important for evaluating the bond behaviour and are comparable with the experiments carried out in the laboratory. Since the computer simulation allows a look into the material, it provides a high gain of knowledge about the bond mechanisms acting in the composite material.*

► **Titel | Title**

TP C3-V3.4-I: Untersuchungen zum Verbundverhalten mit mechanisch wirkenden Bewehrungsstrukturen im Verbundvorhaben C3-V3.4: Mechanische Verankerung

TP C3-V3.4-I: Investigations of the bond behaviour with mechanically acting reinforcement structures as part of the joint research project C3-V3.4: Mechanical anchoring

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

04.2018 – 03.2020

► **Leiter | Project manager**

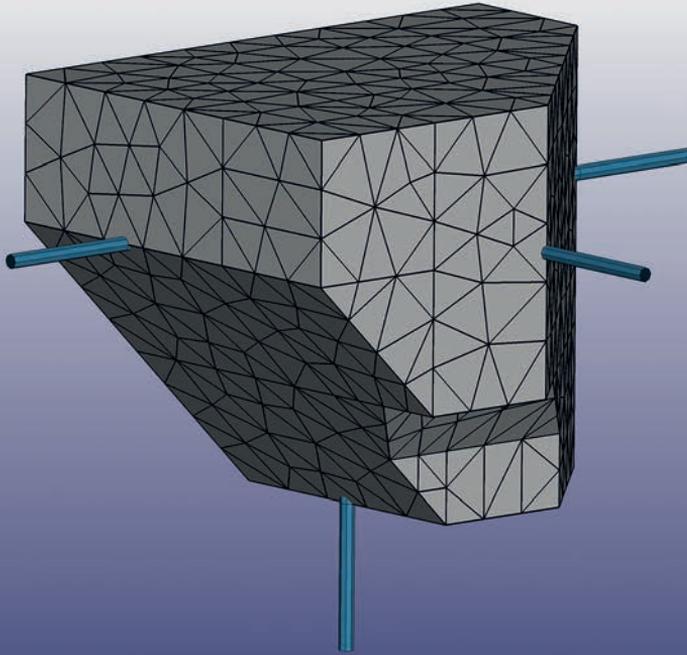
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Maximilian May, Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters

► **Projektpartner | Project partners**

4 Partner, davon 2 aus der Forschung und 2 Firmen



3D-Modell eines Beton-Knotens als Stabwerkmodell mit drei eingebetteten Stäben | 3D model of a concrete node from a 3D STM with embedded bars in three directions | Graphic: Ahmad Chihadeh

# STABWERKMODELLE FÜR CARBONBETON

## STRUT-AND-TIE MODELS FOR CARBON REINFORCED CONCRETE

Stabwerkmodelle werden häufig bei der Analyse und Konstruktion von Stahlbetonbauteilen eingesetzt. Die Anwendbarkeit dieser wird auch für Carbonverstärkungen erwartet. Daher ist zunächst eine Untersuchung erforderlich, um die Eignung von Stabwerkmodellen für Carbonbeton zu überprüfen. Stahlstäbe und Carbonstäbe unterscheiden sich in Bezug auf dieses Thema hauptsächlich in der Duktilität und der Verbundspannung.

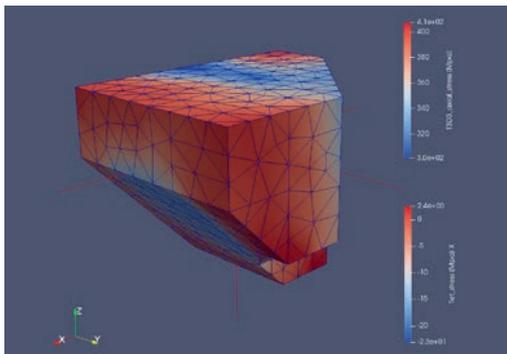
Stabwerkmodelle bestehen aus Druckstreben, die einer Druckbelastung ausgesetzt sind, Zugstreben, die einer Zugbelastung ausgesetzt sind, und Knoten, die Druckstreben und Zugstreben verbinden, in denen Kräfte aus verschiedenen Richtungen aufeinandertreffen und sich ausgleichen. Daher werden die Knoten mehrachsig belastet und sind die am stärksten beanspruchten Bereiche in einem Stabwerkmodell. Daher wurde die Analyse von Knoten mit Hilfe einer Finite-Elemente-Simulation durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde ein 2D-Modell für den

*Strut-and-tie models (STM) are widely used in the analysis and design for steel reinforced concrete elements. This is also expected when using carbon reinforcement. Hence, an investigation is required to verify the applicability of STM on carbon concrete. What set carbon bars apart from steel bars, with relation to the topic, is mainly the ductility and bond stress. STM consists of struts subjected to compression, ties subjected to tension, and nodes connecting struts and ties in which different forces in different directions meet together and equilibrate each other. Therefore, nodes are subjected to multi-axial stresses and also they are the most stressed areas in an STM.*

*For these reasons, analysis of nodes was carried out using a finite element simulation. As a first step, a 2D model for compression node was implemented. Followed by several models for different node types and geometries ending up modelling a node in a 3D STM from the so-called "Thin-Walled Tube, Space Truss Analogy" method used for torsional analysis. Bars embedded in a*

Kompressionsknoten implementiert. Gefolgt von mehreren Modellen für verschiedene Knotentypen und Geometrien. Anschließend wurde ein Knoten in einem 3D-Stabwerkmodell aus der sogenannten *thin-walled tube, space truss analogy method* zur Torsionsanalyse modelliert. Eingebettete Stäbe in einem Betonkörper wurden Zugkräften ausgesetzt, wobei diese Stäbe der Längs- und Bügelbewehrung entsprachen. Die Anwendung von Kompressionskräften wurde durch Aufbringen von Knoteneinschränkungen und -kräften durchgeführt. Dies dient dazu, starre Körperbewegungen zu vermeiden.

Das Modell wurde durch die Nutzung von eingebetteten Stäben in tetraedrische Festkörperelemente, welche die Betonmatrix repräsentieren, implementiert. Mithilfe von Verbindungselementen wurden die Stäbe mit dem umgebenden Beton verbunden. Das heißt, die Stabelemente und die umgebenden tetraedrischen Volumenelemente teilen sich keine Knoten. Dies vereinfacht die Diskretisierung durch die Möglichkeit, das Netz des Betons und das Netz der Stäbe unabhängig voneinander zu definieren. Stäbe, welche quer zur Längsrichtung liegen, stellen die Bügelbewehrung dar. Die Modellierung dieser gebogenen Betonstähle erfolgt mithilfe zweier gerader Stabelemente, welche sich an der Stelle des Hackens der Bügelbewehrung einen Knoten teilen. Dadurch wird der Schlupf der Stäbe aufgrund von seitlichen Behinderungen deutlich verringert. Die Ergebnisse der Simulation sind 3D-Spannungszustände in den Volumenelementen, Axialspannungen in den Stäben, Knotenverschiebungen und -kräfte sowie Verbundspannungen mit Schlupfwerten.



Spannungen am 3D-Knotenmodell in X-Richtung. Der Knoten wird durch die Flächen begrenzt, welche den Stäben ausgesetzt sind | Stresses in X-direction of the 3D node model. The node is constrained at surfaces subjected to strut forces | Graphic: Ahmad Chihadeh

*concrete body were subjected to tensile forces. These bars are the longitudinal and stirrups reinforcement. The application of compression forces has been done by applying nodal constraints and nodal forces. This is to avoid rigid body motion.*

*The model was implemented by using embedded bars inside tetrahedral solid elements representing the concrete matrix. Bond elements were used to connect bars to the surrounding concrete. It is important to notice that the bar elements and the surrounding tetrahedral solid elements have no common nodes. This makes the discretization simpler as it gives the possibility to define the mesh of the concrete and the mesh of the bars independently. Bars in y and z directions represent the stirrup, and as a stirrup is made from bent rebar, they have a common node where the hook is supposed to be. This decreases significantly the bars slippage due to lateral constraints. The outputs of the simulation are 3D spatial stresses, axial stresses in the bars, nodal displacements and forces as well as bond stresses corresponding to slip values.*

#### ► Titel | Title

Vorarbeit zum Teilprojekt TP C3-V-L6-II: Entwurf und Bemessung von Carbonbeton-Bauteilen mit Stabwerkmodellen und für Torsionsbeanspruchungen im Verbundvorhaben C3-V-L.6: Bemessung und bauliche Durchführung

Preliminary work for the subproject TP C3-V-L6-II: Design and Dimensioning of Carbon Reinforced Concrete Components with strut-and-tie models and for torsional stress as part of the joint research project C3-V-L.6: Dimensioning and construction

#### ► Förderer | Funding

Institut für Massivbau, TU Dresden

#### ► Zeitraum | Period

08.2018 – 12.2018

#### ► Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

#### ► Leiter Teilvorhaben | Subproject manager

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

#### ► Bearbeiter | Contributor

Ahmad Chihadeh M.Sc.

#### ► Projektpartner | Project partners

Lehrstuhl und Institut für Massivbau der RWTH Aachen | Betonwerk Oschatz GmbH, Oschatz | DYWIDAG-Systems International GmbH, Unterschleissheim | Halfen GmbH, Langenfeld/Rheinland



Betonage der gering bewehrten Probekörper | *Concreting of the low reinforced specimens* | Photo: Jakob Bochmann

## CARBONBETON UNTER DRUCK

### CARBON REINFORCED CONCRETE UNDER COMPRESSION

Mit fortschreitender Entwicklung und Einführung von Carbonbeton in die Bauwirtschaft wird deutlich, dass allgemeine Normungen von großer Bedeutung sind. Mit einem einheitlichen Regelwerk zu Carbonbeton würden dieser innovative Werkstoff eine noch breitere Aufmerksamkeit erfahren und gleichzeitig finanzielle Hürden für Zulassungen abgebaut werden. Für diesen Schritt muss Carbonbeton allerdings zu nächst in allen seinen Facetten untersucht und verstanden werden.

Für Belastungen wie reinen Zug, Biegung, und Torsion gibt es bereits erste Bemessungsmodelle für Neubauten und verstärkte Konstruktionen. Das Verhalten von Carbonbeton unter Druck wurde jedoch erst in den vergangenen Jahren mit Hilfe dieses Projektes eingehend untersucht. Aber auch diese Belastungsart ist wichtig, um das Tragverhalten von Carbonbeton vollständig verstehen zu können. Daher wurde das Versuchsprogramm zur einaxialen Druckbelastung von Carbonbeton gegenüber den Vorjahren nochmals erweitert. Zum Beispiel wurden verschiedene Tränkungsarten

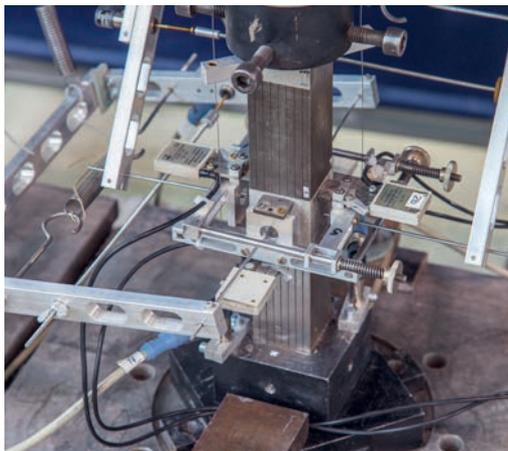
*The progressing development and introduction of carbon concrete to the construction industry has led to increased awareness regarding the importance of general standardization of the material, design, and construction methods. The standardization of carbon concrete would, in turn, promote the further development of this innovative building material. Simultaneously, it would reduce the cost for the technical approval process. For this purpose, carbon concrete has to be investigated and understood in all its phases.*

*There are already design models for load cases like bending, shear or torsion for both new structures and the strengthening of existing structures. However, for the complete understanding of carbon concrete, the behaviour of the material under uniaxial compression is important, and it has been studied in this project for a few years. Therefore, previous studies were expanded with a series of uniaxial tests. For example, the effect of different impregnation materials and methods was investigated. Additionally, fine-grained concrete cubes*

betrachtet. Hinzu kam die Untersuchung von kleineren Bewehrungsgehalten bis hin zu nur einem Faserstrang pro  $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$  Feinbetonprobekörper. Diese Versuche sollten das Versuchsportfolio dahingehen vergrößern, dass ausreichend Daten für die Entwicklung eines Bemessungsmodells zur Verfügung stehen.

Das Versuchsprogramm wurde zudem um numerische Untersuchungen ergänzt, welche zum Ziel hatten, ein besseres Verständnis der Tragmechanismen zu erlangen. Mit einer großen numerischen Parameterstudie konnte der Fluss der Druckspannungen durch die Probekörper und die eingetragenen Querkzugspannungen aufgrund der textilen Garne gezeigt und näher betrachtet werden. Diese Erkenntnisse trugen zu einem besseren Verständnis des Tragverhaltens von Carbonbeton bei und bestätigten gleichzeitig die aus den Experimenten gewonnenen Messwerte.

Auf Basis all dieser Daten war es möglich, ein Bemessungsmodell zu entwickeln, in welchem Abminderungsfaktoren für die Druckfestigkeit von carbonbewehrten Beton berücksichtigt werden. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Garne Störstellen induzieren, welche hauptsächlich für die abgeminderten Druckfestigkeiten verantwortlich sind. Damit sind die ermittelten Abminderungsfaktoren im weitesten Sinne ausschließlich vom Volumengehalt der in den Proben vorhandenen textilen Bewehrung abhängig.



Versuchsstand mit Messvorrichtung | *Test bed including measurement equipment* | Photo: Sven Hofmann

*( $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ ) with various reinforcement content, and even with single carbon yarns were tested. These additional tests led to a bigger pool of experimental data for the derivation of design models.*

*Besides the experimental tests, numerical investigations were conducted to get a better understanding of the load bearing mechanism in the reinforced specimen. A large parameter study showed the flow of the compression struts around the yarns, along with the transverse stresses introduced in the specimens during uniaxial compression loading, which are mainly responsible for the strength reduction. These results help to understand the load bearing behaviour of carbon concrete under compression and confirmed the experimental data.*

*Based on all these data, it was possible to derive calculation models to forecast the strength reduction of carbon-reinforced concrete. The present investigations showed that the main factor of the reduced concrete strength is the soft yarns, which introduced discontinuities to the concrete. Therefore, the models to calculate the strength reduction depended primary on the volume of the textile in the specimens or construction element.*

► **Titel | Title**

Experimentelle Untersuchungen des Tragverhaltens von Textilbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung

*Experimental investigation of the load bearing behaviour of textile reinforced concrete under uniaxial compression load*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► **Zeitraum | Period**

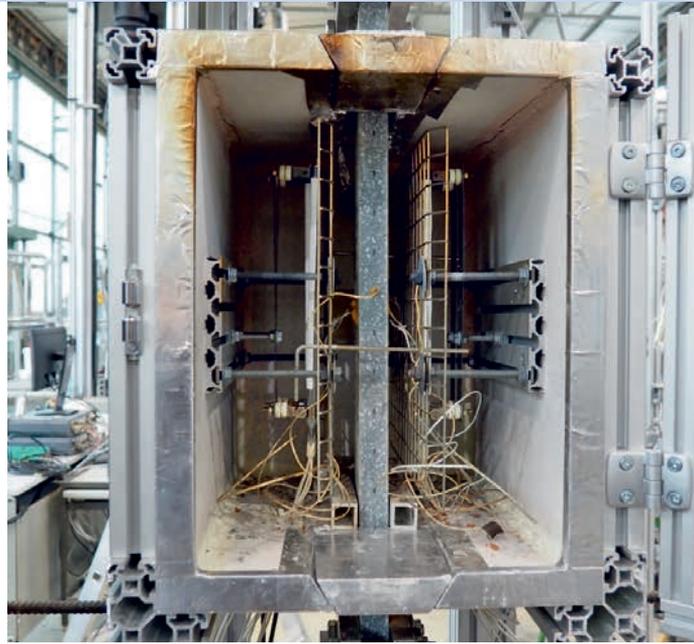
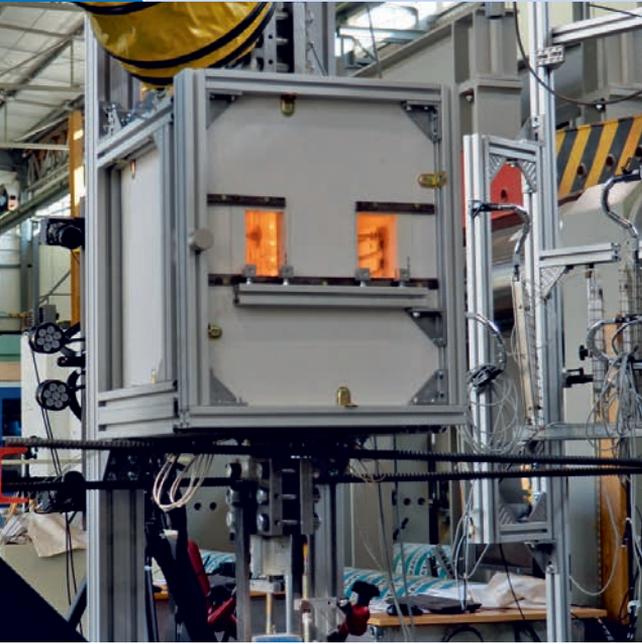
09.2015 – 05.2018

► **Leiter | Project managers**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH, Bautzen)

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Jakob Bochmann



Heizkammer und Dehnkörper in der Heizkammer mit Messtechnik | Heating chamber and heating chamber with a tensile test specimen and the measuring system | Photo: Karoline Holz

# HOCHTEMPERATURBEANSPRUCHUNG VON CARBONBETON – ZUGPRÜFUNG

## CARBON REINFORCED CONCRETE UNDER HIGH TEMPERATURE – TENSILE TESTS

Um auf das Materialverhalten bei einer Brandbeanspruchung schließen zu können, werden Hochtemperaturversuche durchgeführt. Im Rahmen des Projektes wurde das Materialverhalten sowohl in Zug- als auch Verbundversuchen betrachtet. Zunächst war es angedacht, die Prüfungen, wie bei mit Epoxidharz getränkten Gelegen unter Raumtemperatur üblich, am Faserstrang durchzuführen. Jedoch ist dies mit der vorhandenen Heizkammer nicht möglich, da die gegenüberliegenden Infrarotheizstrahler sich gegenseitig heizen würden. Deshalb wurde als Zugprobekörper der Dehnkörper gewählt. Damit ist eine Erwärmung des Verbundwerkstoffs möglich und es können auch Effekte des Zusammenwirkens von Bewehrung und Beton beobachtet werden.

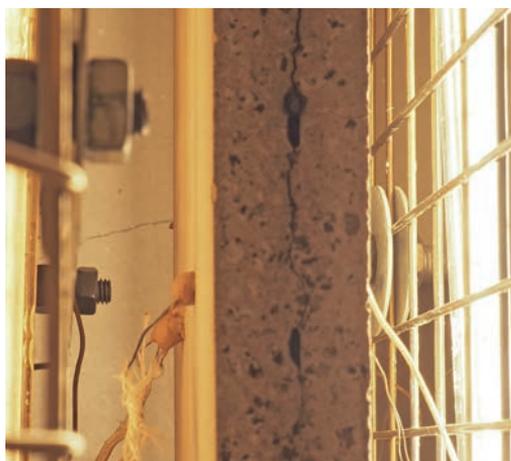
Es wurden zwei Materialkombinationen hinsichtlich ihres Verhaltens unter Hochtemperatur untersucht: zum einen ein mit Epoxidharz getränktes Textil, zum anderen ein Textil mit

*In order to be able to describe the material behaviour under high temperature, tensile tests were carried out. As part of the project, both tensile and bond tests were executed at high temperatures. Initially, it was planned to prepare a test setup for the fibre strand, as it is common with epoxy resin impregnated fibres at room temperature. However, this was not possible, because opposing infrared heaters would heat each other during the test. Therefore, a composite test specimen was chosen for the tensile tests. During testing of the specimen, it was possible to observe effects of the interaction between reinforcement and concrete under high temperature.*

*Two material combinations were examined with regard to their behaviour under high temperature. On the one hand a textile impregnated with epoxy resin, on the other hand a textile with an acrylate-based impregnation. The two materials are intended to represent the two*

einer Tränkung auf Acrylatbasis. Die beiden Materialien sollen die beiden Carbonbeton-Anwendungsfälle Neubau und Verstärkung repräsentieren. Zur Untersuchung des reinen Materialverhaltens unter Temperaturbeanspruchung wurden stationäre Versuche bei definierten Temperaturen durchgeführt, die temperaturspezifische Spannungs-Dehnungs-Linien ergaben. Um die Übertragbarkeit der aus den stationären Versuchen gewonnenen Ergebnisse auf das Bauteil zu überprüfen, wurden Versuche bei einem definierten Lastniveau durchgeführt, während die Temperatur kontinuierlich erhöht wurde. Dies stellt den realen Fall im Bauteil dar, da auch im Brandfall das Bauteil einer Belastung ausgesetzt ist und die Temperatur ansteigt. Als Ergebnis aus diesen Untersuchungen wird eine Temperatur-Abminderungs-Kurve erhalten. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen stationären und instationären Versuchen festgestellt werden.

Bei den Versuchen der Materialkombination für Neubauteile kam eine hochfeste Betonmatrix zum Einsatz. Schon beim Aufheizen kam es aufgrund der Temperatureinwirkung zum Aufspalten des Verbundwerkstoffs in Gelegeebene. Dies zeigt, dass bei dieser Betonmatrix zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden müssen, damit die Matrix für den Einsatz unter Brandbeanspruchung geeignet ist. Auch bei dem Material für die Verstärkungen kam es während der Versuche ohne vorheriges Erzeugen eines Rissbildes zu Abplatzungserscheinungen auf Grund der geringen Permeabilität.



Aufspalten in der Gelegeebene während des Erwärmens | *Splitting in plane of the reinforcement due to temperature* | Photo: Karoline Holz

*applications of new construction elements and strengthening. To investigate the pure material behaviour under high temperature. Tensile tests were carried out at defined temperatures and yielded in temperature specific stress-strain-curves. In order to check the transferability of the results obtained from the test under defined temperature conditions, tests were carried out at a defined load level, while the temperature was increased continuously. This represents the real case in the construction element, even in case of fire, the construction element is exposed to stress and the temperature rises. As a result of these investigations, a temperature-reduction-curve was obtained. It turned out that there are no differences in the results between these two experiments.*

*A high-strength concrete matrix was used in the tests of the material combination for new construction elements. Even during heating, the temperature effect caused the composite material to split in plane of the reinforcement. This shows that additional measures have to be taken to make this concrete matrix suitable for use under high temperature conditions. Also with the material for the strengthening, spalling phenomena occurred during the tests without prior generation of a crack pattern due to the low permeability.*

► **Titel | Title**

TP C3-V2.3-I-a: Materialverhalten von Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung im Verbundvorhaben C3-V2.3: Brandverhalten von Carbonbeton

*TP C3-V2.3-I-a: Material behavior of carbon reinforced concrete exposed to high temperatures as part of the joint research project C3-V2.3: Fire behavior of carbon reinforced concrete*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

05.2017 – 04.2020

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

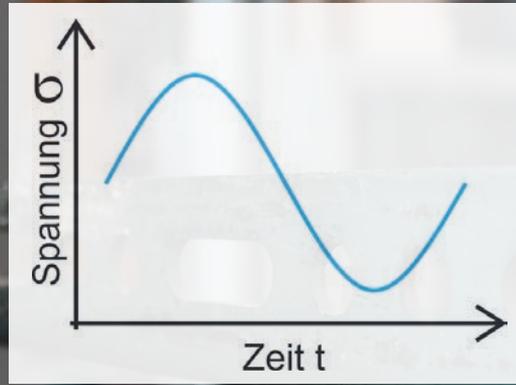
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

► **Projektpartner | Project partners**

Institut Für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden | MFPA Leipzig GmbH, Leipzig | V.Fraas Solutions in Textile GmbH, Helmbrechts | FTA Albstadt mbH, Albstadt



Auch sehr kurze Verbundlängen wurden im Einstufenschwingversuch getestet | Short anchorage lengths had to undergo fatigue tests as well | Photo, graphic: Juliane Wagner, Elisabeth Schütze

## ÜBER DURCHLÄUFER UND VERSAGER GOOD VIBRATIONS

Wie lange hält ein Carbonbetonbauteil eigentlich bei üblicher Belastung? Um diese Frage zu beantworten und die Lebensdauer von Carbonbeton zuverlässig vorhersagen zu können, wurde das Verbundvorhaben C3-V2.1 initiiert. Neben kleinteiligen Versuchen unter statischer und zyklischer Dauerlast sollen hier auch Bauteilversuche zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse durchgeführt werden. Bis dahin ist es allerdings noch ein weiter Weg.

In den jüngsten Testreihen wurde das Ermüdungsverhalten von Carbonbeton an kleinteiligen Probekörpern untersucht. Hierfür wurden Einstufenschwingversuche zur Bestimmung des Zugtrag- und Verbundtragverhaltens durchgeführt. Die verwendete Materialkombination – ein Carbondtextil mit Epoxidharztränkung, eingebettet in hochfesten Beton – soll dem Einsatz in Carbonbeton-Neubauteilen dienen.

In den Untersuchungen wurden bei verschiedenen Unterspannungen die zugehörigen Oberspannungen je Prüferie variiert, mit dem Ziel, S-N-Kurven als Materialparameter für das Ermüdungsverhalten zu kreieren. Hierbei wurde die Anzahl der maximal zu

*How long is the actual life span of a carbon reinforced concrete element in usual load scenarios? To answer this question and predict the service life of carbon reinforced concrete reliably, the joint research project C3-V2.1 was initiated. Apart from conducting suitable small-scale tests under static and cyclic long-term loads, building components will be tested to validate the applicability of the material behaviour. However, the end of this road is still a long way off.*

*In the most recent test series, the fatigue behaviour of carbon reinforced concrete was tested on small-scale specimens. Single-stage fatigue tests were conducted to determine both tensile and bond behaviour of a material combination that is supposed to be used mainly for new building components: a carbon textile with epoxy resin impregnation, embedded in high-strength concrete.*

*In these investigations, for a number of minimum stress levels, the upper-stress levels were varied with the aim of creating S-N curves as material characteristics for the fatigue behaviour. The maximum number of load cycles, after which tests were aborted, was set to 2 millions. To verify, whether fatigue loading*

erreichenden Schwingspiele auf 2 Millionen begrenzt. In den Verbundversuchen lag der Fokus vorerst auf der Untersuchung verschiedener Verankerungslängen, um zu überprüfen, ob eine Ermüdungsbeanspruchung Auswirkungen auf die notwendige Verankerungslänge hat.

Die bisherigen Ergebnisse der kleinteiligen Versuche sind durchaus positiv zu bewerten. Unabhängig von der getesteten Unterspannung versagten die ersten Probekörper in den Zugversuchen erst bei Oberspannungen oberhalb von 80 % der statischen Referenztragfähigkeit. Auch in den Verbundversuchen lassen sich positive Ergebnisse verzeichnen. Hier wurde die notwendige Verankerungslänge zur vollen Übertragung der Lasten zwischen Textil und Beton in statischen Versuchen beim dreifachen Querfaserstrangabstand ermittelt. In den zyklischen Versuchen konnte kein negativer Einfluss der Ermüdungsbelastung auf die Verbundlänge festgestellt werden, lediglich die Probekörper mit sehr kurzen Verankerungslängen versagten hier sehr schnell.

An Durchläufern wurde zusätzlich noch die Resttragfähigkeit nach der Ermüdungsbeanspruchung getestet. Hier ließ sich ebenfalls kein negativer Einfluss der Ermüdungsbelastung erkennen. Die Resttragfähigkeit lag bei allen Probekörpern nahe der statischen Referenztragfähigkeit und teilweise sogar deutlich darüber.



Ein Blick ins Innere: auch ohne Beton kann das Textil der Ermüdungsbelastung standhalten | A glimpse inside: the textile withstands fatigue loading even without concrete | Photo: Juliane Wagner

*had an influence on the required anchorage length, the focus of the bond tests was on investigating varying anchorage lengths in the first instance.*

*So far, the small-scale tests have shown favourable results. In the tensile tests, specimens failed only at maximum stress levels exceeding 80 % of the static reference strength – independent of the respective minimum stress level. The bond tests also showed good results. The necessary anchorage length for a complete load transfer between textile and concrete was found to be the triple of the transverse fibre strand spacing in the quasi-static tests. Cyclic loading showed no adverse effects on the anchorage length in the fatigue tests. Only specimens with very short anchorage lengths failed quickly.*

*The residual strength of non-failed specimens was determined in quasi-static tensile tests. Adverse effects of fatigue could not be found either. The residual strength was close to the quasi-static reference strength for all specimens, some exceeding it significantly.*

► **Titel | Title**

TP C3-V2.1-I-a: Ermüdungsverhalten von Carbonbeton sowie carbonbetonverstärkte Bauteile unter statischer und zyklischer Dauerlast im Verbundvorhaben C3-V2.1: Dauerstandverhalten von Carbonbeton

*TP C3-V2.1-I-a: Fatigue behaviour of carbon reinforced concrete and structural elements strengthened with carbon reinforced concrete under static and cyclic long-term load as part of the joint research project C3-V2.1: Long-term behaviour of carbon reinforced concrete*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

09.2017 – 02.2020

► **Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

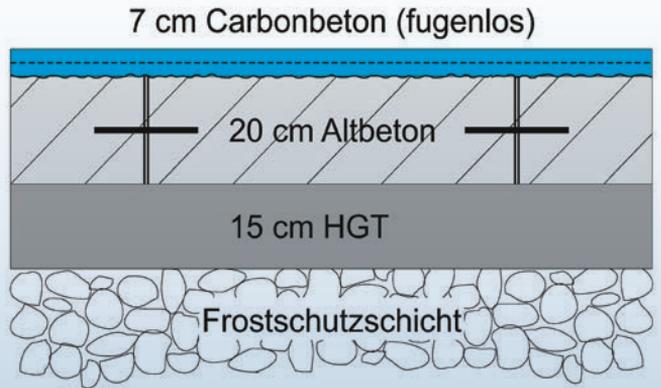
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Juliane Wagner,  
Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze

► **Projektpartner | Project partners**

7 Partner, davon 4 aus der Forschung und 3 Firmen



Betonfahrbahndecke (links) mit Carbonbeton als Verstärkungsschicht (rechts) | Concrete pavement (left) with carbon concrete as reinforcing layer (right) | Photo, graphic: RUB, Lehrstuhl für Baustofftechnik

## RISSENTWICKLUNG BEI FAHRBAHNDECKEN AUS CARBONBETON

### CRACK DEVELOPMENT IN CARBON REINFORCED CONCRETE ROAD PAVEMENTS

In Betonfahrbahndecken werden zur Vermeidung der Rissbildung infolge hygrischer und thermischer Beanspruchung gezielt Querscheinfugen geschnitten. Aufgrund der hohen Beanspruchungen, die aus dem Verkehrsaufkommen und den Witterungsbedingungen resultieren, stellen die eingebrachten Fugen zugleich eine Schwachstelle im Beton dar. Somit ist eine kontinuierliche Instandhaltung und Wartung notwendig.

Um nicht den gesamten Betonoberbau einschließlich der hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) erneuern zu müssen, wird in diesem Forschungsvorhaben der Ansatz einer 3 bis 7 cm starken, fugenlose Carbonbetonschicht als Sanierungsmaßnahme verfolgt. Da im Carbonbeton kleinere Rissbreiten zu erwarten sind, würde dieser den Altbeton vor dem Eindringen von Wasser und Taumit-

*In concrete pavements, transverse joints are specifically cut to prevent cracking as a result of hygric and thermal stress. Due to the high loads resulting from the traffic volume and the weather conditions, the joints also represent a weak point in the concrete. Therefore, continuous maintenance is necessary.*

*In order not to have to renew the entire concrete superstructure, this research project pursues the approach of providing a 3 to 7 cm thick, jointless carbon reinforced concrete layer as a rehabilitation measure. Since smaller crack widths are to be expected in carbon reinforced concrete, this would protect the old concrete from the penetration of water and de-icing agents. The occurring crack widths in the roadway concrete developed by the Ruhr-Universität Bochum in combination with the selected carbon grid is tested by standardised expansion specimen tests*

tel schützen. Welche Rissbreiten sich in dem von der Ruhr-Universität Bochum entwickelten Fahrbahnbeton im Verbund mit dem ausgewählten Carbongelege einstellen, wird über standardisierte Dehnkörperversuche im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden überprüft. Die Messung der Rissbreiten und -abstände erfolgt dabei mittels Photogrammetrie. Zur Vorhersage soll zudem ein EDV-Modell entwickelt werden. Dieses wird auf Basis der in Auszugversuchen ermittelten Kraft-Rissöffnungs-Kurven erstellt. Daraus können die für eine gewählte Kraft erforderliche Verankerungslänge sowie der minimale Rissabstand und die mittlere Rissbreite iterativ bestimmt werden. Die Berechnungsergebnisse werden mit den Ergebnissen aus den Dehnkörperversuchen verglichen. Dabei werden weitere Lastfälle aus z. B. Temperatureinwirkungen (20 °C, 80 °C und -18 °C) mit unterschiedlicher Lagenanzahl an Carbonbewehrung überprüft.

Während die Rissabstände und -breiten bei den einlagig bewehrten Dehnkörpern sehr gut mit dem EDV-Modell berechnet werden können, wird bei den zweilagigen Probekörpern nur die maximale Rissbreite mit der Berechnung erfasst, was u. a. der Lagegenauigkeit des Carbongeleges zugeschrieben wird. Die Ergebnisse der analytischen Rissbreitenermittlung liegen jedoch auf der sicheren Seite und können somit für die Weiterentwicklung der rechnerischen Erfassung von Rissabständen und -breiten in Fahrbahndecken aus Carbonbeton genutzt werden.



In frischem Straßenbeton eingebettetes Carbongelege | Carbon fibre embedded in fresh road concrete | Photo: Robert Schneider

*in the Otto Mohr Laboratory of the TU Dresden. The crack widths and distances are measured by photogrammetry. For predicting them a calculation model is to be developed. This model will be created on the basis of the force-crack-opening curves determined in single pull-out tests. From this the required anchorage length as well as the minimum crack distance and the average crack width can be determined iteratively. The calculation results are compared with the results of the expansion specimen tests. Further load cases from e. g. temperature effects (20 °C, 80 °C and -18 °C) with different number of layers of carbon reinforcement are tested. In the case of the two layers, a lower concrete tensile force or crack force is generated compared to one layer due to the smaller available concrete cross-sectional area.*

*While the crack distances and widths of the test specimens with a single layer can be determined very well with the calculation model, only the maximum crack width is registered with the calculation for the double layer test specimens. However, the results of the calculated crack width determination can be used for further research on the calculation of crack distances and widths in carbon reinforced concrete road pavements.*

► **Titel | Title**

Rissbreitenuntersuchung als Teilvorhaben im Vorhaben C3-V4.12: Carbonbeton zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken

*Research of crack growth as part of the joint project C3-V4.12: Carbon concrete for a jointless restoration of damaged concrete road pavement*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>-Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

03.2017 – 02.2019

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Kristina Farwig, Dipl.-Ing. Robert Schneider

► **Projektpartner | Project partner**

Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum



Intakte Brückenkappe bei einer Autobahnüberführung | Intact bridge cap at a motorway overpass | Photo: RUB, Lehrstuhl für Baustofftechnik

## BRÜCKENKAPPEN MIT CARBONBEWEHRUNG

### BRIDGE CAPS WITH CARBON REINFORCEMENT

Zum Schutz tragender Brückenkonstruktionen werden Brückenkappen eingesetzt, auf denen Geländer sowie Schutzeinreichungen installiert sind. Die exponierte Lage führt dazu, dass die Kappen starken Beanspruchungen ausgesetzt sind. Sie müssen nicht nur Anpralllasten abtragen können, sondern auch den auftretenden hygrischen und thermischen Witterungsbedingungen standhalten. Da der Beton i. d. R. fugenlos über die gesamte Kappenlänge aufgebracht wird, entstehen durch die Behinderung der Verschiebungen zwischen Kappe und Überbau Zwangsspannungen, die zu Rissen in Querrichtung führen. Durch den Eintrag von chloridhaltigem Wasser kann es zur Korrosion der Bewehrung kommen, die aus Gründen der Rissbreitenbegrenzung möglichst oberflächennah zu platzieren ist.

Um den Längsbewehrungsgrad und zugleich die Rissbreiten gering zu halten, werden spezielle Kappenbetone eingesetzt, die einen vergleichsweise hohen Wasser-Zementwert und damit eine geringere Betonzugfestigkeit

*Bridge caps are used for the protection of load-bearing bridge structures. The exposed position of the caps means that they are exposed to heavy loads. They must not only be able to withstand impact loads, but also occurring hygric and thermal weather conditions. Since the concrete is usually applied seamlessly over the entire length of the cap, the obstruction of the displacement between the cap and the superstructure consequently results in restraining stresses with cracks in the concrete. The entry of chloride-containing water leads to corrosion of the reinforcement, which must be placed as close to the surface as possible in order to limit the crack width sufficiently.*

*To keep the degree of longitudinal reinforcement as well as the crack widths low, special cap concretes with a high water-cement ratio and thus a lower concrete tensile strength are used. In addition, a high frost-thaw resistance is required for cap concretes. This contradictory approach to the construction of bridge*

aufweisen. Gleichzeitig wird bei Kappenbetonen ein hoher Frost-Taumittel-Widerstand gefordert. Diese widersprüchliche Herangehensweise bei der Ausführung von Brückenkappen führt dazu, dass immer wieder Frostschäden infolge von Abwitterungen der Betonoberfläche beobachtet werden. Somit kann die geforderte Gebrauchstauglichkeit, die eine griffige Oberflächentextur impliziert, selten über 50 Jahre hinweg gewährleistet werden, sodass die Kappen meist mehrfach erneuert werden müssen.

Ziel des Projektes ist es daher, die Schwachstellen der Kappenbetone durch den Einsatz von Carbonbewehrung zu entschärfen und die Anwendbarkeit eines am IMB erstellten EDV-Tools zur Vorhersage der Rissbreiten und -abstände zu verifizieren. Die Vorteile von Carbongelelagen liegen dabei auf der Hand. Sie sind nicht nur korrosionsbeständig, sondern besitzen gleichzeitig eine hohe Steifigkeit und können oberflächennah platziert werden. Für die Begrenzung der Rissbreiten und -abstände ist der Verbund zwischen der Bewehrung und dem Beton ausschlaggebend. Dieser kann in Dehnkörperversuchen experimentell überprüft und dabei die Rissbreiten und -abstände mit Photogrammetrie gemessen werden. Das Rechentool basiert auf einer in Auszugversuchen ermittelten Kraft-Rissöffnungs-Beziehung, mit deren Hilfe die erforderliche Verankerungslänge sowie der minimale Rissabstand und die mittlere Rissbreite berechnet und mit den Versuchsergebnissen verglichen werden können.



Einsatz von textiler Bewehrung für Brückenkappen | Use of textile reinforcement for bridge caps | Photo: RUB, Lehrstuhl für Baustofftechnik

*caps means that frost damage of the concrete surface is frequently observed. Thus, the required serviceability, which implies a non-slip surface texture, can rarely be guaranteed for more than 50 years, so that the caps usually have to be renewed several times.*

*The aim of the project is therefore to mitigate the weak points of the cap concretes by using carbon reinforcement and to be able to predict crack widths and distances by using a developed calculation tool.*

*The advantages of carbon fabrics are obvious. They are not only corrosion-resistant, but also have high rigidity and can be placed close to the surface. The bond between the reinforcement and the concrete is decisive for limiting the crack widths and distances. It can be tested experimentally. In expansion specimen tests crack widths and distances can be measured by photogrammetry. The tool is based on a force-crack-opening relationship determined in single pull-out tests, which can be used to calculate the required anchorage length, the minimum crack distance and the mean crack width to compare them with the test results.*

► **Titel | Title**

TP C3-VI.6-2: Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Brückenkappen durch den Einsatz von Carbonbewehrung als Teilvorhaben im Vorhaben C3-V-I.6: Brückenkappen mit Carbonbewehrung

*TP C3-VI.6-2: Improvement of the durability of bridge caps through the use of carbon reinforcement as part of project C3-V-I.6: Bridge caps with carbon reinforcement*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>-Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

01.2017 – 11.2018

► **Leiter | Project manager**

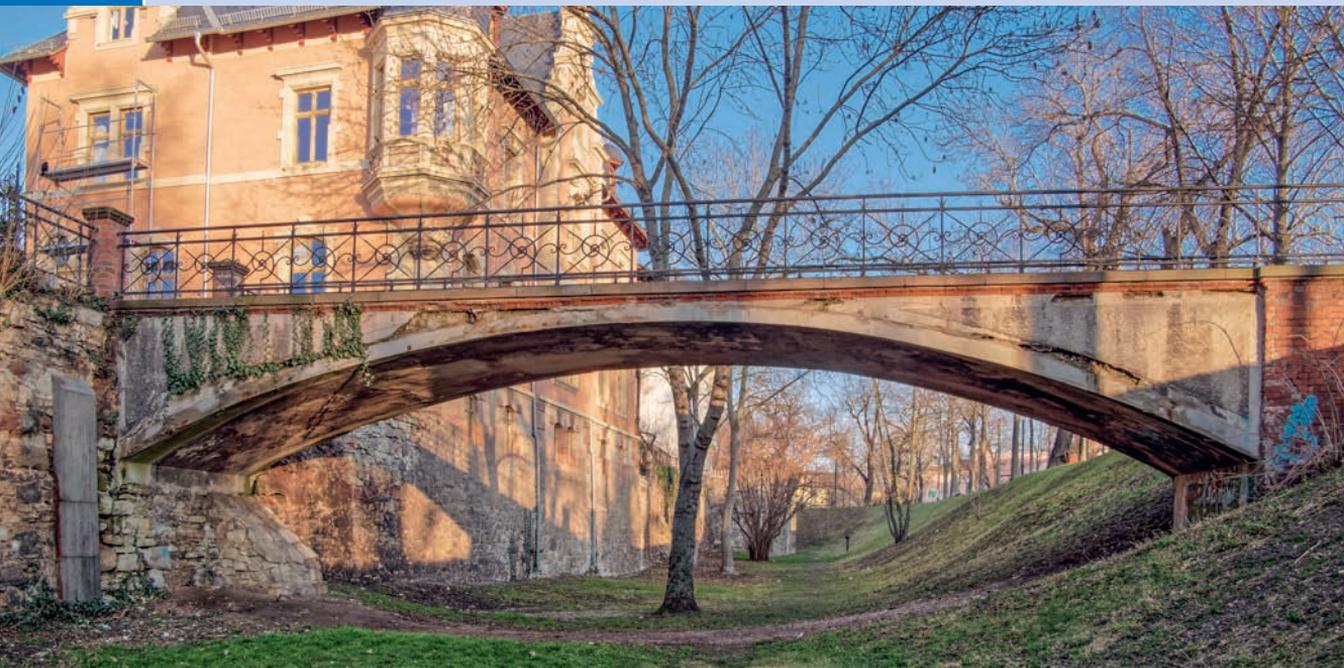
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Kristina Farwig, Dipl.-Ing. Robert Schneider

► **Projektpartner | Project partner**

Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum



Thainburgbrücke Naumburg, Ansicht und sichtbare Schäden | *Thainburg bridge Naumburg, view and damages* | Photo: Harald Michler

## SANIERUNG DER THAINBURGBRÜCKE NAUMBURG MIT CARBONBETON

### *RESTORATION OF THE THAINBURG BRIDGE IN NAUMBURG WITH CARBON REINFORCED CONCRETE*

Die Erhebung des Naumburger Doms zum Weltkulturerbe in 2018 rückte auch eine kleine Bogenbrücke, die Thainburgbrücke, in den Fokus. Im Rahmen der Planung zu deren Abriss und Ersatzneubau entdeckte das Ingenieurbüro Steinbacher Consult, dass es sich bei der den Stadtgraben überspannenden Brücke um eine Bogenbrücke aus den Jahren 1893/94 handelt und dieses Bauwerk somit eines der ersten Stahlbetonbauwerke Deutschlands darstellt. Das Denkmalamt erklärte das extrem schlanke Bogentragwerk aufgrund seiner deutschlandweiten Einzigartigkeit zum einmaligen Bauwerk.

Allerdings ist die Bogenbrücke altersbedingt sehr sanierungsbedürftig, da der Beton nahezu vollständig carbonatisiert und damit die vorhandene Stahlbewehrung extrem korrosionsgeschädigt ist. Das Institut für Massivbau der TU Dresden konnte eine Sanierungslösung mit

*The designation of the Naumburg Cathedral as a World Heritage Site in 2018 not only recognized the significance of such a structure but also brought a small arch bridge into focus – the Thainburg Bridge. As part of the planning for its demolition and replacement construction, the engineering firm Steinbacher Consult discovered, that it is an arch bridge built during the years 1893/94, making this building one of the first reinforced concrete structures in Germany. The Monuments Office declared the extremely slender arch structure to be a unique building due to its rarity throughout Germany.*

*However, due to the age of the bridge, it is in need of renovation because the concrete is almost completely carbonated, and the existing steel reinforcement is extremely damaged by corrosion. The Institute of Concrete Structures of the TU Dresden proposed a rehabilitation solution with*

Carbonbeton vorschlagen und die Gremien der Stadt Naumburg von dieser überzeugen. Der Gedankengang: „Das Bauwerk war zur Zeit seiner Errichtung extrem innovativ, folglich sollte es auch mit einer innovativen Technik saniert werden“, traf nicht nur bei den Beteiligten aus dem Denkmalschutzbereich auf Zustimmung.

Mit einer dünnen Verstärkungsschicht aus Carbonbeton in Anlehnung an die Zulassung TUDALIT kann das Bauwerk dauerhaft saniert und der Nachwelt erhalten werden, ohne das Erscheinungsbild und damit die Schlankheit in der Ansicht sichtbar zu beeinflussen. Ein positiver Aspekt für den Denkmalschutz ist, dass die originale Substanz weitgehend erhalten bleibt. Bezüglich der spezifischen Umgebungsbedingungen der Brücke kann angeführt werden, dass die Verstärkung in Anlehnung an die Zulassung TUDALIT hier auch im Außenbereich anwendbar ist. Die Verstärkung der Bogenunterseite soll durch eine weitere Schicht Carbonbeton auf dem Bauwerk ergänzt werden, um dieses dauerhaft gegen eindringende Nässe abzudichten. Das Eindringen von Wasser wird durch das feine Rissbild weitgehend verhindert, gleichzeitig gewährleistet diese mineralische Schicht weiterhin ein gutes Austrocknen des Bauwerkes.

Die Ausführung der Sanierungsmaßnahme ist für das Jahr 2019 geplant.

*carbon reinforced concrete and convinced the city committees of Naumburg to use this solution. The train of thought: "The building was extremely innovative at the time of its construction, so it should be rehabilitated with innovative technology," was a decisive argument to get an approval.*

*With a thin reinforcing layer of carbon reinforced concrete analogous to TUDALIT, the structure can be permanently restored and preserved for posterity, without visibly affecting the appearance and thus the slenderness. A positive aspect of heritage protection is that the original substance of the structure is preserved. With regard to the specific ambient conditions of the bridge, it can be stated that strengthening analogous to the TUDALIT approval is also applicable here in outdoor areas. The reinforcement of the underside of the arch should be supplemented by another layer of carbon reinforced concrete to seal it permanently against penetrating moisture. The ingress of water is largely prevented by the fine crack pattern, at the same time this mineral layer ensures good drying conditions.*

*The restoration is planned for the year 2019.*



Thainburgbrücke Naumburg, Zustandsbild Beton Unterseite | Thainburg Bridge in Naumburg, condition of the concrete underside | Photo: Harald Michler

- ▶ **Titel | Title**  
Sanierung Thainburgbrücke Naumburg  
*Restoration Thainburgbrücke Naumburg*
- ▶ **Bauherr | Constructor**  
Stadt Naumburg
- ▶ **Zeitraum | Period**  
Seit 12.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
Dr.-Ing. Harald Michler,  
Dipl.-Ing. Sebastian May
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
CarboCon GmbH, Dresden und andere



Herstellung biegeverstärkter Stahlbetonplatten mit Carbonbeton | Production of carbon concrete reinforced ceiling elements | Photo: Stefan Gröschel

## GROSSBAUTEILE ERFOLGREICH GEPRÜFT

### SUCCESSFUL COMPONENT TESTS

Das Vorhaben C3-V2.7 steht für die Erstellung von Gesamtkonzepten für die nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton. Hierbei haben es sich zwei Forschungseinrichtungen und fünf Wirtschaftspartner zur Aufgabe gemacht, die bestehenden Erkenntnisse zum Verstärken mit Carbonbeton praxisorientiert aufzubereiten und auf die neue Generation der Carbontextilien zu übertragen. Dabei werden zahlreiche Großbauteilversuche in Kooperation mit dem C3-V1.2-Vorhaben „Nachweis- und Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen“ durchgeführt und mit den bestehenden Formelwerken überprüft. Letztere werden bei Notwendigkeit angepasst.

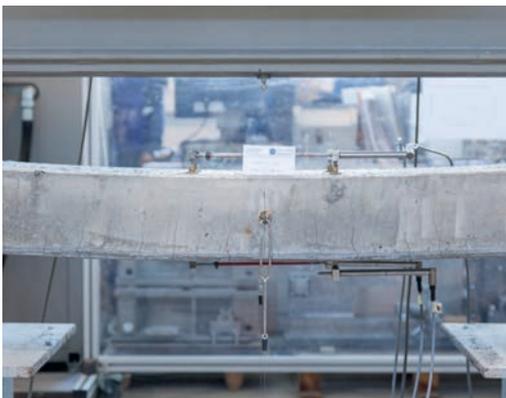
Alle Arbeiten werden im stetigen Austausch zwischen Forschungs- und Wirtschaftspartnern erledigt, damit die Baupraxis ein anwendbares Verstärkungskonzept zum Ertüchtigen von Bauteilen erhält. Zuerst wurden die theoretischen Grundlagen zusammengestellt und auf ihre Handhabbarkeit geprüft. Anschließend fand die Planung der großteiligen

*Within the main C<sup>3</sup>-project (Carbon Concrete Composite) there are various subprojects. One of these is called C3-V2.7 and the main task of this projects is to develop "Overall concepts for the retrofit of components with carbon reinforced concrete". To create those concepts two research institutions and five business partners collaborate. In cooperation with the project C3-V1.2 "Verification and testing concepts for standards and approvals" a lot of large-scale component tests will be carried out and existing formulas verified and, if necessary, adjusted.*

*There are regular exchanges between business and research partners on all relevant work results to achieve a practice-oriented concept at the end. The first step in the project C3-V2.7 was to write a paper that includes existing formulas of strengthened reinforced concrete structures and afterwards, monitored by business partners for their manageability. Second, the planning for the component tests began. The bending behaviour of carbon reinforced concrete was carried out on a*

Versuchskörper für die biege- sowie quer- kraftverstärkten Bauteile statt. Die Biegever- stärkung mit Carbonbeton wurde an Platten- querschnitten untersucht. Dabei wurden die Lageanzahl und die Textilart der Carbonbe- wehrung variiert. Die Stahlbetonplattenquer- schnitte wurden ein- bzw. zweilagig mit der Carbonbewehrung praxisnah verstärkt und im Labor in einem 4-Punkt-Biegeversuch geprüft. Da bereits aus den kleinteiligen Versuchen die Leistungsfähigkeit der neuen Carbontextile bekannt war, wurde bei den Grundkörpern eine Betonfestigkeitsklasse C50/60 gewählt, um die volle Bruchspannung der Carbonbe- wehrungen ausnutzen zu können. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass eine Traglast- steigerung um bis zu 400 % im Vergleich zum unverstärkten Grundkörper möglich ist.

Die Querkraftverstärkungen werden aktuell an T-Trägern durchgeführt. Hierbei wurden sowohl die Carbonbewehrung als auch die Geometrie der T-Träger variiert. Es gibt einen schlanken Plattenbalken und einen gedrunge- nen. Hinsichtlich der mechanischen Eigen- schaften der Carbonbewehrungen erfolgte eine Verstärkung seitlich an den Stegflächen oder seitlich sowie unterhalb des Steges. Die Verstärkungsarbeiten wurden auch hier pra- xisnah durchgeführt. Die Bauteilprüfung er- folgte im Otto-Mohr-Laboratorium. Die ersten verstärkten Probekörper haben bei Querkraft- versuchen gezeigt, dass eine Laststeigerung auf 150 % im Vergleich zum Grundkörper mög- lich ist. Darauf aufbauend wird ein mechani- sches Bemessungsmodell für die Verstärkung erstellt.



Prüfung eines biegeverstärkten Plattenquerschnittes | Testing of a carbon concrete reinforced ceiling element | Photo: Stefan Gröschel

*reinforced concrete plate cross section. During the tests the amount of reinforcement layers and the reinforcement material varied. A four point bending test was used to examine the load-bearing behaviour and a load increase of 400 % could be determined.*

*At present, T-beams are being used to examine the shear strengthening reinforced concrete. Besides a variation of the carbon reinforcement two different geometries of the T-beam are investigated. With regard to the mechanical properties of the carbon reinforcements the lateral web surfaces were reinforced as well as lateral and below the web. Reinforcement works were carried out with regard to their practicality. After doing the strengthening work the components were tested at the Otto Mohr Laboratory and first results have shown a load increase of about 150 % compared to the original ones. Based on these results, a mechanical design model will be created.*

#### ► Titel | Title

TP C3-V2.7-1a: Bemessungsmodelle und Materialspezifikation im Verbundvorhaben C3-V2.7: Erstellung von Gesamtkonzepten für die nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton

*TP C3-V2.7-1a: Design models and material specification as part of the joint research project C3-V2.7: Development of a general plan to strengthen an existing concrete structure with carbon reinforced concrete*

#### ► Förderer | Funding

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

#### ► Zeitraum | Period

05.2017 – 04.2020

#### ► Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

#### ► Leiter Teilvorhaben | Subproject manager

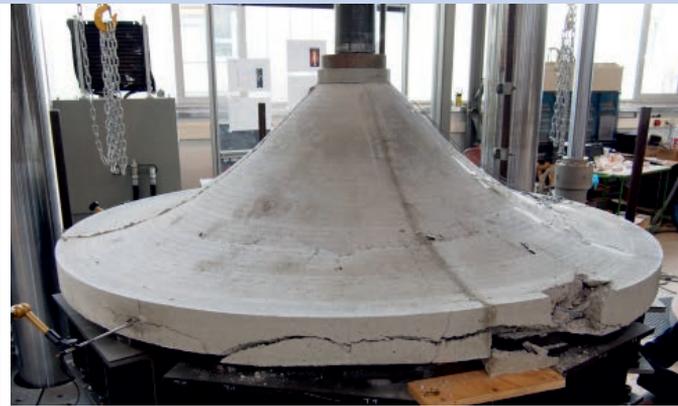
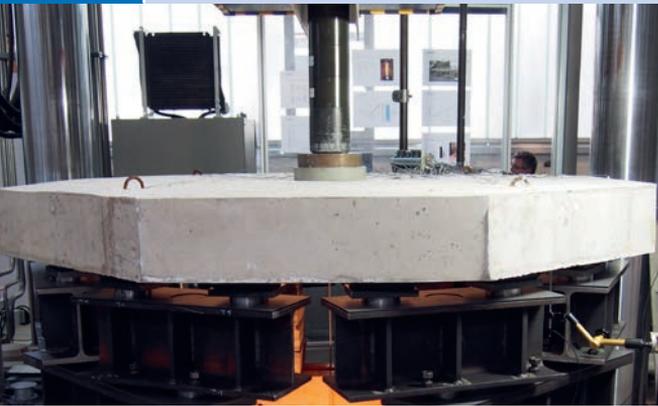
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

#### ► Bearbeiter | Contributors

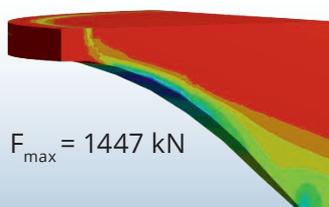
Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters

#### ► Projektpartner | Project partners

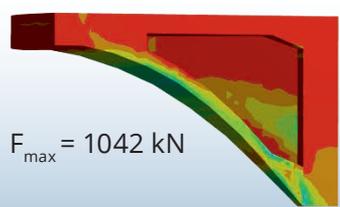
Institut für Massivbau, RWTH Aachen | Ingenieurbüro Grassl GmbH, Berlin | Technologie- und Entwicklungszentrum Groz-Beckert KG, Albstadt | Hörnig Bauwerkssanierung GmbH, Aschaffenburg | Torkret GmbH, Essen | Betonfertigteile G. Quadflieg GmbH, Naumburg



$F_{\max} = 443 \text{ kN}$



$F_{\max} = 1447 \text{ kN}$



$F_{\max} = 1042 \text{ kN}$

Referenzplatte im Vergleich zur gevouteten Platte | Reference slab compared to the haunched ceiling slab | Photos, graphic: Kristina Farwig

## PILZKÖPFE AUS BETON – DECKENFORMEN AM STÜTZENANSCHLUSS

### MUSHROOM-SHAPED COLUMN HEADS MADE OF CONCRETE

Was bedeutet heutzutage effizientes Bauen? Wirtschaftliche Effizienz beim Bauablauf wird durch konstante Querschnittsdecken, einfache Schalungsformen und schnelle Abläufe bei der Herstellung erreicht. Betrachtet man stattdessen die Materialeffizienz, ist ein konstanter Deckenquerschnitt bei zweiachsig tragenden Flachdecken nicht unbedingt die sinnvollste Wahl, denn bei punktgestützten Deckenplatten wird besonders Material im Bereich des Stützenanschlusses benötigt, um die hohen Stützmomente sowie die zusätzlich wirkenden Querkräfte aufzunehmen. Demgegenüber ist in anderen Deckenbereichen weniger Material für den Lastabtrag notwendig.

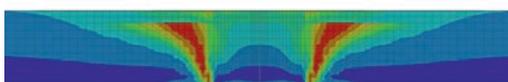
Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ wurden daher in der letzten Phase des bearbeiteten Teilprojektes unterschiedliche Deckenstützen-Anschlüsse analytisch und numerisch in ANSYS® 17 untersucht und eine ausgewählte Form experimen-

*What does efficient building mean today? Economic efficiency in the construction process is achieved by constant cross-sectional slabs, simple formwork shapes and fast production processes. If, instead, one considers material efficiency, a constant slab cross-section is not necessarily the most sensible choice for two-axis load-bearing flat slabs. For point-supported ceiling slabs, material is particularly required in the area of the column connection in order to absorb the high support moments and the additional transverse forces. On the other hand, less material is required for load transfer in other ceiling areas.*

*Within the framework of the DFG Priority Programme 1542 “Concrete light”, different slab-column connections were therefore examined analytically and numerically in ANSYS® 17 in the final phase of the subproject and a selected form was tested experimentally. The volume of the slab cut-outs as well as the existing*

tell überprüft. Das Volumen der Deckenausschnitte sowie der vorhandene Bewehrungsgrad wurden dabei konstant gehalten und die erreichten Traglasten miteinander verglichen. Zur Reduzierung des Rechen- und Prüfaufwands wurden die numerische Berechnung sowie die experimentelle Überprüfung an einem kreisrunden Deckenausschnitt durchgeführt. Bei der numerischen Untersuchung zeigte sich, dass bereits eine geringfügige Umverteilung des Materials an der Unterseite des Deckenausschnitts eine deutlich höhere Traglast ermöglicht und damit der Beton auf Druck sowie der Stahl auf Zug besser ausgenutzt werden können. Die Materialeffizienz wurde anhand unterschiedlich ausgebildeter Voutenformen, die verschiedene Lasteinleitungswinkel sowie Steigungen aufwiesen, in den numerischen Simulationen untersucht.

In der experimentellen Überprüfung der ausgewählten Variante konnten aus drei identisch hergestellten Prüfkörpern im Mittel eine Laststeigerung von ca. 190 % festgestellt sowie das numerisch erkennbare Versagensbild bestätigt werden. Während bei der Referenzplatte ein typisches Durchstanzversagen zu beobachten war, zeigte sich bei der gevouteten Platte ein deutlich ausgeprägtes Biegerissbild sowie eine Verschiebung des Betondruckversagens von der Lasteinleitung in Richtung Auflagerrand. Nach Validierung der numerisch ermittelten Traglasten wurde in einer weiteren Variante Betonvolumen im Plattenkern unter Beibehaltung der gewählten Form entnommen. Die Betonmasse lässt sich um mindestens 30 % reduzieren bei einer Traglaststeigerung von 135 % im Vergleich zur ebenen Platte, wenn das Material entsprechend des Kraftflusses angeordnet wird.



Durchstanzkegel der Referenzplatte im Versuch im Vergleich zur numerischen Abbildung der plastischen Hauptzugdehnungen | *Punching cone of the reference slab in the experiment compared to the numerical depiction of the plastic main tensile strains* | Photo: Thomas Häntzschel, graphic: Kristina Farwig

*degree of reinforcement was kept constant and the achieved loads were compared with each other. In order to reduce the calculation and testing effort, the numerical calculation and the experimental verification were carried out on a circular slab section. The numerical investigation showed that even a slight redistribution of the material on the underside of the slab cut-out allows a significantly higher load-bearing capacity and thus the concrete under pressure and the steel under tension can be better utilised. The material efficiency was investigated in the numerical simulations on the basis of differently shaped haunches with different load application angles and gradients.*

*In the experimental examination of the selected variant, an average load increase of approx. 190 % could be determined from three identically manufactured test specimens and the numerically recognisable failure pattern could be confirmed. While a typical punching failure was observed with the reference plate, a clearly pronounced bending crack pattern and a shift of the concrete pressure failure from the load introduction towards the support edge was observed with the haunched plate. After validation of the numerically determined loads, a further variant was used to remove concrete volume from the slab core while retaining the selected shape. The concrete mass could be reduced by at least 30 % with a load increase of 135 % compared to the flat slab if the material is arranged according to the force flow.*

► **Titel | Title**

Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen

*Lightweight ceiling structures made of layered high-performance concretes*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG) / SPP 1542

► **Zeitraum | Period**

10.2011 – 10.2014 (Phase 1)

11.2014 – 09.2018 (Phase 2)

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Kristina Farwig



Schalungen für untersuchte Stützenformen bei einer kombinierten Beanspruchung aus Längskraft und Biegung | Formwork for investigated column shapes under a combined load of longitudinal force and bending | Photo: Angela Schmidt

## EFFIZIENT GEFORMTE STÜTZEN

### EFFICIENTLY SHAPED COLUMNS

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ wurde innerhalb dieses Teilprojekts untersucht, inwiefern die Tragfähigkeit von Druckgliedern durch eine kraftflussgerechte Formgebung erhöht werden kann. Bis auf den abschließenden Bau eines Demonstrators ist die Bearbeitung des Projekts nach sieben Jahren erfolgreich abgeschlossen.

In einem typischen Stahlbetonskelettbau handelt es sich bei den charakteristischen Belastungsfällen von Druckgliedern i. d. R. um eine planmäßig zentrische Belastung der Innensäulen und um eine, aus den wirkenden Rahmenmomenten resultierende, außermittige Beanspruchung der Randstützen. In der ersten Förderphase des Projektes wurde sich deshalb auf die Untersuchung axial belasteter Stützen konzentriert, während in der zweiten Förderperiode der Fokus auf einer kombinierten Beanspruchung aus Längsdruck und Biegung lag.

Bei einer planmäßigen zentrischen Belastung lässt sich eine günstigere Stützenform als ein konstanter Verlauf für schlanke Stützen finden,

*Within the DFG Priority Programme 1542 “Concrete light”, this subproject investigated the extent to which the load-bearing capacity of compression members can be increased by shaping them according to the flow of forces. With the exception of the construction of the final demonstrator, work on the project has been completed after seven successful years.*

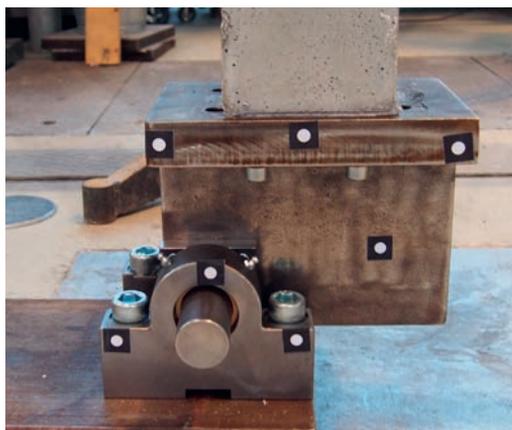
*In a typical reinforced concrete skeleton structure, the characteristic load cases of compression members usually involve design for a centric load on the inner columns and an eccentric load on the edge columns resulting from the frame moments. In the first funding period of the project, the focus was, therefore, on the investigation of axially loaded columns, while in the second funding period, the focus was on a combined load of longitudinal compression and bending.*

*With a planned centric load, and taking into consideration a stability failure, a more favourable column shape for slender columns could be defined than that of a column with a constant cross-section. For compact columns,*

bei denen ein Stabilitätsversagen eintreten würde. Für gedrungene Stützen, welche infolge des Axialdrucks keine Auslenkung erfahren, ist die konstante Form bereits die beste, da diese näherungsweise eine konstante Spannung über die gesamte Stützhöhe erzeugt. Dagegen kann die Stabilität einer Stütze sowohl durch ihre Querschnittsform als auch durch ihre Formgebung in Stablängsrichtung erhöht werden. Beide Einflüsse wurden rechnerisch untersucht und anschließend experimentell verifiziert. Durch Anpassung der Form in Längsrichtung konnte eine Traglaststeigerung von ca. 25 % im Vergleich zu einer volumengleichen Referenzstütze nachgewiesen werden.

Bei einer kombinierten Beanspruchung ist das Verhältnis der einwirkenden Normalkraft zum jeweiligen Moment entscheidend für die Formfindung der Stützen. Neben der Gebäudeausführung ist hierfür die betrachtete Etage entscheidend, da bei einem ausreichend aussteiften Gebäude zwar die Biegebeanspruchung in allen Etagen nahezu konstant ist, jedoch die Druckkräfte von oben nach unten stetig ansteigen. Die Formfindung wurde beispielhaft für zwei verschiedene Belastungsverhältnisse durchgeführt und experimentell untersucht. Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Stützen wurde eine Laststeigerung von ca. 70 % erreicht.

Mit der Bearbeitung des Forschungsprojektes konnte gezeigt werden, dass Druckglieder durch Anpassung ihrer Form effizienter gestaltet werden können.



Lasteinleitungs-konstruktion bei exzentrischer Belastung | Lever arm construction for eccentric loading | Photo: Angela Schmidt

*which do not deflect due to axial compression, the constant shape is already the best, since it approximately produces constant stress over the entire height of the columns. On the other hand, the stability of a column can be increased both by its cross-sectional form and by its shape in the longitudinal direction of the rod. Both effects were investigated by calculation and subsequently verified experimentally. By optimizing the shape in the longitudinal direction, an increase in load capacity of approximately 25 % compared to that of a reference column of the same volume was achieved.*

*In the case of a combined load, the ratio of the applied normal force to the respective moment is decisive for the form-finding of the columns. In addition to the design of the building, the boundary conditions at the respective storey are the determining factor. Because, in a braced structure, the bending stress is almost constant on all floors, but the compressive forces constantly increase from the top to the bottom floor. The form-finding was carried out as a case study for two different load conditions. Subsequently, it was experimentally investigated. In the case of columns predominantly stressed by bending, a load bearing capacity increase of approximately 70 % was achieved.*

*The research project showed that compression members can be designed more efficiently by adapting their shape to the flow of forces.*

- ▶ **Titel | Title**  
Querschnittsadaptation für stabförmige Druckbauteile  
*Cross sectional adaption for rod-shaped elements in compression*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1542
- ▶ **Zeitraum | Period**  
07.2011 – 09.2014 (1. Periode)  
10.2014 – 06.2020 (2. Periode, kostenneutrale Verlängerung)
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Angela Schmidt



Faseroptische Sensoren, eingebettet in einem Trägergerüst aus Messing-U-Profilen | *Fibre optic sensors embedded in a support frame made of brass U-profiles* | Photo: Stefan Gröschel

## FASEROPTISCHE SENSOREN IM BETON

### FIBER OPTIC SENSORS IN CONCRETE

Für eine realistische Modellierung des Betonverhaltens, wie sie Prof. Petryna (TU Berlin) mittels einer verzerrungs- und energiebasierten Formulierung des Werkstoffgesetzes anstrebt, sind quantitative Aussagen zur lastinduzierten Anisotropie erforderlich. Die Modellparameter sollen nachvollziehbar aus messtechnisch ermittelten richtungsabhängigen Steifigkeiten, Festigkeiten und plastischen Verformungen abgeleitet werden. Dafür sind Versuche mit verschiedenen Be- und Entlastungspfaden mit z. T. wechselnden Belastungsrichtungen im dreiaxialen Spannungsraum geplant. Da die Seitenflächen der Probewürfel aber gleichzeitig oder nacheinander durch die Lasteinleitungsmittel belastet werden, stehen sie nicht für die Applikation von Messtechnik zur Verfügung. Die Wahl fiel daher auf faseroptische Sensoren (FOS), die die Dehnung kontinuierlich entlang ihrer Achse messen und die mittels eines Trägergerüsts im Beton positioniert werden.

In Vorversuchen an Mörtelproben wurde die Eignung des Messsystems im Beton nachgewiesen. Kriterium dafür war ein Vergleich mit

*Prof. Petryna (TU Berlin) is aiming for a realistic modelling of concrete behaviour by applying a strain- and energy-based formulation of the material law. This requires quantitative determinations of the load induced anisotropy. The model parameters are to be derived comprehensibly from direction-dependent stiffnesses, strengths and plastic deformations determined by measurements. Therefore, experiments with different loading and unloading paths with partly changing loading directions in the three-axial stress space are planned. Since the side surfaces of the test cubes are loaded simultaneously or successively by the load introduction medium, they are not available for the application of measurement technology. The choice, therefore, went to fibre-optic sensors (FOS), which measure the strain continuously along their axis and which are positioned in the concrete by means of a support frame.*

*The suitability of the measuring system in concrete was proven in preliminary tests on mortar samples. The evaluation criteria were comparisons with established*

etablierten Messmitteln wie Dehnmessstreifen und Photogrammetrie. Glasfasern mit Acrylat-Coating lieferten nur dann befriedigende Ergebnisse, wenn sie frei im Beton verlegt wurden. Dies ist aber hinsichtlich der Lagefixierung und des Schutzes der Fasern während der Betonage schwer realisierbar. Im Gegensatz dazu zeigen Glasfasern mit Polyimid-Coating qualitativ hochwertige Ergebnisse, unabhängig von der Art der verwendeten Klebstoffe, dem Vorhandensein von Klebstoff oder dem Messingprofil an der Messstelle. Darüber hinaus weisen sie im Vergleich zu Glasfasern mit Acrylat-Coating einen geringeren möglichen Umlenkradius auf.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde eine Faserführung für die würfelförmigen Probekörper entwickelt, bei der pro Raumrichtung vier Messstellen zur Verfügung stehen. Nach der Optimierung des Herstellungsprozesses – schließlich müssen die Sensorfasern vor allem die Betonage und das Schleifen der Betonoberseite überstehen – konnte die Eignung des Messsystems auch in ersten zwei- und dreiaxialen Versuchen nachgewiesen werden. Wie auch schon bei den Vorversuchen an Mörtelprismen konnte keine Beeinflussung der Festigkeit durch das Trägergerüst festgestellt werden.



Trägergerüst aus Messingprofilen zur Positionierung des faseroptischen Sensors im Beton | *Support frame made of brass profiles for positioning the fibre optic sensor in the concrete* | Photo: Stefan Gröschel

*measuring devices such as strain gauges and photogrammetry. Glass fibres with acrylate coating only provided satisfactory results if they were installed directly in the concrete. However, this is difficult to achieve with regard to the position fixing and protection of the fibres during casting. In contrast, glass fibres with a polyimide coating show high-quality results, regardless of the type of glue used, or the presence of glue or the brass profile at the measuring point. In addition, they have a smaller turning radius than acrylate-coated glass fibres.*

*Based on these findings, a fibre alignment system was developed for the cube-shaped test specimens with four measuring points per direction. After optimizing the manufacturing process - after all, the sensor fibres have to survive concrete casting and grinding of the surface - the suitability of the measuring system could also be demonstrated in the first two- and three-axial tests. As in the preliminary tests on mortar prisms, no influence on the strength by the supporting structure could be determined.*

► **Titel | Title**

Experimentell gestützte Modellierung von Versagensmechanismen hochfester Betone unter multiaxialer Beanspruchung – MABET

*Experimentally based modelling of failure mechanisms of high strength concretes under multi-axial loading – MABET*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► **Zeitraum | Period**

04.2017 – 03.2020

► **Leiter | Project manager**

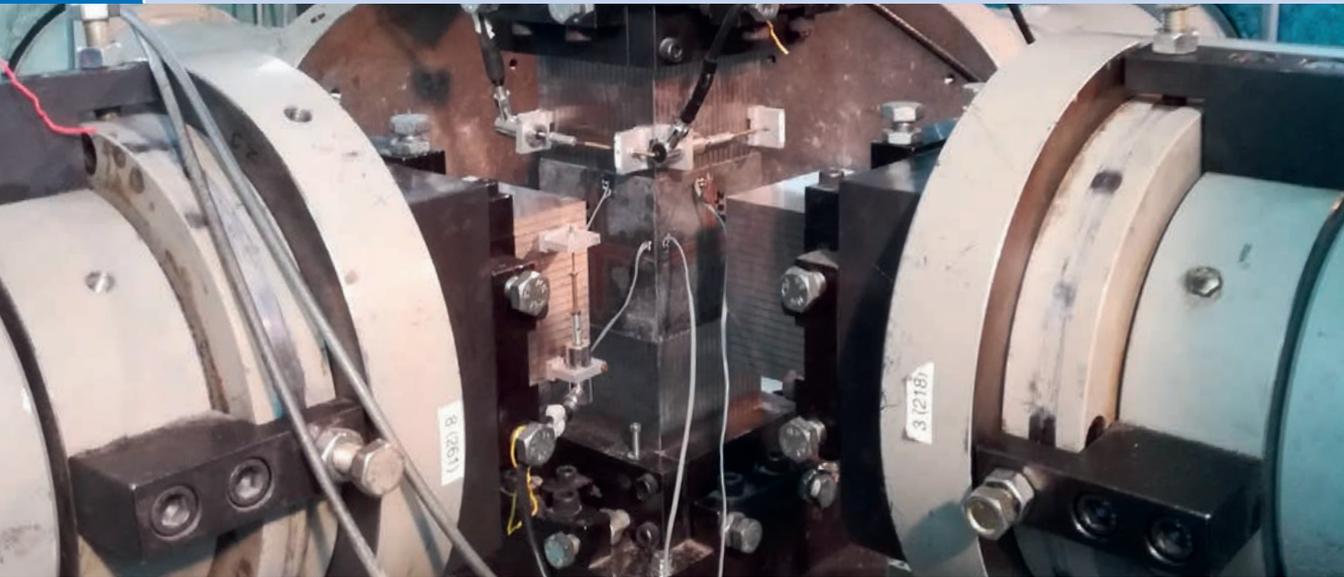
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

► **Projektpartner | Project partner**

FG Statik und Dynamik, TU Berlin



Druckprüfung in der Triaxialprüfmaschine des Otto-Mohr-Laboratoriums | Pressure testing in the triaxial testing machine of the Otto Mohr Laboratory | Photo: Melchior Deutscher

## UHPC UNTER ZYKLISCHER BEANSPRUCHUNG

### UHPC UNDER CYCLIC LOADING

Die Antwort auf steigende Ansprüche an Materialfestigkeit für immer größer und schlanker werdende Bauwerke heißt im Massivbau ultra-hochfester Beton (UHPC). Neben der hohen statischen Beanspruchbarkeit, ist der Baustoff beispielsweise bei weitgespannten Brücken zusätzlich zyklischen Belastungen ausgesetzt, was zu einem Ermüdungsversagen führen kann. Damit wird das Ermüdungsverhalten in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. Den noch bestehenden Wissenslücken zum Schädigungsverhalten von UHPC unter zyklischer Belastung widmet sich das DFG-Schwerpunktprogramm 2020, in welchem der Schädigungsverlauf unter verschiedenen Gesichtspunkten untersucht und numerisch beschrieben wird.

Das Teilprojekt „Lastinduzierte Temperaturfelder bei UHPC“ beschäftigt sich mit dem Phänomen der Erwärmung von UHPC unter zyklischer Beanspruchung. Diese wurde bei bisherigen Untersuchungen an Hochleistungsbetonen beobachtet und dabei als nicht vernachlässigbare Einflussgröße auf das Schädigungsverhalten erkannt. Ziel des Projekts ist es, die Ursachen und Auswirkungen der Erwärmung systematisch zu untersuchen und zu quantifizieren. In einem

*In the future, ultra-high-performance concrete (UHPC) will make it possible to build even larger and leaner structures than those that are feasible today. In addition to static loads, these type of structures is subjected to cyclic loading. Fatigue behaviour will, therefore, have a growing influence on the concrete construction industry in the future. The DFG Priority Programme SPP 2020 investigates the development of damage in a structure from various points of view, and it describes such behaviour using numerical methods. The research is devoted to filling the gaps between the existing knowledge and the actual damage behaviour of UHPC under cyclic loading.*

*The subproject “Load-induced increase in temperature at UHPC” deals with the phenomenon of UHPC heating under cyclic loading. This has been observed in previous investigations on high-performance concretes and has been recognised as a non-negligible influencing factor on the damage behaviour. The aim of the project is to systematically investigate and quantify the causes and effects of material warming. At the TU Darmstadt, a material model is developed on the basis of the results*

weiteren Schritt soll anhand der Ergebnisse ein Materialmodell an der TU Darmstadt entwickelt werden, welches das Schädigungsverhalten von UHPC unter hochfrequenter Druckbeanspruchung beschreibt.

Im ersten Arbeitspaket wurden die gewählten zwei Hochleistungsbetone umfangreich auf ihre statischen Grundwerte wie Zug- und Druckfestigkeit, Steifigkeit, mehraxiales Materialverhalten etc. geprüft. Damit wurde eine Grundlage zur Beschreibung eines statischen Materialmodells gelegt, welches im weiteren Verlauf bezüglich des Ermüdungsverhaltens ergänzt wird. Anhand einer zusätzlichen Prüfserie wurde die Festigkeitsentwicklung ermittelt, an der das Betonalter für die Ermüdungsversuche auf mindestens 90 Tage festgelegt wurde. Danach waren bei Druckfestigkeiten von etwa  $180 \text{ N/mm}^2$  keine Festigkeitssteigerungen mehr erkennbar und es können zyklische Belastungen über mehrere Tage aufgebracht werden.

Abschließend wurden im ersten Arbeitspaket Tastversuche durchgeführt, bei denen die gewählten Messmethoden sowie Versuchskonfigurationen getestet wurden. Dabei konnte mit Temperaturfühlern im und auf der Oberfläche des Probekörpers eine signifikante Erwärmung von bis zu  $35 \text{ K}$  gemessen werden. Im nächsten Schritt stehen die Hauptversuche an, in welchen die Einflussgrößen Oberspannung, Belastungsgeschwindigkeit, Größtkorn und Probekörpergröße untersucht werden.



Hochgeschwindigkeitsaufnahme eines Normzylinders aus ultrahochfestem Beton während des Druckversagens | *High speed recording of a standard cylinder made of ultra-high-strength concrete during compression failure* | Photo: Marcus Hering

*of the tests, which describes the damage behaviour under fatigue load.*

*In the first work package, the selected two high-performance concretes were tested for their basic static values such as tensile and compressive strength, stiffness, multi-axial material behaviour, etc. The values are used to describe a material model under static loading, which is then adapted for the fatigue behaviour under cyclic loading. In order to determine the minimum concrete age for the cyclic tests, an additional strength development was established. The compressive strength shows no significant change after 90 days and is approx.  $180 \text{ N/mm}^2$ . Thus, experiments over a longer period of time are possible.*

*Finally, in the first work package, preliminary tests were carried out in which the selected measurement methods and test configurations were tested. Significant heating of up to  $35 \text{ K}$  could be measured with temperature sensors in and on the surface of the test specimen. In the next step, the main tests will be carried out, in which the influencing factors of high stress, loading speed, maximum grain size and specimen size will be investigated.*

► **Titel | Title**

Einfluss lastinduzierter Temperaturfelder auf das Ermüdungsverhalten von UHPC bei Druckschwellbelastung

*Influence of load-induced temperature fields on the fatigue behaviour of UHPC subjected to high frequency compression loading*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 2020

► **Zeitraum | Period**

09.2017 – 08.2020

► **Leiter | Project manager**

Dr.-Ing. Silke Scheerer

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Melchior Deutscher

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Massivbau, TU Darmstadt



Messtechnische Erfassung während eines zyklischen Versuchs | Instrumentation for cyclic testing | Photo: Marc Koschemann

## VERBUNDERMÜDUNG VON STAHLBETON BOND FATIGUE OF STEEL REINFORCED CONCRETE

Mit dem Ausbau der Windenergie geht der Wunsch nach größeren, effizienteren und langlebigen Anlagen einher. Um dies zu ermöglichen, ist eine genaue Kenntnis über das Materialverhalten bei hochzyklischer Beanspruchung erforderlich, denn Windenergieanlagen werden innerhalb ihrer Betriebszeit mit bis zu  $N = 10^9$  Lastwechseln beansprucht.

Das laufende Verbundforschungsvorhaben WinConFat hat daher zum Ziel, die Materialermüdung von Windenergieanlagen aus Stahl- und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung zu erforschen. Neben Untersuchungen von Beton und Bewehrungsstahl durch Verbundpartner beschäftigt sich das Institut für Massivbau mit dem grundsätzlichen Verbundverhalten beider Baustoffe im hochzyklischen Ermüdungsbereich ( $N > 2 \cdot 10^6$ ).

Dafür wurden bisher 20 quasi-statische und 16 zyklische Versuche an Beam-End-Probekörpern durchgeführt. Bei den Tests wird ein hochfester Beton C120 untersucht, wobei die Verbundlänge

*With expansion of wind energy, there is a desire for larger, more efficient and long-lasting facilities. In order to make this possible, exact knowledge of the material behaviour under high-cyclic fatigue loading is necessary, because wind power plants are exposed to up to  $N = 10^9$  load cycles during service life.*

*Hence, the ongoing joint research project WinConFat aims at investigating the fatigue behaviour of wind-powered plants made out of reinforced and prestressed concrete under high cyclic loading. Besides material studies for concrete and steel reinforcement by other project partners, the Institute of Concrete Structures of TU Dresden sets the focus on the investigation of the bond between both materials, when subjected to a very high fatigue cycle regime ( $N > 2 \cdot 10^6$ ).*

*Therefore, 20 monotonic and 16 cyclic tests have been carried out on beam-end specimens so far. In the tests, a high-strength concrete C120 is used and the bond length is twice the bar diameter. In reference to the monotonic pull-out force (approx.*

das Zweifache des Stabdurchmessers beträgt. In Abhängigkeit der statischen Auszugskraft (ca. 70 kN) werden bei den zyklischen Versuchen eine sinusförmige Zugschwellbelastung mit einem Unterlastniveau von 40 % und Oberlastniveaus von 75 bis 80 % aufgebracht. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits kleine Änderungen der Oberlast erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer der Versuche haben. So konnten die Proben bei einem Oberlastniveau von 77 % 10 Millionen Lastwechseln ohne Versagen standhalten, wohingegen bei 80 % als Oberlast bereits nach einem 20stel der Beanspruchung ein Auszugversagen eintrat. Anhand der aufgezeichneten Schlupf-Lastwechsel-Beziehungen wird der Schädigungsfortschritt dokumentiert und der nichtlineare Verformungszuwachs im Versagensfall aufgezeigt.

Zudem wird die Rissentwicklung an der Betonoberfläche mittels induktiven Wegaufnehmern erfasst. Neben der messtechnischen Erfassung dienen die Dokumentation der Rissbilder und die genaue Betrachtung des geschädigten Verbundbereiches dem besseren Verständnis des Versagensprozesses.

Das Versuchsprogramm sieht im weiteren Verlauf des Projektes Versuche an Pull-Out-Probekörpern sowie die Untersuchung von drei weiteren Betonen vor. Als Ergebnis soll die Beurteilung der Lebensdauer hinsichtlich der Verbundermüdung im hochzyklischen Bereich ermöglicht werden.



Rissbild im Verbundbereich | Crack pattern within bond zone | Photo: Marc Koschemann

70 kN), a sinusoidal tensile load with a lower load level of 40 % and an upper load level between 75 and 80 % is applied during the cyclic testing. The first results show that even small changes in the upper load level have a considerable influence on the lifetime of the experiments. For example, the samples exposed to an upper load level of 77 % were able to withstand 10 million load cycles, but an upper load level of 80 % caused a pull-out failure after already a half million load cycles. Based on the recorded slip to load cycle relation, the progress of deterioration is documented and the non-linear deformation increase in case of failure is depicted.

In addition, the crack propagation on the concrete surface is detected by means of inductive displacement transducers. Besides the recording with measurement instrumentation, the documentation of crack patterns and a detailed inspection of the damaged bond zone helps to improve the understanding of the failure progress.

Within the course of the project, the test program includes experiments on pull-out specimens and the investigation of three other types of concrete. A result of the project is the possibility to evaluate the lifetime of bond fatigue under high cyclic loading.

► **Titel | Title**

TP Verbund unter Zugschwellbeanspruchung im Verbundvorhaben WinConFat: Materialermüdung von On- und Offshore Windenergieanlagen aus Stahlbeton und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung

*TP Bond under tensile cyclic loading within the joint research project WinConFat: Material fatigue of on- and offshore wind powered plants out of reinforced concrete and prestressed concrete under high cyclic loading*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Projektträger: PT Jülich

► **Zeitraum | Period**

11.2016 – 10.2019

► **Leiter | Project manager**

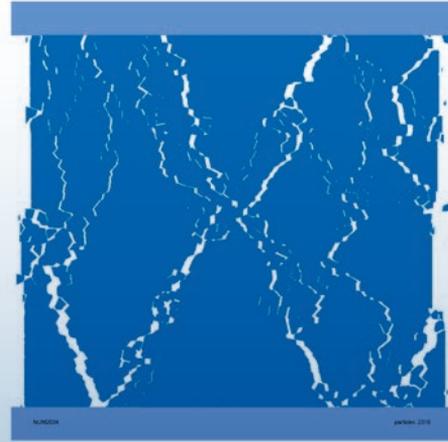
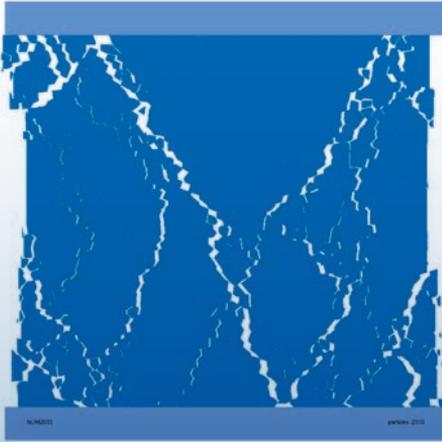
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Marc Koschemann

► **Projektpartner | Project Partners**

6 Partner aus der Forschung und 3 assoziierte Partner



Rissmuster von Betonprobekörpern mit verschiedenen Partikelgenerierungen und ansonsten identischen Parametern | *Crack pattern of concrete specimens with varying particle generations and identical other parameters* | Graphics: Birgit Beckmann

## DISKRETE-ELEMENTE-SIMULATION DES BETONBRUCHVERHALTENS

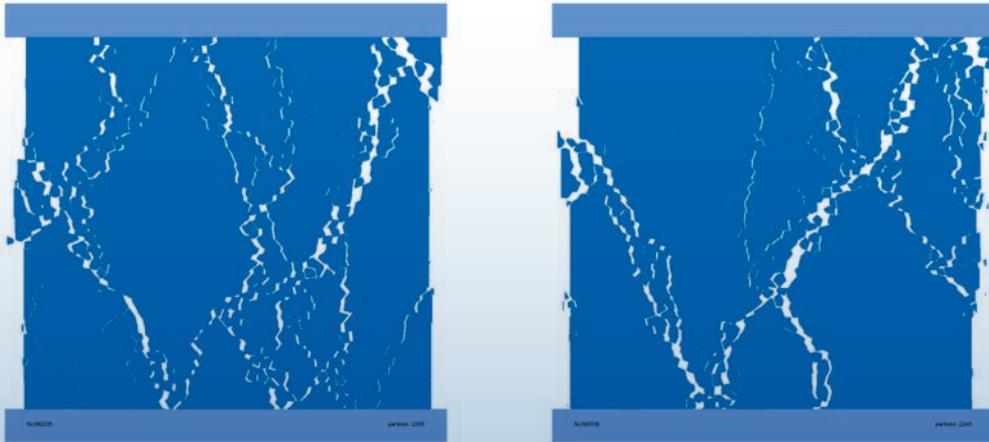
### DISCRETE ELEMENT SIMULATION OF CONCRETE FAILURE

In diesem Projekt werden Betonbruchphänomene untersucht. Spezielles Augenmerk wird dabei auch auf den statistischen Charakter gelegt. Um Versagensmechanismen, Rissausbreitung und Schadensentwicklung zu erforschen, wird unter Verwendung einer auf der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) aufbauenden, numerischen Simulation das Betonverhalten unter Druckbeanspruchung untersucht. Dabei werden speziell Rissmuster, Rissinitiation und Schadensentwicklung betrachtet. Die entstehenden Risse sind diskret – so wie im realen Laborexperiment auch. Die Risse entstehen während der Simulation (allein) aufgrund der Partikelinteraktion und ohne eine Hinzunahme vordefinierter Risszonen oder Risselemente.

In der Simulation werden ein Kontaktansatz mit Überlappungsfläche, die Detektion neuer Partikelkontakte während der Simulation anstatt vordefinierter Nachbarschaftslisten und Partikel mit beliebig polygonaler Geometrie in Kombination verwendet und darüber hinaus statistisch variierende Eigenschaften einbezogen. Während vorangehende Arbeiten den Vergleich von Simulationsergebnissen mit experimentellen Laborergebnissen zum Schwerpunkt hatten, liegt

*Concrete fracture phenomena are investigated in this project, specially focusing on the investigation of their statistically varying character. In order to study the matter of failure mechanisms, crack propagation and damage evolution, a two-dimensional numerical simulation based on the Discrete Element Method (DEM) is used for the analysis of concrete behaviour under compression load. Crack patterns, crack initiation and damage evolution are analysed. The cracks are discrete just as in real laboratory experiments. The cracks arise due to the interaction of the concrete particle elements and without the predefinition of any crack zones or crack elements.*

*This simulation employs a combination of essential elements such as a contact approach including an overlap area, detection of new particle contacts during the simulation instead of neighbouring lists and particles with arbitrarily polygonal shape and, furthermore, the inclusion of statistically varying properties. While the comparison of simulation results to the experimental results was addressed in detail in previous works, the focus of this year's research is laid on the presentation and description of theoretical*



Rissmuster von Betonprobekörpern mit verschiedenen Partikelgenerierungen und ansonsten identischen Parametern | *Crack pattern of concrete specimens with varying particle generations and identical other parameters* | Graphics: Birgit Beckmann

der Fokus der diesjährigen Arbeit in der Präsentation und Beschreibung der theoretischen Grundlagen, vor allem der statistischen Aspekte. In der Simulation werden zwei grundlegende statistische Ansätze verwendet: erstens wird während der Partikelgenerierung ein Zufallsfaktor einbezogen, sodass statistisch variierende Partikelgeometrien und -positionen entstehen; zweitens wird die maximale Längenausdehnung der (optionalen) Kohäsionselemente unter Einbeziehung einer Weibull-Verteilung beschrieben. Dieser statistische Ansatz ist elementar und vergleichsweise einfach. Außerdem werden keine makroskopischen Effekte dem Modell hinzugefügt. Auf dieser Grundlage wird deutlich, dass die Komplexität des Partikelensembles und die Interaktion zahlreicher, jedoch einfacher Partikel die makroskopischen Effekte wie Risse und Rissmuster entstehen lassen.

Als ein Ergebnis der Simulation wird gezeigt, dass es ausreichend, ja sogar förderlich ist, wenn die statistischen Ansätze einfach und elementar sind. Schon allein die Einbeziehung von einfachen, elementaren statistisch abweichenden Material- und Geometrieigenschaften führt zu variierenden Rissmustern. Dies zeigt, dass die DEM ein passender Ansatz zur Erforschung von Versagens- und Bruchvorgängen ist.

*background including statistical aspects. Two statistical approaches are used in the simulation. First, randomly varying particle geometries and particle positions are generated due to a random factor used during particle generation. Second, a Weibull-distribution for maximum elongation of the (optional) cohesion linkages is used. The statistic approach is rather elementary instead of elaborate; and there are no macroscopic mechanical effects added to the model. Based on this, there are the complexity of the particle ensemble and the interaction of many simple particles letting macroscopic effects such as cracks and crack patterns emerge.*

*Using statistical variations of geometrical and material properties, it is shown that even an elementary statistical approach leads to the evolution of statistically varying crack patterns. It shows that the DEM is a suitable approach to study failure and fracture processes.*

► **Titel | Title**

Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen

*Simulation of concrete failure with discrete elements*

► **Förderer | Funding**

Institut für Massivbau, TU Dresden

► **Zeitraum | Period**

seit 11.2017

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dr.-Ing. Birgit Beckmann



Versagen der Betonproben: links: trockene Proben; rechts: wassergesättigte Proben | Failure of the concrete specimens: left: dry specimens; right: water-saturated specimens | Photos: Oliver Mosig

## WASSER

### WATER

Neben Zement und Zuschlag bildet Wasser einen Hauptbestandteil des Betons. So werden die Eigenschaften des Betons bei der Herstellung wesentlich durch das Verhältnis von Wasser und Zement, den sogenannten w/z-Wert, gesteuert.

Nach der Erhärtung des Betons liegt das Wasser in unterschiedlichen Zuständen vor: zum einen in Form von chemisch und physikalisch gebundenem Wasser in den Calcium-Silikat-Hydrat-Phasen des Zementsteins, zum anderen verbleibt ein restlicher Teil als freies Wasser in der Porenstruktur des Betons. Die Umgebungsbedingungen, wie beispielweise Regenschauer, Luftfeuchtigkeit und Temperatur, steuern dabei die Wassersättigung der Poren im Beton.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, den Einfluss des freien Porenwassers auf die Ausbreitung von Druckwellen im Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten zu untersuchen. Dazu werden Betonprobekörper unterschiedlich lange wassergelagert, um definierte Sättigungsgrade, von trocken bis voll wasserge-

*In addition to cement and aggregates, water is a major component of concrete. The properties of the concrete are essentially controlled by the ratio of water and cement during production.*

*After the concrete has hardened, the water is present in different states: on the one hand as chemically and physically bound water in the cement stone, and on the other hand as free water in the pore structure of the concrete. The environmental conditions, such as rain showers, humidity and temperature, control the water saturation of the pores in the concrete.*

*The aim of this research project is to investigate the influence of free pore water on the propagation of pressure waves in concrete at high loading speeds. For this purpose, concrete specimens of different lengths are stored in water in order to achieve defined degrees of saturation, from dry to fully saturated. The first results show that the concrete compressive strength decreases with increasing degree of water saturation. This phenomenon could be observed in both static and dynamic load*

sättigt, zu erzielen. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Betondruckfestigkeit mit steigendem Wassersättigungsgrad abfällt. Dieses Phänomen konnte sowohl im statischen als auch im dynamischen Belastungsfall in gleicher Weise beobachtet werden. Die Mechanismen, welche zur Festigkeitsreduktion führen, scheinen demnach unabhängig von der Belastungsgeschwindigkeit zu sein.

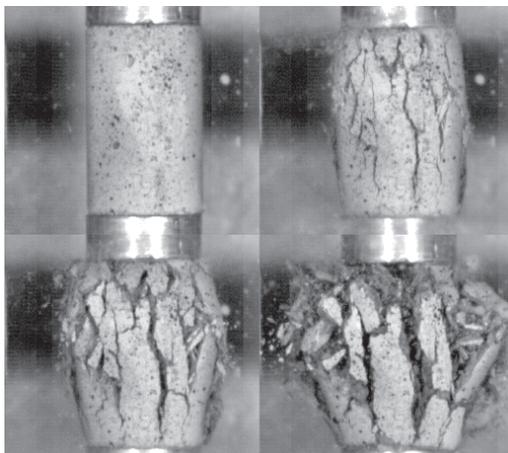
Im Vergleich zu wassergesättigten Proben versagen die trockenen Betonproben explosionsartiger, mit einer erhöhten Riss- und Bruchstückanzahl. Es wird angenommen, dass das freie Porenwasser die innere Reibung und Verzahnung an den Rissoberflächen herabsetzt. Die Bruchflächen gleiten somit besser aneinander ab und mindern die Druckfestigkeit des Betons. An den Risspitzen wirkt das Wasser als eine Art Keil und beschleunigt die Rissbildung. Durch die Verwendung unterschiedlich geformter Betonprobekörper konnte außerdem festgestellt werden, dass im Vergleich zu schräg verlaufenden Rissen bei parallel zur Belastungsrichtung verlaufenden Rissen ein höherer Festigkeitsabfall zu beobachten ist.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501553 gefördert.

*cases. The mechanisms leading to the reduction in strength, therefore, appear to be independent of the loading rate.*

*The dry concrete specimens fail more explosively, with an increased number of cracks and fragments, compared to water-saturated specimens. It is assumed that the free pore water reduces the internal friction and interlocking at the crack surfaces. The fracture surfaces, thus, slide better against each other and reduce the compressive strength of the concrete. At the crack tips, the water acts as a wedge, and it accelerates crack formation. By using different shapes of the concrete specimens, it was also possible to determine that a higher drop in strength can be observed with cracks running parallel to the direction of loading compared to cracks running at an angle.*

*The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project No. 1501553) on the basis of a decision of the German Bundestag.*



Schädigung der Probe im dynamischen Split-Hopkinson-Bar-Ver-such | *Failure of the specimen in the dynamic Split-Hopkinson bar test* | Photos: Oliver Mosig

► **Titel | Title**

Untersuchung des Einflusses von Porenwasser auf die Wellenausbreitung in Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten

*Investigation of the influence of pore water on the wave propagation in concrete at high loading rates*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

► **Zeitraum | Period**

09.2017 – 08.2020

► **Verbundvorhabenleiter | Leader of the joint research project**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach

► **Leiter | Project managers**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Oliver Mosig



Festbetonprobekörper nach dem Spallationsversuch am Hopkinson-Bar | Concrete specimen after spallation test using the institute's Hopkinson pressure bar device | Photo: Ullrich van Stripriaan

## DEM – KONTINUIERLICH DISKONTINUIERLICH DEM – CONTINUOUSLY DISCONTINUOUS

Die uns umgebende Welt ist diskontinuierlich, voller Lücken und diskret, das Kontinuum nur eine – allerdings sehr praktische – Vereinfachung. Dabei erfordert diese Vereinfachung einen umfangreichen mathematischen Apparat und einen enormen Sachverstand, um auch nur einfachste Geometrien und Materialannahmen numerisch abbilden zu können. Vielfach, nein: in aller Regel ist man am Ende doch wieder darauf angewiesen, Raum und Zeit zu diskretisieren und dem Computer die Lösung der Gleichungen zu überlassen.

Die Methode der diskreten Elemente (DEM) gehört zur Kategorie der partikelbasierten Methoden. Sie vermeidet den „Umweg“ über die Kontinuumsmechanik und arbeitet direkt mit den der Teilchen-Teilchen-Wechselwirkung zugrundeliegenden Phänomenen. Die Newtonschen Bewegungsgleichungen bilden dabei gleichsam das Fundament, auf dem und um das herum geeignete Bausteine zur Beschreibung von Formschluss, Kohäsion

*The world that surrounds us is discontinuous, full of gaps and discrete elements, the continuum, on the other hand, is just a simplification, although a very practical one. Nevertheless, this simplification requires an entire mathematical apparatus and enormous expertise to model even the simplest geometries and assumptions on the material behaviour. In such a case, one is urged to leave it to the machine to discretize the space and time and to solve the resulting equations.*

*The Discrete Element Method (DEM) belongs to the family of particle-based methods. It avoids the roundabout through continuum mechanics and takes the direct way via particle interaction and underlying principles. Newton's second law and the corresponding equations of motion are the basis to of the interlocking, cohesion and friction models. Kinematics and dynamics are no features or add-ons, they are constitutive parts of the method.*

*In the spallation experiment – sending a shock wave through a solid specimen of known*

und Reibung angeordnet werden. Kinematik und Dynamik sind hier keine hinzuzufügenden „Features“, sondern inhärenter Teil der Methode.

Im Spallationsversuch – der kurzen, schockartigen Belastung eines Festkörpers mit bekannten statischen Materialeigenschaften durch einen Impaktor oder ein Projektil – treffen die verschiedenen Welten aufeinander: die körnige und die kontinuierliche, die statische und die dynamische. Er stellt eine Schnittstelle dar zwischen der diskreten mesoskopischen Ebene von Zementmatrix und Zuschlagkorn und der makroskopischen Welt, in der wir leben und bauen. Gleichzeitig ist er ein ausgezeichnetes Versuchsfeld zum Studium unterschiedlicher numerischer Methoden.

Der virtuelle Spallationsversuch war einer der Schwerpunkte dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts. Die einzelnen Schritte der Simulation bestehen dabei zunächst in der Generierung des virtuellen Probekörpers („Mischen“ und „Aushärten“) und der Modellierung der anderen am virtuellen Experiment beteiligten Objekte. Anschließend werden der Simulationsraum konfiguriert und die Objekte darin positioniert und initialisiert („Einspannen“, „Laden“). Wie im Labor versetzt man sich daraufhin in die Rolle des Beobachters und verzeichnet die im Simulationsraum sich ergebenden Phänomene („Messen“). Auf diese Weise hoffen wir, das Laborexperiment besser verstehen zu können, Nicht-Sichtbares sichtbar zu machen und weitere reale oder virtuelle Experimente besser planen zu können.



Virtueller Betonprobekörper für den numerischen Spallationsversuch | *Virtual concrete specimen for numerical spallation experiments* | Graphic: Dirk Reischl

*static material behaviour by hitting it with an impactor or projectile – both worlds are meeting each other: the world of granular matter and the continuum, as well as static and dynamic loading. It can be considered as an interface between the mesoscopic level of cementitious matrix and aggregates and the macroscopic world that we live and build in. At the same time, it is a great experimental environment for the study of different numerical methods. Thus, it is not surprising that both proven and experimental numerical techniques compete here in a hopefully fruitful manner.*

*The virtual spallation experiment has been one of this year's main topics. Inspired by the experimental procedure, the simulation starts with the generation of virtual concrete specimens (mixing, packing and pasting) and of all other objects to be involved in the numerical experiment. This is followed by the configuration of the simulation space and the positioning and initialization of the objects (loading). Finally, one casts the role of an observer, recording and documenting all the different phenomena evolving in the simulation space (measuring). In this manner, we hope to get a better understanding of the principle phenomena, to make the invisible, visible, and to get a feedback for an even better planning of further real or virtual experiments.*

► **Titel | Title**

DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton

*Discrete element simulations of multiaxial material behaviour and failure mechanisms of concrete*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► **Zeitraum | Period**

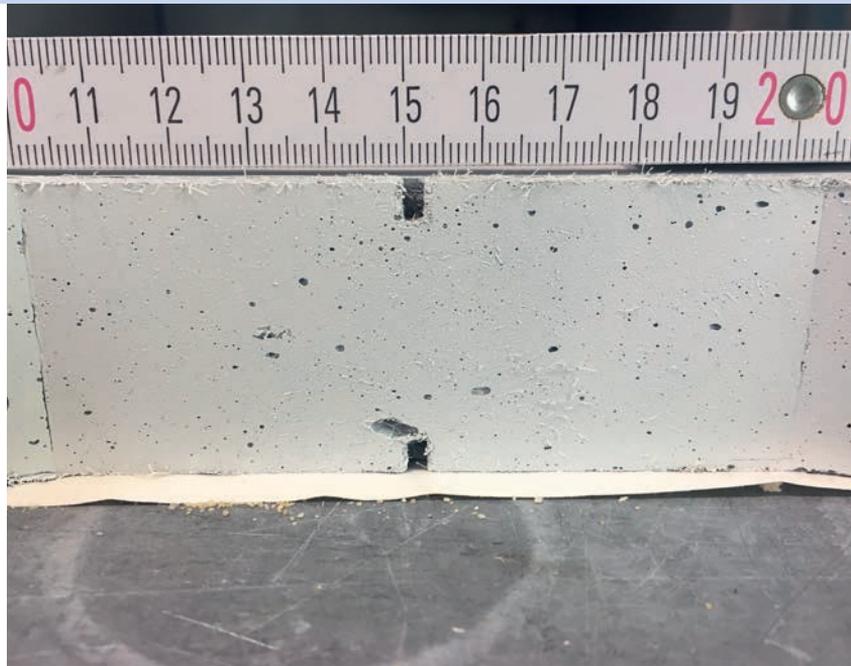
03.2012 – 02.2014 (Phase 1)  
08.2014 – 07.2016 (Phase 2)  
05.2017 – 05.2019 (Phase 3)

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Math. Dirk Reischl



Dünnere hantelförmiger SHCC-Probekörper mit Kerbung | Thin dumbbell SHCC-specimen with notch | Photos: Ting Gong

## 2D-SIMULATION BRAUCHT DÜNNE PROBEN

### 2D SIMULATIONS NEED THIN SPECIMENS

Dieses Projekt ist Teil des DFG-GRK 2250 „Impaktsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite“, in welchem in 13 Promotionsprojekten zu verschiedenen Spezialthemen an mehreren Instituten und Fakultäten der TU Dresden geforscht wird. In diesem Teilprojekt soll ein Modell erstellt werden, das basierend auf den Verbundeigenschaften zwischen Faser und Betonbestandteilen das Verhalten einer Faserbetonkonstruktion unter Stoßbelastung simulieren kann.

Frühere Studien haben gezeigt, dass 2D-Modelle zuverlässige Simulationen der Reaktion von Betonproben unter statischer und stoßartiger Belastung liefern, während sie den Modellierungsaufwand erheblich vereinfachen und die Simulationszeit im Vergleich zu einem 3D-Modell verkürzen. In diesem Projekt wird an der Modellierung des Verhaltens von hochfesten SHCCs (dehnungsbasierte Verfestigung zementgebundener Verbundwerkstoffe) aus Hochleistungspolymerfasern unter quasi-statischer Zugbelastung gearbeitet. Hochedichte

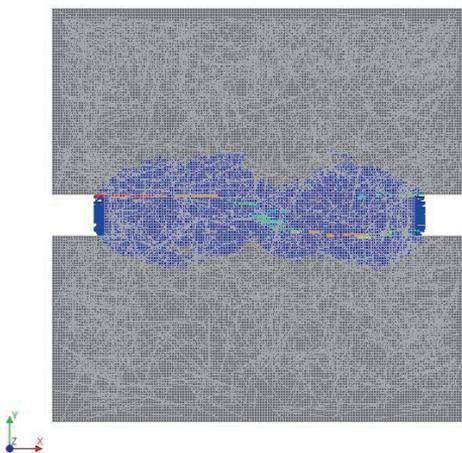
*This project is a part of the larger project DFG-GRK 2250 "Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety," involving 13 doctoral studies on different special topics at different institutes and faculties of TU Dresden. This subproject aims to establish a model based on bonding characteristics between fibre and concrete ingredients capable of simulating the behaviour of fibre reinforced concrete under impact load.*

*Previous studies have shown that 2D models yield reliable simulations of responses of concrete specimens under static and impact loads, while greatly simplify the modelling effort and reduce simulation time as compared to a 3D model. In this project, we have worked on modelling the behaviour of high strength SHCCs (strain-hardening cement-based composites) reinforced with high-performance polymer fibres under quasi-static tensile loading. High-density polyethylene fibres are modelled explicitly and distributed randomly in a two-dimensional model. Single fibre pull-out test results performed by the*

Polyethylenfasern werden explizit modelliert und in einem zweidimensionalen Modell zufällig verteilt. Die begleitenden, vom Institut für Baustoffe durchgeführten Einzelfaser-Auszugprüfungen dienen der mikromechanischen Charakterisierung der Verbundfestigkeit.

Lasttestsimulationen werden mit dem hauseigenen Programm CaeFem durchgeführt. Da es jedoch keine Versuchsergebnisse für 2D-Proben gibt, die als Referenz für die Validierung der erstellten, numerischen Simulationen dienen könnten, hat das Institut für Baustoffe als Projektpartner mit experimentellem Anteil im Vorhaben mehrere Tests an sehr dünnen Kurzhantel-Proben mit und ohne Kerbe unter quasi-statischer Zugbelastung durchgeführt. Hier gab es jedoch mehrere Herausforderungen zu bewältigen, wie z. B. das Einhalten des Mindestvolumenverhältnisses der Fasern, welches wichtig ist, da dieses aufgrund des spröden Versagens schon vor Beginn der Prüfung Risse verursachen kann.

Die experimentell erzeugten Ergebnisse werden abschließend mit den Simulationsergebnissen verglichen. Diese werden mithilfe mehrerer Sensitivitätsanalysen durchgeführt, welche auf unterschiedlichen Fasergehalten und Kerben in der mittleren Höhe einer Kurzhantel-Probe basieren. Die daraus resultierenden Mechanismen werden mit den Ergebnissen des kommerziellen FEM-Programms DIANA verglichen und verifiziert.



Simulation im Bereich der Kerbe mit Rissmuster für Kerbenmodell unter quasistatischer Zugbelastung | Crack pattern for notch model under quasi static tensile loading | Graphic: Alaleh Shehni

*Institute of Construction Materials are used for micromechanical characterization of the bond strength.*

*Load test simulations are conducted with the in-house program CaeFem. However, we did not have experiment results for 2D specimens in hand to use as references for validation of our numerical simulations. To this aim, the Institute of Construction Materials as our experimental partner in the project performed several tests on very thin dumbbell specimens with and without a notch under quasi-static tensile loading. They faced several challenges with the thin specimens, such as limited minimum volume ratio of fibres due to brittle failure of the specimen with a low volume ratio of fibres which cause the cracks even before the test was started.*

*These experimental results will be compared with the simulation results. Several tests will be performed based on different fibre contents and notches located in the mid-height of a dumbbell specimen. The resultant mechanisms will be compared and verified versus obtained results from the commercial FEM program DIANA.*

► **Titel | Title**

TP B2: Modellierung des Bewehrung-Matrix-Verbundes und des mechanischen Verhaltens von Verstärkungskompositen bei kurzzeitdynamischen Einwirkungen als Teilprojekt des Graduiertenkollegs GRK 2250/1: Impaktsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite

*TP B2: Modeling of the bond between reinforcement and of the mechanical behavior of reinforcement composites during short-term dynamic loading as part of the Research Training Group GRK 2250/1: Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)/GRK 2250/1

► **Zeitraum | Period**

05.2017 - 10.2021

► **Leiter | Project manager**

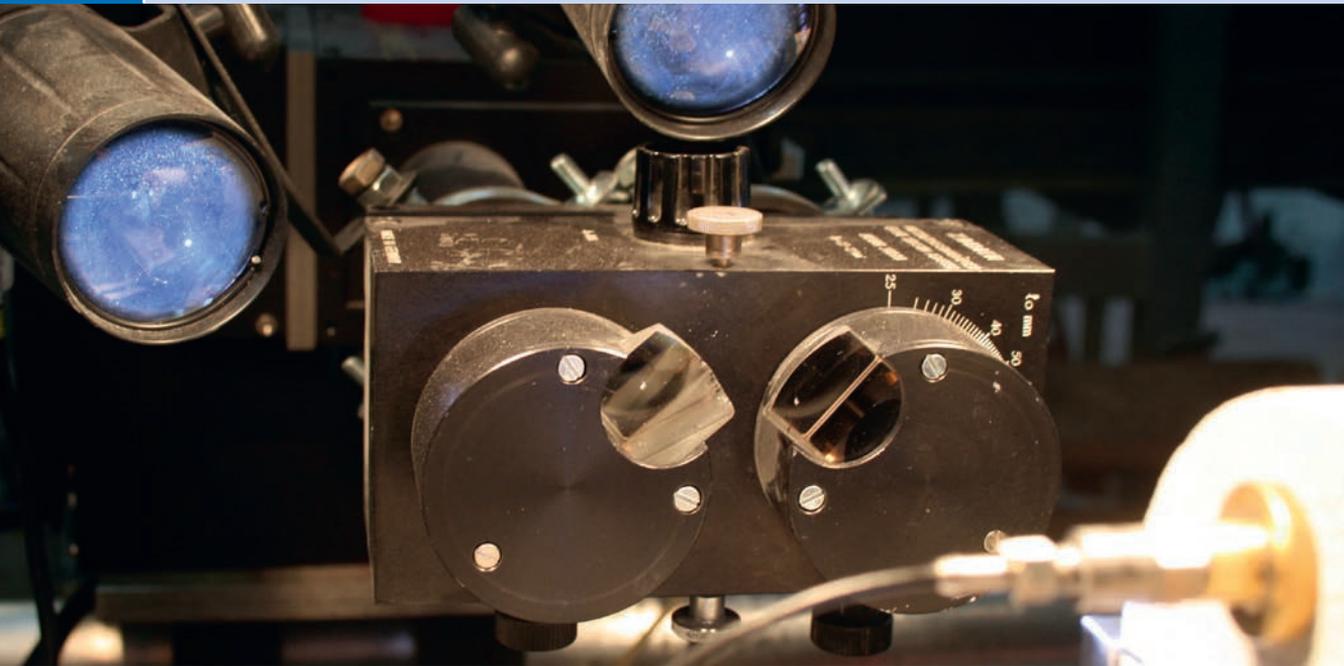
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

► **Bearbeiter | Contributor**

Alaleh Shehni M.Sc.

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Baustoffe, TU Dresden



Optisches Extensometer für Schlupf- oder Rissöffnungsmessungen | Optical extensometer for slip or crack opening measurements | Photo: Petr Máca

## VERBUND UNTER IMPAKT – DIE GESCHICHTE GEHT WEITER

### BOND UNDER IMPACT LOADING – THE STORY GOES ON

In der ersten Phase des Projekts wurde die lokale Verbundspannung-Schlupf-Beziehung zwischen Beton und Bewehrungsstahl unter Impaktbelastung untersucht. Es wurden sowohl experimentelle als auch numerische Untersuchungen an zylindrischen und würfelförmigen Probekörpern mit kurzen Verbundlängen durchgeführt. In der aktuellen zweiten Phase des Projektes wird eine breitere Betrachtungsweise des Verbunds angestrebt. Das Hauptziel des Projekts ist die Entwicklung eines neuen, realistischen Verbundversuchs, der auf die Untersuchung der Verbundeigenschaften unter Impaktbelastung abgestimmt ist.

Eine Idee ist es, den Spallationseffekt auszunutzen. Spallation entsteht, wenn sich eine Druckwelle durch einen spröden Probekörper bewegt und vom freien Ende als Zugwelle, die sich in die entgegengesetzte Richtung bewegt, reflektiert wird. Diese Spannungsumkehr verursacht Zugspannungen im Probekörper, die zum Versagen führen. Um ein dynamisches

*In the first phase of the project, the localised bond stress-slip relationship between concrete and steel under impact loading was studied. Experimental as well as numerical investigations were carried out on cylindrical and cubical specimens with short bond lengths. In the current, second phase of the project, a more general view on the bond is being pursued. The main aim of the project is to develop a new type of bond test that will be tailored to investigate bond properties under impact loading.*

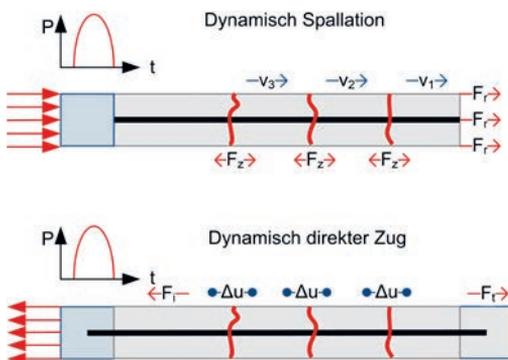
*The idea is to use the spallation effect which occurs when a compressive wave travels throughout a brittle specimen, and it is reflected from the free end as a tensile wave that travels in the opposite direction. This stress reversal produces tension in the specimen which causes its failure. To achieve dynamic equilibrium in the sample and to create a long loading pulse, a new split Hopkinson bar will be developed. The length of the incident and transmission bars will be up to 20 m and the length of the impactor will be 10 m.*

Gleichgewicht im Probekörper zu erreichen und einen langen Belastungsimpuls zu erzeugen, wird ein langer Split-Hopkinson-Bar, mit einer Länge des Ein- und Ausgangsstabes von 20 m und einer Impaktorlänge von 10 m, entwickelt. Ein Impaktor dieser Länge erzeugt einen Belastungsimpuls mit einer Länge von 20 m. Dieser führt zu größeren Verschiebungen des Eingangsstabes und ermöglicht die Prüfung von duktilen Materialien oder Verbundwerkstoffen, bei denen Deformationen von mehr als 5 mm erforderlich sind. Damit kann das Nachbruchverhalten erfasst werden.

Eine weitere mögliche Prüfmethode basiert auf einem stahlverstärkten Balken mit einem vordefinierten Ausschnitt in der Mitte der Spannweite. Innerhalb des Schnittes werden Dehnungsmessstreifen direkt auf die Stahlbewehrung angebracht. Die Idee besteht darin, realistische Verbunddehnungsraten zu messen, die in einem durch den Aufprall belasteten Balken induziert werden.

Begleitend werden numerische Versuche durchgeführt, bei denen die Bewehrung als Balkenelement modelliert wird. Diese Simulationen helfen bei der Experimentplanung, bei der Entscheidung zur bestmöglichen Anordnung der Sensoren und sie ermöglichen einen besseren Einblick in den Spannungszustand der Probe, besonders in Verbundzonennähe.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501566 gefördert.



Mögliche Konfiguration von dynamischen Verbundspallationsversuchen | Possible configuration of dynamic bond spallation tests | Graphic: Tino Kühn

*Impactor of such length induces a loading pulse with a length of 20 m that causes much larger movement of the incident bar, allowing for testing of ductile materials or composites where deformation values of more than 5 mm are needed to capture the post-peak failure behaviour.*

*Another possible type of test considered in this project is based on a beam specimen with fully bonded reinforcement and a predefined cut or window in the middle of the span. Inside of the cut, strain gauges will be attached directly on the steel reinforcement. The idea is to measure realistic bond strain rates that are induced in a beam loaded by the impact.*

*In addition, numerical investigations in which reinforcement is modelled as beam elements are carried out. These simulations help in designing the experiments and to decide a proper placement of the sensors. They also allow better insight into the stress state of the specimen, especially in the vicinity of the bond zone.*

*The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project no. 1501566) on the basis of a decision by the German Bundestag.*

► **Titel | Title**

Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten – Phase 2

*Bond between concrete and steel under high loading rates – phase 2*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

► **Zeitraum | Period**

10.2014 – 12.2017 (Phase 1)  
5.2018 – 4.2021 – (Phase 2)

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

M.Eng. Petr Máca Ph.D.



Handling der Plattenimpaktproben auf dem Hof des Otto-Mohr-Laboratoriums | Handling of the plate impact samples in the yard of the Otto Mohr Laboratory | Photo: Sven Hofmann

## IMPAKTFORSCHUNG – LANGSAM WIRD ES ERNST

### IMPACT RESEARCH – SLOWLY, IT IS GETTING SERIOUS

Seit mehr als 8 Jahren werden am IMB Betonstrukturen auf unterschiedlichste Weise dynamisch beansprucht. Unter der Überschrift „Impaktforschung“ verbergen sich dabei Versuche auf struktureller und materieller Ebene. Begonnen hat alles mit Freifallversuchen auf Betonplatten aus wenigen Metern Höhe mit handlichen Gewichten. Inzwischen wurde eine Anlage hierfür installiert, die Gewichte von bis zu 2,5 Tonnen aus maximal 10 Metern Höhe fallen lassen kann. Parallel dazu wurde Kompetenz in der hochdynamischen Werkstoffcharakterisierung aufgebaut. Hierfür entstanden mehrere Split-Hopkinson-Bar Anlagen, an denen seither tausende Versuche durchgeführt wurden.

Schnell zeigte sich, dass sich die wesentlich interessanteren strukturellen Effekte bei höheren Geschwindigkeiten einstellen. Mit der Beschleunigeranlage am OML wurden seither einige hundert Versuche in Geschwindig-

*For more than 8 years, concrete structures have been dynamically tested in a variety of ways at the IMB. Under the initiative of “impact research”, experiments have been undertaken on a structural and material level. Everything began with several free-fall drop tower experiments on concrete slabs from a few meters high with handy weights. Meanwhile, a system has been installed, which can drop weights of up to 2.5 tons from a maximum of 10 meters in height. At the same time, the expertise related to the dynamic material characterization was built up within the institute. For this purpose, several Split-Hopkinson-Bar facilities were implemented, and thousands of experiments have been carried out.*

*It quickly became clear that the more interesting structural effects occur at higher speeds. Since then, several hundred tests have been carried out and analysed in speed ranges of up to 100 m/s with the accelerator facility at the*

keitsbereichen von bis zu 100 m/s durchgeführt und analysiert. Es zeigte sich, dass die Kapazität der Anlage bei weitem noch nicht erschöpft ist und auch Geschwindigkeiten bis zu 250 m/s realisierbar waren.

Seit dem Projektstart von Tankaufprall 1C wird verstärkt auf den numerischen Part gesetzt, denn die Versuche sind nur Gewinn bringend, wenn sie in geeigneter Weise auf dieser Ebene abgebildet und reproduziert werden können. Hier fließen die Erfahrungen der Projekte seit 2010 ein. Damals wurde mit dem VERD-Modell die Grundlage einer stofflichen Beschreibung auf makroskopischer Ebene gelegt. Seither entwickelte sich die Numerik parallel auf meso- und makroskopischer Ebene weiter. Die Integration der Erfahrungen aus dynamischen Verbundversuchen ermöglicht es nunmehr, die Gesamtstruktur mit all ihren Einflussgrößen zu studieren. 2017 wurde hierzu mit Vorstudien zu unterschiedlichen Projektilvarianten begonnen, mit dem Ziel einer vollumfänglichen Abbildung der wesentlichen Impaktszenarien. Im Hinblick auf Phase 2 wird es erstmals möglich sein, eine komplexe Gesamtstruktur zu beschreiben und die Schädigungsmechanismen vorherzusagen. Es wird also ernst mit den Bestrebungen der strukturellen Dimensionierung und Verstärkung einer derartigen Großstruktur.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501541 gefördert.



Durchführung von Sägeschnitten | Execution of saw cuts | Photo: Thomas Häntzschel

*Otto Mohr Laboratory. It turned out that the capacity of the self-made facility is far from exhausted, and that speeds of up to 250 m/s are feasible.*

*Since the start of the project of "Tank Impact 1C", more emphasis has been put on the numerical part, because the experiments are only understandable if they can be properly mapped and reproduced at this level. This is where the experience of the projects has been flowing since 2010. At that time, the VERD model laid the foundation for a material description at the macroscopic level. Since then, numerical analysis has continued to develop in parallel on the meso- and macroscopic level under the guideline of Prof. Häußler-Combe. The integration of experience gained in dynamic composite experiments makes it possible now to study the overall structure with all its parameters. For this purpose, preliminary studies on different projectile variants were started in 2017 with the aim of fully mapping the main impact scenarios to the real world conditions. With regard to stage 2, it will be possible, for the first time, to describe a complex overall structure and to predict the damage mechanisms. The structural calculations and strengthening efforts for such a large structure are getting serious.*

*The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project no. 1501541) on basis of a decision by the German Bundestag.*

► **Titel | Title**

Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Behälter (Flugzeugtanks)

*Structural behaviour under impact loading by the impacting container (aircraft tanks)*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

► **Zeitraum | Period**

07.2012 – 12.2014 (Phase 1A)

08.2014 – 07.2016 (Phase 1B)

04.2017 – 03.2020 (Phase 1C)

► **Leiter | Project managers**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

► **Bearbeiter | Contributor**

Tino Kühn M.Sc., Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters

► **Projektpartner | Project partner**

BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



Stahlbetonplatten nach Impact mit Geschwindigkeiten zwischen 25 und 61 m/s | Steel reinforced concrete slabs after impact with velocities between 25 and 61 m/s | Photos: Marcus Hering

## STAHLBETON UNTER IMPAKT – ALLER GUTEN DINGE SIND DREI

### STEEL REINFORCED CONCRETE UNDER IMPACT LOADING – ALL GOOD THINGS COME IN THREES

Dem Verbundwerkstoff Stahlbeton kommt im Bereich des Bauens wortwörtlich sowie auch im übertragenen Sinne eine tragende Rolle zu. Trotz langjähriger Forschungen sind dabei weiterhin Fragen zum Materialverhalten offen, insbesondere unter dynamischer Belastung. Um diese zu beantworten, sollen die in den vorangegangenen zwei Projektphasen Tankaufprall 1A und 1B durchgeführten Versuche weiter ergänzt und damit der Einfluss verschiedenster Parameter systematisch untersucht werden.

Im Rahmen der dritten Phase 1C werden dazu weitere Plattenversuche im beschleunigten Modus der Fallanlage des Otto-Mohr-Laboratoriums durchgeführt. Hierbei steht vor allem die Variation von äußeren und inneren Parametern im Vordergrund. Diese umfassen neben der Änderung von Plattendicke auch die Modifikation der verwendeten Biegebewehrung. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass der Einsatz von Schubbewehrung

*The composite material steel reinforced concrete plays figuratively and literally a supporting role in civil engineering. Despite many years of research, there are still unanswered questions about the material behaviour, in particular under dynamic loading. To answer these questions, the experiments carried out in the previous two project phases "Tankaufprall 1A" and "Tankaufprall 1B", will be expanded, and the influence of various parameters will be systematically investigated.*

*Within the third project, phase 1C, further slab specimens will be tested in the accelerated configuration of the drop tower in the Otto Mohr Laboratory. Here the variation in external and internal parameters is foreseen. Specimens with different thickness and bending reinforcement layouts will be tested. Further, it is assumed that the shear reinforcement has a significant effect on the damage behaviour of the slabs, so the arrangement of different stirrups is also a part of the experimental*

signifikante Auswirkungen auf das Schädigungsverhalten der Platten besitzt, sodass die Anordnung verschiedener Bügel ebenfalls Gegenstand des Versuchsplans ist. Alle Versuche werden mit variierenden Impaktorgeschwindigkeiten durchgeführt und bilden die Grundlage für weitere Untersuchungen zum Maßstabseffekt sowie zur detaillierten numerischen Abbildung der Impaktversuche. Auf diese Weise sollen die erzielten Erkenntnisse auf größere Bauteilstrukturen skaliert werden.

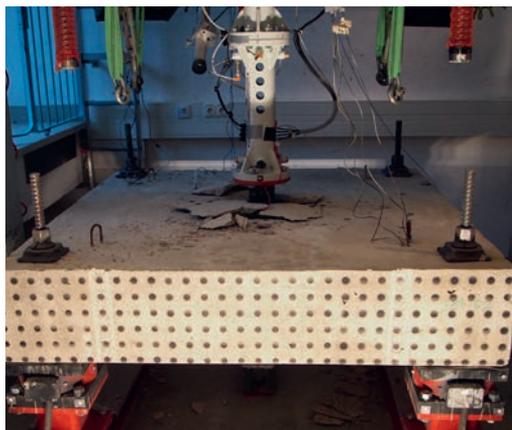
Neben der anspruchsvollen messtechnischen Erfassung der Versuche mit Messraten bis in den Megahertzbereich werden im Rahmen der Schädigungsbeurteilung weitere begleitende Untersuchungen, wie die Eindringprüfung von Flüssigkeiten unter atmosphärischem bzw. höherem Druck oder die direkte Analyse des Schädigungsbildes an den durchgesägten Plattenhälften, vorgenommen. Dabei nicht sichtbare Erscheinungen, beispielsweise Mikrorissbildung, fließen infolge der planartomographischen Untersuchung an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in die Versuchsauswertung ein.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501541 gefördert.

*plan. All experiments will be carried out with different impactor velocities. The results will be used to investigate the scale effect and to validate the detailed numerical analysis of the experiments. In this way, the knowledge gained could be scale-up to larger building structures.*

*Besides the implementation of an ambitious measurement technology for rates up to some megahertz, experiments will be carried out to characterize and analyse the damage. Among them are the liquid penetration test under atmospheric and high pressure, as well as the assessment of the damage directly from the perforated and sawed reinforced concrete slabs. The tested slabs will be examined using planar computed tomography at the "Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung", which will make visible aspects like micro cracking.*

*The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project no. 1501541) on basis of a decision by the German Bundestag.*



Stahlbetonplatte nach Impaktversuch | *Reinforced concrete slab after impact* | Photo: Franz Bracklow

► **Titel | Title**

Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Behälter (Flugzeugtanks)

*Structural behaviour under impact loading by the impacting container (aircraft tanks)*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

► **Zeitraum | Period**

07.2012 – 12.2014 (Phase 1A)

08.2014 – 07.2016 (Phase 1B)

04.2017 – 03.2020 (Phase 1C)

► **Leiter | Project manager**

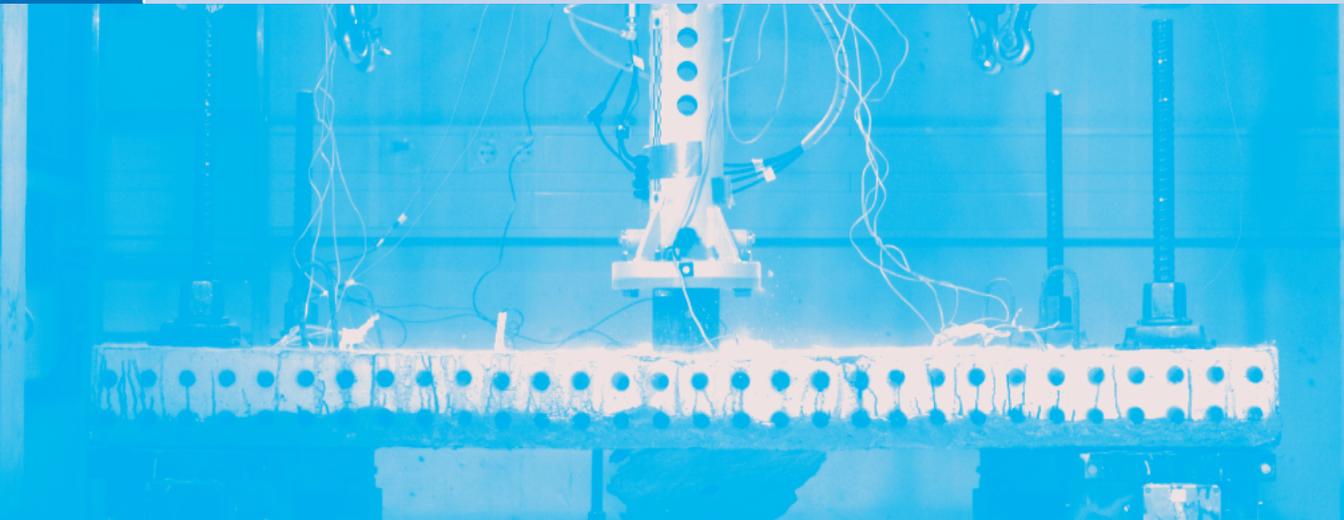
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow, Tino Kühn M.Sc.

► **Projektpartner | Project partner**

BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



Mit Faserbeton verstärkte Stahlbetonplatte während des Experiments | Carbon concrete strengthened reinforced concrete plate during the experiment | Photo: Marcus Hering

## FASERBETON UNTER EXTREMER BELASTUNG

### FIBRE CONCRETE UNDER EXTREME LOAD

Faserbetone bzw. Stahlfaserbetone haben sich bereits seit langer Zeit als extrem beständig gegenüber einer Vielzahl von Belastungen gezeigt. Ein aufgrund ihrer beachtlichen Robustheit ebenso beliebtes Einsatzgebiet für dieses Material ist der Sicherheitssektor. Vor allem, wenn Gebäude gegenüber Explosionen oder ähnlichen Belastungen geschützt werden müssen, fällt die Wahl oftmals auf Stahlfaserbeton. Durch seine gegenüber unbewehrtem Beton hohe Duktilität eignet er sich sehr gut, um Energie durch Deformation abzubauen.

Dieses duktile Materialverhalten konnte am Institut für Baustoffe der Technischen Universität Dresden in einem weiteren Schritt durch den Zusatz von Polymerfasern noch gesteigert werden. Derzeit werden Faserbetone in einem gemeinschaftlichen Forschungsprogramm, dem Graduiertenkolleg 2250/1 „Impaktsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite“ hinsichtlich ihrer Verwendung für die nachträgliche Verstärkung bestehender Stahlbetonkonstruktionen gegenüber Impaktbelastungen untersucht. Dieser Polymerfaserbeton, auch als SHCC (strain hardening cement composite) bezeichnet, kann

*Fibre reinforced concrete or steel fibre reinforced concrete have long proved to be extremely resistant to a large number of different loads. Due to its considerable robustness this material is popular in buildings that require high security and safety features. Especially when buildings need to be protected against explosions or similar loads, steel fibre reinforced concrete is often selected. Due to its high ductility compared to plain concrete, it is very well suited to dissipate energy through deformation.*

*This ductile material behaviour could be further increased by the addition of polymer fibres, as proposed by the Institute of Construction Materials at the TU Dresden. This novel idea is currently the subject of a joint research programme, the Research Training Group 2250/1 "Mineral-bonded composites for enhanced structural safety", which is investigating its use for the strengthening of existing reinforced concrete structures against impact loads. This polymer fibre reinforced concrete, also known as strain hardening cement composite (SHCC), can withstand extreme deformation while maintaining its structural integrity. Such large deformation capacity, in turn, enables the structure to dissipate large*

extremen Verformungen standhalten und dabei seinen strukturellen Zusammenhalt bewahren. Durch die großen Verformungen wird möglichst viel Energie aufgenommen, ohne ein Versagen des belasteten Bauteils in Kauf nehmen zu müssen.

Im derzeit laufenden Versuchsprogramm wird der SHCC in einer Weiterentwicklung, dem HS-SHCC (*high strength-SHCC*), zum einen als Matrixmaterial für Carbonbewehrung und zum anderen unbewehrt zur Verstärkung eingesetzt.

Bei den Experimenten in der Fallturmanlage des Otto-Mohr-Laboratoriums wurden Stahlbetonplatten mit einer Verstärkungsschicht aus unbewehrtem HS-SHCC bzw. mit zusätzlichen Lagen Carbonbewehrung verstärkt und anschließend dynamisch belastet. Referenzversuche mit unverstärkten Stahlbetonplatten sollen die Effektivität der Verstärkungsschichten zeigen. Basierend auf den derzeit erlangten experimentellen Ergebnissen sollen die Verstärkungsschichten hinsichtlich des Impaktwiderstands weiter optimiert werden. Dabei gilt das Augenmerk sowohl dem Matrixmaterial als auch dem verwendeten Gelege.

*amounts of energy under impact without failure of the load-bearing component.*

*In the current experimental program, the SHCC is being further developed, as a high strength - strain hardening cement composite (HS-SHCC); on the one hand as a matrix material for carbon reinforcement, and on the other hand as a plain strengthening material.*

*For the experiments in the drop tower facility of the Otto Mohr Laboratory, one reinforced concrete plate was strengthened with a layer made of HS-SHCC and another plate was strengthened with a layer made of HS-SHCC with additional carbon reinforcement. After that, the plates were tested under dynamic loading. Reference experiments with reinforced concrete plates without additional strengthening layers should show the effectiveness of the strengthening. Based on the experimental results currently obtained, the reinforcement layers will be optimized with regard to impact resistance. The focus is on the matrix material as well as on the textile reinforcement used.*



Unterseite einer mit Faserbeton verstärkten Stahlbetonplatte nach dem Impaktversuch | *Bottom side of a reinforced concrete slab strengthened with fibre-reinforced concrete after the impact experiment* | Photo: Franz Braklow

► **Titel | Title**

TP A5: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impakt auf der impaktabgewandten Seite als Teilprojekt des Graduiertenkollegs GRK 2250/1: Impactsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite

*TP A5: Strengthening of plane RC elements against impact on the rear side as part of the Research Training Group GRK 2250/1: Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / GRK 2250/1

► **Zeitraum | Period**

05.2017 – 10.2021

► **Leiter | Project manager**

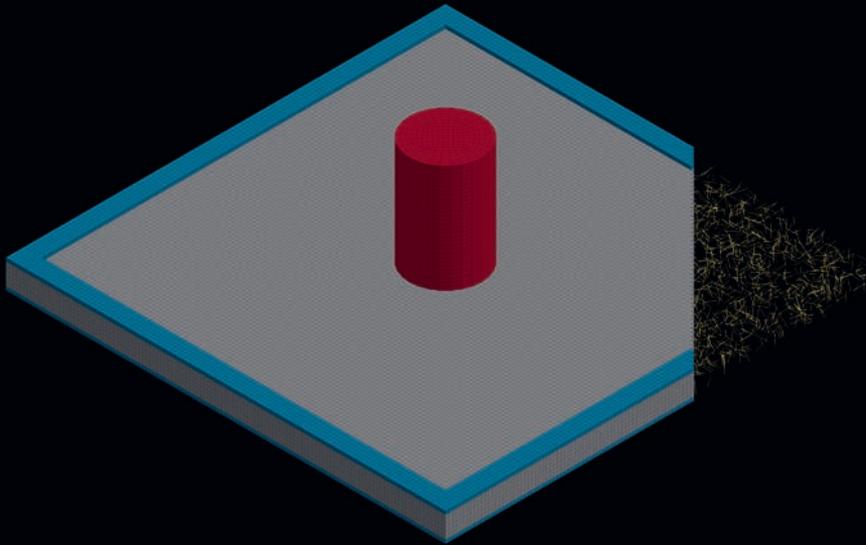
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Marcus Hering

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Statik und Dynamik, TU Dresden



FEM-Modell für Impakt-Tests: Betonplatte mit einer Faserdosierung von 1 % Volumenanteil. Zur Stabilisierung der Probe sind oben und unten Stahlplatten angebracht | FEM model for Impact test setup; here a concrete slab with a fibre dosage of 1 % volume fraction. Bottom and top steel plates to supported the specimen | Graphic: Ammar Babiker

# STAHLFASERVERSTÄRKTER BETON UNTER IMPAKT

## STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE (SFRC) UNDER IMPACT LOADING

Die Eigenschaften von unverstärktem Beton und zementbasierten Matrices sind bereits gut untersucht. Eines der Probleme einer zementbasierten Matrix ist das inhärente spröde Versagen, das bei einer Stoßbelastung auftritt. Zur Verbesserung der Duktilität von Betonmaterialien können Stahlfasern hinzugefügt werden. Faserverstärkter Beton (FRC) ist seitdem ein häufig verwendeter Baustoff.

Untersuchungen haben gezeigt, dass der Zusatz von Stahlfasern, typischerweise von 20 bis 50 kg pro m<sup>3</sup> Beton, viele der erwünschten technischen Eigenschaften von gehärtetem Beton, darunter Bruchzähigkeit, Biegefestigkeit, Ermüdungsfestigkeit sowie das Verhalten unter Hochtemperatur, deutlich verbessern kann. Schlagprüfungen werden häufig durchgeführt, um die dynamischen Materialeigenschaften

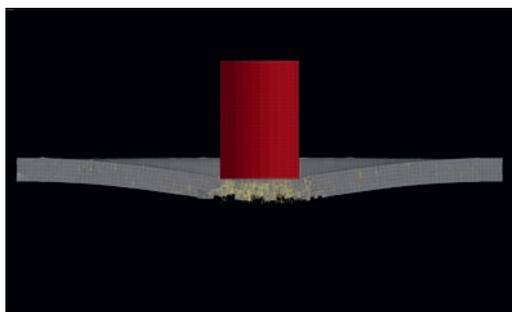
*The properties of unreinforced concrete and cement-based matrix are well understood. One of the problems of a cement-based matrix is the inherently brittle failure that takes place under impact loading. Steel fibres were applied to enhance the ductility of concrete materials. Ever since fibre reinforced concrete (FRC) has become a commonly used building material.*

*It is reported that the addition of steel fibres, typically from 20 to 50 kg/m<sup>3</sup> in concrete, can significantly enhance many of the desired engineering properties of hardened concrete such as fracture toughness, flexural strength, resistance to fatigue, high-temperature behaviour as well as splitting. Impact tests are commonly used to investigate the dynamic material properties of the cement-based matrix or plain concrete. In this project, mesoscale numerical models are carried*

von Betonen oder Zementmatrixen zu charakterisieren. In diesem Projekt werden mesoskalige, numerische Modelle unter verschiedenen Stoßbelastungen simuliert, um den Einfluss der Faserverteilung und des Fasergehalts auf das Schädigungsmuster der Betonkonstruktionen zu untersuchen. Die numerische Studie wird unter Verwendung der Finite-Elemente-Software von LS-DYNA realisiert. In dieser Studie wird eine Reihe von Hochgeschwindigkeitsaufpralltests sowohl mit Normalbeton als auch mit Stahlfaserbeton durchgeführt. Dabei werden der Faseranteil und die Aufprallgeschwindigkeiten variiert.

Mit Hilfe des Programmierwerkzeugs Matlab werden gerade, abgerundete Stahlfasern mit einer Länge von 15 mm und einem Durchmesser von 1,0 mm in der Betonmatrix statistisch verteilt. Die Stahlfasern werden mit einem in LS-DYNA implementierten Balken-/Verbund-Element modelliert. Die Betonmatrix wird in Form achtknotiger Hexaederelemente umgesetzt. Die darin eingebetteten Stahlfasern werden gezwungen, sich zusammen mit diesen Lagrange-Festkörperelementen zu bewegen.

Die Ergebnisse der numerischen Simulationen stimmen mit den experimentellen Daten in Bezug auf die Restgeschwindigkeiten des Geschosses und der Schadensbilder überein. Der Einfluss der Stahlfaserzugabe in verschiedenen Massenanteilen spiegelt sich auch im Schadensprozess und in den Versagensarten wider. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Zugabe eines Bruchteils Stahlfasern zu Beton oder Zement, die Eigenschaften dieses Materials erheblich verbessert.



Schadensmuster im numerischen Modell, hier SFRC-Probe mit 3 % Volumenanteil der Faserdosierung und einer Geschwindigkeit von 19,68 m/s | Failure pattern on the numerical model, here SFRC specimen with 3.0 % volume fraction of fiber dosage and velocity of 19.68 m/s | Graphic: Ammar Babiker

out to investigate the effect of fibre distribution and fibre content on the damage patterns of the concrete structures under various impact loading. The numerical study was conducted using LS-DYNA finite element software. A series of high-velocity impact tests on both, plain and steel fibre reinforced concrete (SFRC) are performed in this study with different fibre dosages and different velocities based on the free-fall formula.

Straight rounded steel fibres of 15 mm length and 1.0 mm diameter are randomly distributed into the concrete matrix using the Matlab programming tool. The steel fibres are modelled with a beam/truss element implemented in LS-DYNA. The concrete matrix was modelled using eight-noded hexahedron element and the steel fibres were embedded and constrained to move along with these Lagrangian solid elements.

The results obtained from the numerical simulations agree with the experimental data in terms of the residual velocities of the projectile and the damage patterns as well. The effect of steel fibre addition in different percentages can be also seen in the damage process and the failure modes. In conclusion, adding a percentage of steel fibres to the plain concrete or cement-based significantly enhance the properties of this material.

► **Titel | Title**

Modellierung von Stahlfaserbeton-Verbundwerkstoffen unter hoher Belastungsraten

*Modelling steel fiber reinforced concrete composite under high loading rate*

► **Förderer | Funding**

Ministry of Higher Education and Scientific Research, Sudan

► **Zeitraum | Period**

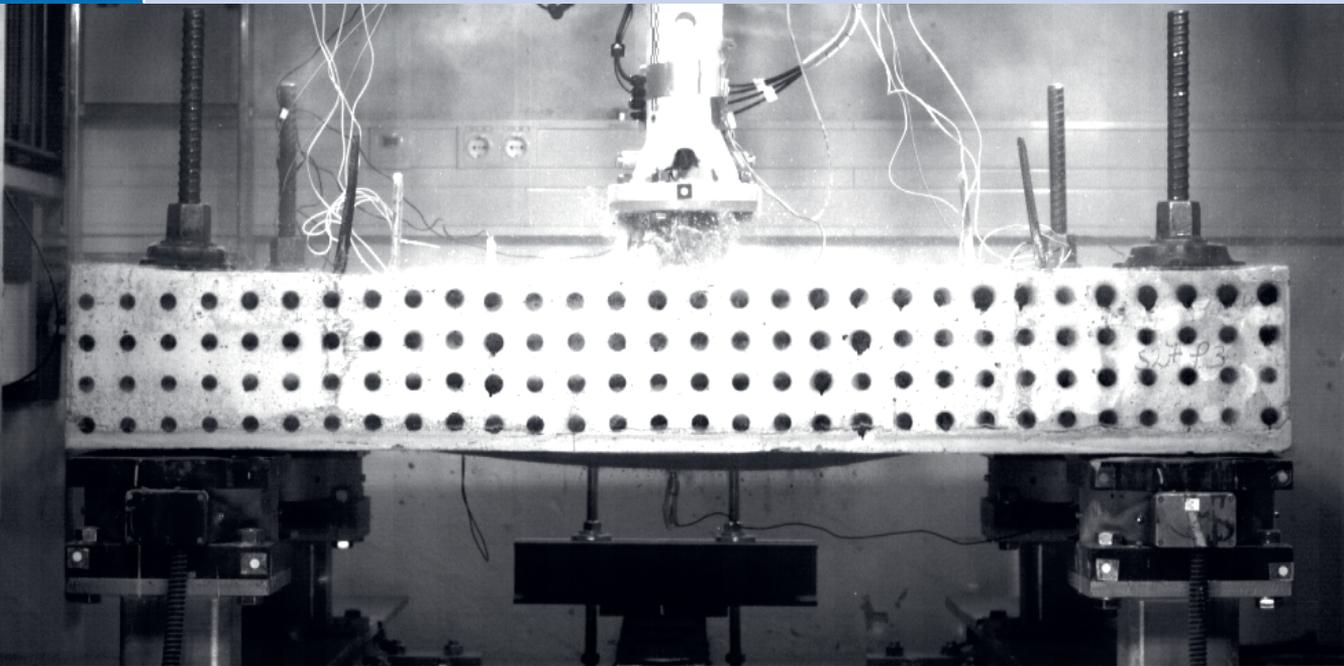
01.2018 – 12.2020

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

► **Bearbeiter | Contributor**

Ammar Babiker M.Sc.



Mit Carbonbeton verstärkte Stahlbetonplatte während des Experiments | Carbon concrete strengthened reinforced concrete plate during the experiment | Photo: Marcus Hering

## TEXTILBETON ALS ZUSÄTZLICHE SICHERHEIT

### TEXTILE REINFORCED CONCRETE AS ADDITIONAL SAFETY

In dem laufenden Forschungsvorhaben wird die Wirkung von dünnen, auf der impaktabgewandten Seite angebrachten Textilbetonverstärkungsschichten auf flächenartige bzw. wandartige Bauteile untersucht. Diese Betrachtungen schließen ein breites Spektrum an unterschiedlichen Bewehrungsstrukturen ein, die als Armierung in der Verstärkungsschicht eingesetzt werden. Im Hinblick auf die Verwendung von Textil- und Carbonbeton lag ein besonderes Augenmerk auf der Untersuchung von unterschiedlichen Bewehrungsmaterialien aus Glas, Basalt und Carbon.

Für die systematische Untersuchung der unterschiedlichen Gelege in einer Feinbetonmatrix wurde zunächst ein neues Versuchskonzept erstellt, welches ein schnelles und kostengünstiges Screening ermöglicht. Basierend auf den Erkenntnissen aus diesen Versuchen wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik ein neues

*In the current research project, the effect of thin textile reinforced concrete layers applied on the not impacted side of flat or wall-like structures is being investigated. These considerations include a wide range of different reinforcement types that are be used as reinforcement in the strengthening layer. With regard to the use of textile reinforced and carbon reinforced concrete, special attention was paid to the investigation of different glass, basalt and carbon reinforcement fabrics.*

*For the systematic investigation of the different meshes in a fine concrete matrix, a new test concept was developed, which enabled a fast and cost-effective test execution. Based on the results from these tests, a new reinforcing textile was developed in cooperation with the Institute of Textile Machinery and High Performance Materials (ITM), whose properties were optimized with regard to impact resistance. After its fabrication, the new reinforcing fabrics first had to prove their efficiency. On the one hand, this meant that it could be*

Verstärkungstextil entwickelt, dessen Eigenschaften im Hinblick auf die Impakt-Widerstandsfähigkeit optimiert wurden. Nach seiner Produktion musste das neue Verstärkungstextil zunächst seine Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen. Dies beinhaltet einerseits eine unkomplizierte Einarbeitung in die Verstärkungsschicht und andererseits deutlich verbesserte Eigenschaften bzw. eine deutlich verbesserte Verstärkungswirkung bei der Krafteinwirkung.

Hierfür wurden Stahlbetonplatten unterschiedlicher Dicke hergestellt und nachträglich mit einer Verstärkungsschicht aus Textilbeton versehen. Die Produktion der Grundplatten erfolgte für jede Plattendicke an jeweils einen Tag mit einer Charge Beton, um einen direkten Vergleich der Verstärkungsschichten zu gewährleisten. Bei der Aufbringung der Verstärkungsschicht wurde in gleicher Weise vorgegangen. Damit konnte sichergestellt werden, dass sich die Probekörper lediglich in dem verwendeten Verstärkungsgelege unterscheiden.

Die Untersuchung der verstärkten Stahlbetonplatten fand schließlich in der Fallturmanlage des Otto-Mohr-Laboratoriums (OML) statt. Hierbei wurden die Probekörper jeweils mit der identischen Belastung beansprucht. Im Experiment zeigten beide Bewehrungen eine verstärkende Wirkung. Ob mit dem neu entwickelten Gelege die Schutzwirkung noch vergrößert werden konnte, werden die laufenden Untersuchungen am OML zeigen.



Unterseite einer verstärkten Stahlbetonplatte nach dem Versuch | Bottom side of a strengthened reinforced concrete plate after the experiment | Photo: Marcus Hering

*easily applied as a reinforcing layer and, on the other hand, it had significantly improved properties which in turn resulted on an improved reinforcing effect when subjected to impact load.*

*For this purpose, reinforced concrete plates of various thicknesses were produced and subsequently strengthened with a layer of textile reinforced concrete. The manufacture of the concrete plates was carried out on the same day for each plate thickness, with a single batch of concrete to ensure a direct comparison of the strengthening layers. The same procedure was followed when applying the strengthening layer. This ensured that the test specimens only differ in the reinforcing fabric used.*

*The investigation of the strengthened reinforced concrete plates finally took place at the drop tower of the Otto Mohr Laboratory (OML). The test specimens were subjected to the identical loads. In the experiment, both reinforcement fabrics showed a good strengthening effect. The on-going investigations at the OML will show whether the protective effect could be further increased with the newly developed fabric.*

► **Titel | Title**

Textilverstärkte Betonkonstruktionen für Impaktbeanspruchungen  
*Reinforced concrete structures strengthened with TRC for impact loading*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi);  
Projektträger AiF

► **Zeitraum | Period**

06.2016 – 11.2018

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Marcus Hering

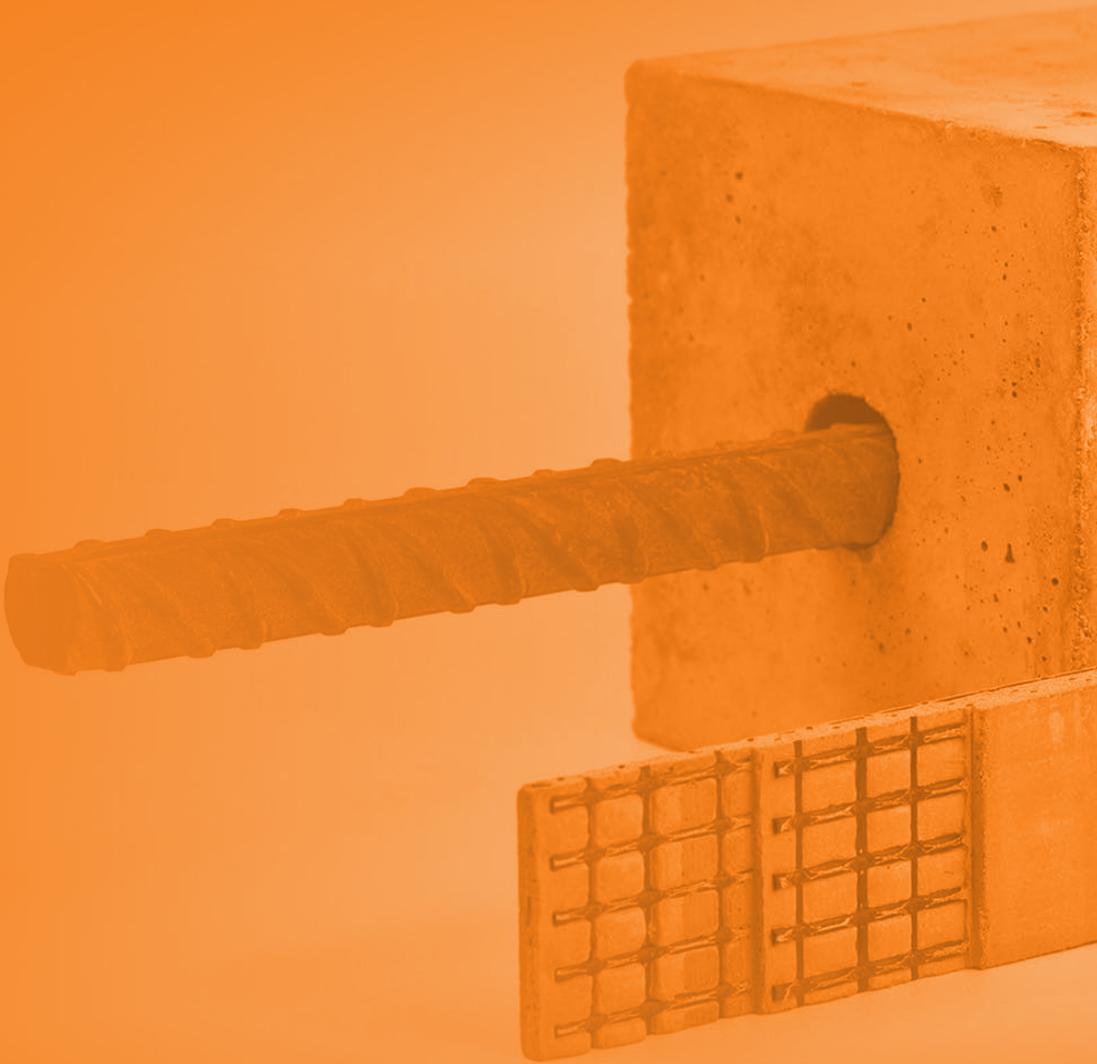
► **Projektpartner | Project partners**

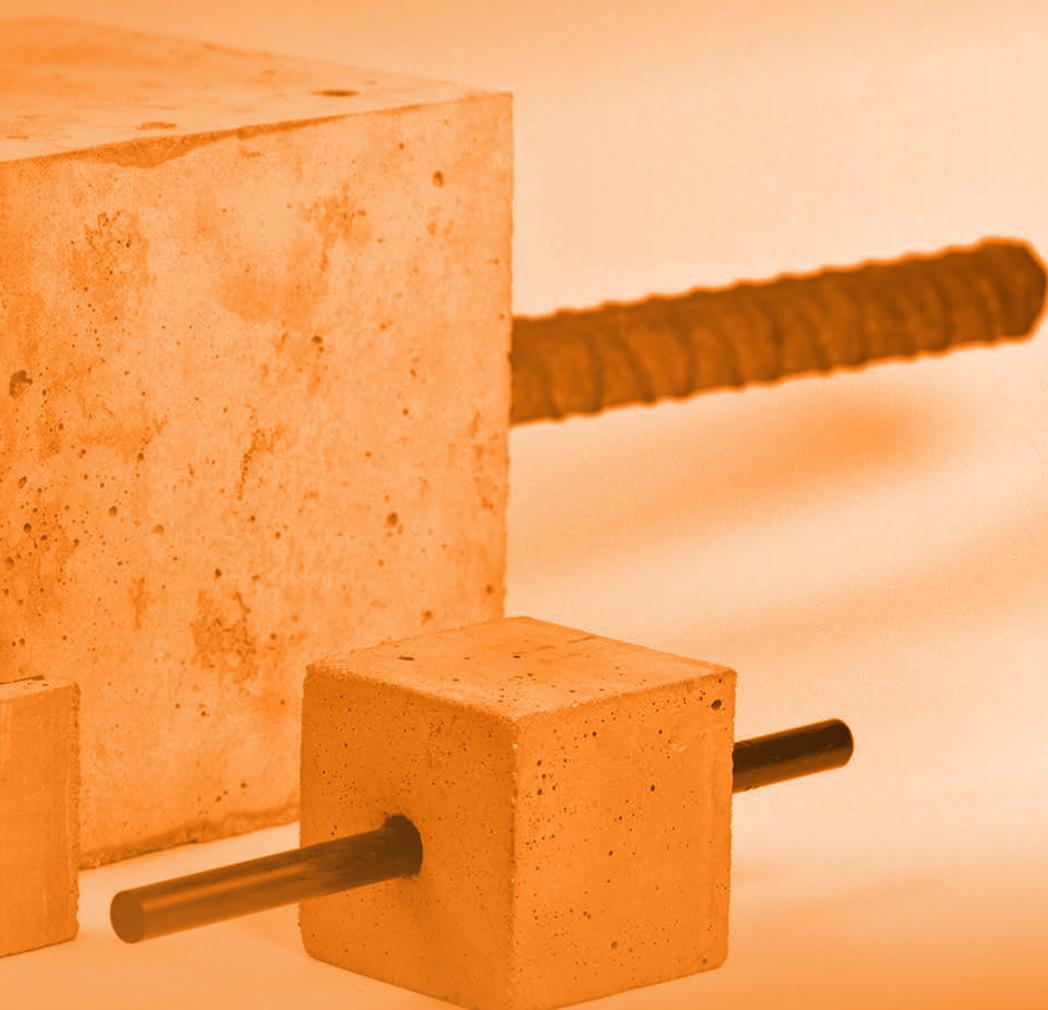
Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden



# DAS C<sup>3</sup>-PROJEKT

*THE C<sup>3</sup> PROJECT*





C<sup>3</sup> | carbon  
concrete  
composite



Prof. Dr. Manfred Curbach erläutert Thomas Schmidt, Sächsischer Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft, die Vorteile von Carbonbeton während eines Besuchs im Otto-Mohr-Laboratorium | Prof. Dr. Manfred Curbach explains to Thomas Schmidt, Saxon Minister of State for the Environment and Agriculture, the benefits of carbon reinforced concrete during a visit to the Otto Mohr Laboratory | Photo: Sven Hofmann

## DAS C<sup>3</sup>-PROJEKT – ENTWICKLUNGEN 2018

### THE C<sup>3</sup>-PROJECT – DEVELOPMENTS 2018

Mit der Strategieentwicklung und dem daraus entstandenen Strategiekonzept zur Etablierung einer neuen, zukunftsfähigen Bauweise wurde im Jahr 2014 der Grundstein für das C<sup>3</sup>-Projekt gelegt. Bereits ein Jahr später begannen im Rahmen der Basisvorhaben die ersten umfassenden grundlagenorientierten Forschungsarbeiten. Die globale Roadmap wurde in ihrem zeitlichen Ablauf in die Phasen Strategie, Basisvorhaben, Abbau der Markteintrittsbarrieren, Technologieumsetzung, Anwendungen und ergänzend in die Phasen Individual, Invention und Lückenschluss sowie diverse Einzelthemen aufgeteilt. Damit ist das Themenspektrum der Vorhaben sehr weit gefächert – von der grundlegenden Technologie bis hin zu marktrelevanten Fragen.

Zur Realisierung des gemeinsamen Zieles unterstützen den C<sup>3</sup>-Verein aktuell 173 Partner (Stand November 2018). Darunter sind 130 Unternehmen, 35 Forschungseinrichtungen und 8 Verbände/Vereine. Für die C<sup>3</sup>-Vorhaben stellen

*The foundation stone for the C<sup>3</sup>-project was laid in 2014 with the development of the strategy and the resulting strategy concept for the establishment of a new, sustainable construction method with carbon reinforced concrete. Just one year later, the first comprehensive basic research work began. The global roadmap was divided into the following phases: strategy, basic project, removal of market entry barriers, technology implementation and applications. Additional issues to supplement those phases were individual topics, invention and gap research as well as various independent topics. This shows the wide range of subjects covered by the projects - from basic technology to market-relevant issues.*

*The C<sup>3</sup>-association is currently supported by 173 partners (as of November 2018) to achieve its common goal. These include 130 companies, 35 research institutions and 8 organisations associations. For the C<sup>3</sup>-projects, the years 2018 and 2019 represent the climax of its work. All topics, with a total of 60 research projects and a total volume of approximately 57 million euros in research funds,*

die Jahre 2018 und 2019 den Höhepunkt der Arbeiten dar. Alle Themen, mit insgesamt 60 Forschungsvorhaben und einem Gesamtvolumen von ca. 57 Mio. Euro Forschungsmitteln, sind bereits geplant bzw. in der Umsetzung. Diese Vorhaben unterteilen sich in knapp 300 Teilvorhaben, die von 124 Partnern bearbeitet werden. Ende 2018 sind 22 Vorhaben abgeschlossen, 33 Vorhaben werden intensiv bearbeitet und 5 Vorhaben befinden sich in der Beantragung.

Im Bereich der technologieorientierten Vorhaben (C3-V1 bis C3-V3) konnten u. a. bisher für die Anwendungsfelder Verstärkung/Instandsetzung und Neubau mehrere Bewehrungsvarianten zur Verfügung gestellt werden und je ein Referenz-Textil sowie eine Referenz-Stabvariante festgelegt werden. Ebenso stehen Bindemittelcompounds, mit abgestimmten Zusatzmitteln, und Betonbasisrezepturen, mit sehr guter Umweltbilanz, zur Verfügung. In Machbarkeitsstudien wurde demonstriert, dass durch Aktivierung der im Bauteil verwendeten textilen Carbonbewehrung zusätzliche Funktionen, wie Heizen und Sensorik, integriert werden können. Für eine normative Regelung wurden Arbeitspapiere erstellt, die u. a. die Bemessung von Neubauteilen und Verstärkungen, die Anforderungen an Bewehrungen und Beton, einschließlich der Prüfverfahren für die notwendige Kennwertermittlung sowie die Bauausführung, beinhalten.

Die Verantwortung gegenüber der Umwelt und der menschlichen Gesundheit stellt eine wichtige Voraussetzung für das Vertrauen in den Carbonbeton dar. Die Forschungen auf dem Gebiet des Recyclings bestätigen eine gute Trennfähigkeit der Materialien bei geringerem Zeitaufwand und Werkzeugverschleiß im Vergleich zu Stahlbeton. Die Weiterverwendung des extrahierten Fasermaterials zu neuen Bewehrungsstrukturen ist Gegenstand laufender Forschungsarbeiten. Bei der Bearbeitung von Carbonbeton konnten, im Vergleich zum konventionellen Beton/Stahlbeton, keine relevanten Unterschiede in den Partikelgrößenverteilungen und der Lungengängigkeit festgestellt werden.

Im Bereich der anwendungs-/marktorientierten Vorhaben (C3-V4) werden insgesamt 16 verschiedene praxisbezogene Themen verfolgt. Die Bandbreite umfasst u. a. neue Fertigungsverfahren, wie bspw. ein automatisiertes Herstell-

*are already planned or being implemented. These projects are divided into almost 300 sub-projects attended to by 124 partners. At the end of 2018, 22 projects were completed, 33 projects are being intensively worked on and 5 projects are in the application process.*

*In the area of technology-oriented projects (C3-V1 to C3-V3), several reinforcement variants have so far been made available for the reinforcement/repair and new construction fields of application and a reference textile and bar variant each have been defined. Also available are compounds with coordinated admixtures and concrete base formulations with a very good environmental balance. In feasibility studies, it was demonstrated that additional functions such as heating and sensor technology can be integrated by activating the carbon reinforcement used in the component. Working papers were prepared for a normative regulation, which include the design of new buildings and reinforcements as well as the requirements for reinforcements and concrete, including the test procedures for the necessary determination of characteristic values and the execution of construction work.*

*Responsibility towards the environment and human health is an important prerequisite to create confidence in carbon reinforced concrete. Research in the field of recycling confirms a good separation ability of the materials in comparison to reinforced concrete and less time expenditure and tool wear. The further use of the extracted fibre material for new reinforcement structures is the subject of ongoing research. In the processing of carbon reinforced concrete, no relevant differences in particle size distributions and pulmonary mobility could be observed in comparison to conventional concrete/steel concrete.*

*In the area of application/market-oriented projects (C3-V4), a total of 16 different practice-related topics are pursued. The range includes new manufacturing processes such as an automated manufacturing process for direct, load-oriented and cut-free storage of carbon reinforcement, pre-stressed bridge systems, the manufacture of mineral-bound reinforcements, car park ceiling slabs, processes for the seamless repair of damaged concrete road surfaces or temperature-resistant, heatable shaping tools in mechanical engineering and much more.*

verfahren zur direkten, lastorientierten und verschnittfreien Ablage der Carbonbewehrung, vorgespannte Brückensysteme, die Herstellung von mineralisch gebundenen Bewehrungen, Parkhausdeckenplatten, Verfahren zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken oder auch temperaturbeständige, heizbare Formgebungswerkzeuge im Maschinenbau u. v. m.

In den Jahren 2020/21 nähert sich die Förderung des C<sup>3</sup>-Projekts dem Ende. Um einen sicheren Abschluss aller Vorhaben zu gewährleisten, erfolgte daher im November 2017 die letzte Ausschreibung/Bekanntmachung, sodass im Februar 2018 die Themen dem Beirat zur Begutachtung vorgelegt werden konnten. Mit diesen Vorhaben sollen die noch bestehenden Wissenslücken mit bisher nicht in Anspruch genommenen Fördermitteln geschlossen werden. Von wesentlicher Bedeutung sind dabei markt- und praxisrelevante Themen, wie der Lückenschluss bei der Vorbereitung von „Regelwerken“ (L9) und das „Werkstoffgerechte Verbinden von Carbonbetonbauteilen“ (L4). Ein weiterer Fokus liegt auf der „Bemessung“ (L6), beispielsweise unter Nutzung von Stabwerkmodellen, und der dazugehörigen „baulichen Durchbildung“ einschließlich der Konstruktionsdetails. Das zentrale Vorhaben „C3-Final“ wird sowohl technische als auch wirtschaftliche Lösungen aus den ca. 300 Teilvorhaben zusammenführen, aufbereiten und den Wissenstransfer sowie die Umsetzung der Carbonbetontechnologie für die breite Anwendung in der Praxis organisieren. Zudem wurden über die aktuellen Budgetgrenzen hinaus vom Beirat weitere Vorhaben empfohlen, die bspw. durch Fördermittelrückläufe später zur Umsetzung gelangen könnten. Hierbei werden u. a. Themen, wie das Verhalten von Carbonbeton im Hinblick auf den Grenzzustand der „Gebrauchstauglichkeit“, „Kennwertoptimierte Carbontextilbewehrungen“, „Vorgespannte Elemente für Systembauteile und Halbfertigteildecken“ mit sofortigem Verbund sowie die „Stabilität“ und die „Schwingungssensibilität“ von dünnwandigen Carbonbetonbauteilen betrachtet. Ergänzend sollen das „Technische Informationssystem“ (TISC3) und die „Numerische Formoptimierung“ von Bauteilen sowie die Integration neuer elektrischer Funktionen weiter entwickelt und vertieft werden.

*In the years 2020/21 the promotion of the C<sup>3</sup>-project is approaching its end. In order to ensure a completion of all projects, the last call for proposals took place in November 2017, so in February 2018 the topics were submitted to the advisory board for appraisal. With these projects, the knowledge gaps that still exist, will be filled with the last funds still available. The focus is on essential market and practice-relevant topics, such as closing the gap in the preparation of „Rules and Regulations“ (L9) and the „Material-compatible Joining of Carbon Reinforced Concrete Components“ (L4). A further focus is on „Design“ (L6), for example using framework models and the associated „Structural Design“ including design details. The central project „C3-Final“ will bring together the technical and the economic solutions from the approximately 300 sub-projects, to process them and to organise the transfer of knowledge as well as the implementation of carbon reinforced concrete technology for a wide application in practice.*

*In addition, the Advisory Board recommended further projects beyond the current budget limits, which could be implemented later, for example by returns of funding. Topics such as the behaviour of carbon reinforced concrete with regard to the serviceability limit state, optimised carbon textile reinforcements, pre-stressed elements for system components and semi-finished ceilings with immediate bonding and the stability and vibration sensitivity of thin-walled carbon reinforced concrete components are considered. In addition, the „Technical Information System“ (TISC3) and the „Numerical Shape Optimisation“ of components as well as the integration of new electrical functions are to be further developed and investigated.*

## Das C<sup>3</sup>-Wirtschaftlichkeitsvorhaben

Was kostet Carbonbeton und wie wird er konkurrenzfähig? Das ist die zentrale Frage des Wirtschaftlichkeitsvorhabens im Rahmen des C<sup>3</sup>-Projektes. Dabei soll untersucht werden, wo ausgewählte C<sup>3</sup>-Anwendungen im Vergleich zu den jeweiligen Marktführern in den Anwendungsbereichen Verstärkung und Neubau (Fertigteilbau) stehen. Im Fokus der Betrachtung steht die Fragestellung: Welche Eigenschaften erwarten die Anwender und für welche sind sie bereit zu zahlen? Die Eigenschaften stehen dabei im Zusammenhang mit den einzelnen Herstellschritten, dem Zeitaufwand und so auch mit den ganzheitlichen Kosten. Anhand eines Beispiels für Verstärkung und Neubau wird gezeigt, wie die Herstellungsprozesse im Status quo aussehen. Daraus soll dann u. a. ein effizienter Herstellprozess für Carbonbeton entworfen werden, der die geforderten Eigenschaften der Anwender erfüllt.

Als übergeordnetes Thema sind die Wertschöpfungsstufen zu nennen und die Frage, welche Wertschöpfungsstufen sich ökonomisch und dauerhaft in Deutschland verankern lassen. Das Vorhaben quantifiziert die technischen Vorteile von Carbonbeton. Was bewirkt die prognostizierte höhere Carbonbeton-Dauerhaftigkeit (Lieboldt, et al., 2018) in den Bereichen Errichtung, Betrieb und Ersatz eines Bauwerks für den Anwender, Betreiber und Nutzer? Passen die Zeithorizonte der Vorteile des Carbonbetons tatsächlich zu den Erwartungen, wie der maximalen Nutzungsdauer sowie der Amortisationszeit der Anwender, Betreiber und Nutzer?

Dazu werden Experteninterviews als qualitative Datenerhebung durchgeführt, die eine Einschätzung der Leistungs- und Einsatzfähigkeit des Carbonbetons in den ausgewählten Anwendungen Verstärkung und Neubau geben. Daraus wird anschließend ein Fragebogen in Form einer quantitativen Erhebung konzipiert, um die Expertenaussagen weiter zu strukturieren und durch eine Befragtenzahl > 100 zu validieren. Im Ergebnis werden eine wirtschaftliche Vergleichsrechnung der derzeit verfügbaren Anwendungen in der Verstärkung und dem Neubau (Fertigteile) mit den konventionellen Anwendungen, der am Markt

## The C<sup>3</sup>-economic efficiency project

*What does carbon reinforced concrete cost and how can it become competitive? This is the main question of the economic efficiency project within the framework of the C<sup>3</sup>-project. The aim is to investigate where to place selected C<sup>3</sup>-applications on the market in comparison to the respective market leaders with regard to reinforcement and new constructions (prefabricated construction). The focus of the research is on the following question: Which characteristics do the users expect and for which are they willing to pay? The properties relate to the individual manufacturing steps, the time required and thus also to the overall costs. By using an example for reinforcement and new construction, manufacturing processes will be described. As a result, an efficient production process for carbon reinforced concrete that meets the user's requirements will be designed.*

*However, the predominant issue is the value-added chain and the question which one of these stages are economical and can be established permanently in Germany. The project quantifies the technical advantages of carbon reinforced concrete. What are the effects of the estimated higher carbon reinforced concrete durability (Lieboldt, et al., 2018) in the areas of construction, operation and replacement of a structure for the operators and users? Do the advantages of carbon reinforced concrete with regard to its durability really match the expectations, such as its maximum service life and the amortisation period for users and operators?*

*For this purpose, experts are interviewed to collect qualitative data and to provide an assessment of the performance and usability of carbon reinforced concrete for the sections reinforcement and new construction. Following that a questionnaire will be designed for a quantitative survey in order to further structure the expert statements and validate them by a number of respondents higher than 100. The result will be an economic comparative calculation of the currently available reinforcement and new build applications (finished parts) with conventional applications, market-leading technologies and a value chain analysis as well as the development of a competitive carbon reinforced concrete value chain.*

führenden Technologien sowie die Analyse der Wertschöpfungskette und Entwicklung je einer konkurrenzfähigen Carbonbeton-Wertschöpfungskette, zur Verfügung stehen.

### Das C<sup>3</sup>-Projekt in der Öffentlichkeit

Die kontinuierlichen Bemühungen im gesamten Bereich der Öffentlichkeitsarbeit, durch Informationsveranstaltungen und zahlreiche Vorträge wurden im Jahr 2018 durch die besondere Aufmerksamkeit auch auf politischer Ebene belohnt. Dank des erfolgreichen Wissens- und Technologietransfers gelingen einerseits die zunehmende Anwendung von Carbonbeton in der Praxis und damit auch der Ausbau des C<sup>3</sup>-Netzwerkes. Andererseits wird die Carbonbeton-Forschung durch immer neue Impulse befördert und ein Umdenken auf höherer Ebene erreicht. Im Folgenden wird ein kleiner Überblick über die wichtigsten Veranstaltungen und Themen der Öffentlichkeitsarbeit des Jahres 2018 gegeben.

### Carbonbeton erobert die Politik

Im Januar besuchte Sachsens Umweltminister Thomas Schmidt das Otto-Mohr-Laboratorium, um sich über die neue Art zu Bauen näher zu informieren. Dabei nahm er nicht nur an einer Führung teil, sondern betonierte gleich mit. Im gemeinsamen Gespräch mit Prof. Manfred Curbach, Prof. Peter Jehle, Dr. Harald Michler, Dr. Frank Schladitz und dem ministerialen Stab für Grundsatzfragen der EU-Förderung, Umweltpolitik und Nachhaltigkeit konnte der Grundstein für eine zukünftige Zusammenarbeit gelegt werden. Welche Faszination Carbonbeton dabei auf den Umweltminister ausübte, sollte sich zur Umweltministerkonferenz noch einmal zeigen.

Am 8. Juni 2018 trafen sich die Umweltminister der Länder in Bremen zur Fachkonferenz, bei der auch innovative Baustoffe thematisiert wurden. Sachsens Umweltminister Schmidt brachte dabei u. a. die neuartige Bauweise mit Carbonbeton ein und zeigte sich mit dem gefassten Beschluss zur zielgerichteten Erforschung und Förderung von nachhaltigen Baustoffen, wie Carbonbeton, am Ende der Konferenz zufrieden. Ebenfalls begeistert von Carbonbeton zeigte sich am 17. September der

### The C<sup>3</sup>-project in public

*The continuous efforts in the entire field of public relations with information events and numerous lectures were rewarded in 2018 by a further special attention on political level. On the one hand, thanks to the successful transfer of knowledge and technology, the use of carbon reinforced concrete in practice increased and led to an expansion of the C<sup>3</sup>-network. On the other hand, carbon reinforced concrete research promoted new impulses and achieved a rethinking on a higher level. The next section gives a brief overview of the most important events and public relations topics in 2018.*

### Carbon reinforced concrete conquers politics

*In January, Saxony State Minister for Environment and Agriculture, Thomas Schmidt, visited the Otto Mohr Laboratory to learn more about the new construction design. He did not only go on a guided tour, he also concreted specimens by himself. In a joint discussion with Prof. Manfred Curbach, Prof. Peter Jehle, Dr. Harald Michler, Dr. Frank Schladitz and the Ministerial Staff for Fundamental Issues of EU Funding, Environmental Policy and Sustainability, the foundation was laid for future cooperation. At the Environmental Ministers Conference Thomas Schmidt shared the fascination that carbon reinforced concrete exerted on the Minister with other delegates.*

*On 8 June 2018, the environment ministers of the federal states met in Bremen for a specialist conference discussing, amongst other things, innovative building materials. Saxony State Minister for Environment Schmidt introduced the innovative construction method using carbon reinforced concrete and was satisfied with the decision taken at the end of the conference to support purposeful research and promote sustainable building materials such as carbon reinforced concrete. Another enthusiastic comment on carbon reinforced concrete was made by the Federal Minister of Economic Affairs and Energy, Peter Altmeier, at the event „Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) - erfolgreicher Transfer durch Wissensvernetzung“ on 17 September 2018. The aim of the BMWi funding program IGF is to maintain the technological performance and innovation of Germany's small and medium-sized businesses by financial*



Sächsischer Umweltminister Thomas Schmidt mit Prof. Manfred Curbach im Otto-Mohr-Laboratorium | Saxony State Minister for Environment Thomas Schmidt with Prof. Manfred Curbach in the Otto Mohr Laboratory | Photo: Sven Hofmann

Bundeswirtschaftsminister Peter Altmeier auf der Veranstaltung „Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) – erfolgreicher Transfer durch Wissensvernetzung“. Ziel des BMWi-Förderprogramms IGF ist es, den deutschen Mittelstand durch finanzielle Unterstützung technologisch leistungsfähig und innovativ zu erhalten. Als positives Beispiel für eine gelungene industrielle Gemeinschaftsforschung nannte Peter Altmeier die Entwicklung des Carbonbetons.

### Deutschland- und weltweites Interesse am Thema Carbonbeton

Bereits zweimal wurde das C<sup>3</sup>-Strategieteam 2018 von einer Delegation aus Südkorea, bestehend aus renommierten Professoren und Vorsitzenden des Bausektors, besucht. Im Fokus der Zusammenkunft lag die fachliche Auseinandersetzung mit dem innovativen Verbundwerkstoff, den markanten Leistungsmerkmalen und den erweiterten Möglichkeiten durch Multifunktionalität.

Von einer „zukunftsweisenden Entdeckung für sein Land“ spricht Ugur Erdogan über Carbonbeton. Der Präsident der Türkischen Handelskammer (Denizli Ticaret Odasi) besuchte mit einer Delegation von 50 Experten der türkischen Bauwirtschaft den C<sup>3</sup>-Messestand während der Baumesse bautec in Berlin. Laut Ugur Erdogan sollen zukünftig verstärkt technische Textilien im „schnellsten Wirtschaftssektor – der Bauwirtschaft – in der Türkei“ verwendet werden.

support. Peter Altmeier cited the development of carbon reinforced concrete as a positive example for successful joint industrial research

### Germany and worldwide interest in the topic of carbon reinforced concrete

The C<sup>3</sup>-team has been visited twice in 2018 by a delegation from South Korea, consisting of renowned professors and chairmen of the construction sector. The focus of the meetings was on the technical examination of the innovative composite material, the striking performance features and the expanded possibilities offered by multi-functionality.

Meanwhile Ugur Erdogan calls carbon reinforced concrete a „pioneering discovery for his country“. The DTO President (Denizli Ticaret Odasi) visited the C<sup>3</sup>-stand with a delegation of 50 experts from the Turkish construction industry during the bautec construction trade fair in Berlin. According to Ugur Erdogan, technical textiles will increasingly be used in the „fastest economic sector - the construction industry - in Turkey“ in the future.

The United States also showed great interest in carbon reinforced concrete. Arizona State University invited C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite for a stay in Phoenix to give lectures on the research developments of carbon reinforced concrete in Germany to local young academics.



Ludwig Gawer und der DTO-Präsident Ugur Erdogan auf der bautec in Berlin | Ludwig Gawer and DTO President Ugur Erdogan at bautec fair in Berlin | Photo: DTO

Großes Interesse an Carbonbeton zeigte sich auch aus den Vereinigten Staaten. Die Arizona State University lud C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite zu einem Aufenthalt nach Phoenix ein, um den (Nachwuchs-)Forschern vor Ort einen Einblick in die deutsche Carbonbeton-Entwicklung zu geben.

## 10. Carbon- und Textilbetontage

Am 25. und 26. September trafen sich zahlreiche renommierte Fachleute der deutschsprachigen Bauwirtschaft, um den Konferenzteilnehmern der Carbon- und Textilbetontage einen Einblick in die neusten Erkenntnisse aus Forschung und Praxis zu geben. Eröffnet wurde die Veranstaltung mit einem spannungsgeladenen, humorvollen Vortrag von einem der weltbesten Fußballschiedsrichter – Urs Meier. In den praxisnahen Vorträgen – von Bausatzkomponenten über Neubau, Sanierung, Einbauteile, Planung, Bemessung und Normung bis hin zu Experimenten, Vernetzung mit anderen Branchen, Arbeitsschutzanforderungen und Recycling – gaben Referenten interessante Einblicke in ihre jeweiligen Projekte und verhalfen der Veranstaltung erneut zu großem Erfolg.



Eröffnung der 10. Carbon- und Textilbetontage im Deutschen Hygiene-Museum | *Opening of the 10th Carbon and Textile Concrete Days at the Deutsches Hygiene Museum* | Photo: Stefan Gröschel

## 10th Carbon and Textile Reinforced Concrete Days

*On 25th and 26th September 2018, numerous renowned experts from the German-speaking construction industry met to share the latest findings from research and practice with the participants of the Carbon and Textile Concrete Conference. The event was opened with an exciting and humorous lecture by one of the world's best football referees - Urs Meier. In the practical presentations – from kit components, new construction, refurbishment, installation parts, planning, dimensioning and standardisation to experiments, networking with other industries, occupational safety requirements and recycling - speakers gave interesting insights into their respective projects and once again helped the event to become a great success.*



Informelle Gespräche an den Ausstellungsständen | *Stimulating conversations at the stands* | Photo: Stefan Gröschel



Entspannte Atmosphäre in der Wandelhalle | *Relaxed atmosphere in the Wandelhalle* | Photo: Stefan Gröschel

### **Green Talents besuchen Hot Spots der Nachhaltigkeitswissenschaft – darunter auch das C<sup>3</sup>-Projekt**

Am 15. Oktober begann die Rundtour der Green Talents mit dem Besuch der TU Dresden. Als einziges Zwanzig20-Konsortium erhielt das C<sup>3</sup>-Projekt die große Ehre durch das Bundesforschungsministerium, den Green Talents einen Einblick in das spannende Thema Carbonbeton geben zu dürfen. Nach einem Vortrag von Dr. Frank Schladitz folgte eine Führung durch das Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden sowie eine spektakuläre Querkraftbalkenprüfung. Währenddessen nutzten die 25 Green Talents aus 19 verschiedenen Nationen die Möglichkeit für Gespräche mit den Experten des C<sup>3</sup>-Projekts und der TU Dresden, um sich über das Potenzial und die Projekte zu Carbonbeton auszutauschen.

### **Green Talents visit the C<sup>3</sup>-project**

The Green Talents tour began on October 15th with a visit to the TU Dresden. The tour was initiated by the Federal Ministry of Education and Research and the C<sup>3</sup>-project was the only Zwanzig20-consortium to receive the great honour to give the Green Talents an insight into the exciting subject of carbon reinforced concrete. A lecture by Dr. Frank Schladitz was followed by a guided tour through the Otto Mohr Laboratory of the TU Dresden and a spectacular shear force beam test. Meanwhile, the 25 Green Talents from 19 different nations took the opportunity to talk to experts of the C<sup>3</sup>-project and the TU Dresden about the potential of and the projects on carbon reinforced concrete.



Green Talents verfolgen die Querkraftbalkenprüfung im OML | Green Talents follow the shear force beam test | Photo: Chris Gärtner



Dr. Frank Schladitz gibt den Nachwuchswissenschaftlern einen umfassenden Einblick in das Thema Carbonbeton | Dr. Frank Schladitz gives young scientists a comprehensive lecture on carbon reinforced concrete | Photo: Chris Gärtner

#### ► **Titel | Title**

C3-S2: Strategiefortschreibung und konzeptionelle Innovationsförderung von C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

*C3-S2: Strategic improvement and conceptual promotion of innovations for C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite*

#### ► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger Jülich (PTJ)

#### ► **Zeitraum | Period**

C<sup>3</sup>: 09.2013 – 2021  
 C3-S1: 01.2014 – 06.2015  
 C3-S2: 07.2015 – 12.2020  
 C3-I: 08.2015 – 12.2021

#### ► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

#### ► **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Frank Schladitz; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ludwig Gawer; Chris Gärtner M.A.; Anja Giesder; Sandra Kranich M.A.; Dr.-Ing. Matthias Lieboldt; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Minar M.Sc.; Dajana Musiol M.A.; Jana Strauch, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Matthias Tietze

# LEHRE

## *TEACHING*



# LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

*LECTURES AT THE INSTITUTE  
OF CONCRETE STRUCTURES*



Workshop zur Formfindung für Schalenträgerwerke mit Hängemodellen aus Gips | *Form finding workshop for shell structures with hanging models made of plaster* | Photos: Stefan Gröschel

Wesentliche Aufgaben der Universität und des Instituts sind – neben der Forschung – die Ausbildung von Studentinnen und Studenten sowie die Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. In Vorlesungen, Seminaren und Übungen wird Wissen vermittelt und gefestigt. In Hausaufgaben und Belegen zeigen die Studierenden, ob sie das Gelernte anwenden können. Neben dem Wissen möchten wir auch die Faszination und Innovationskraft unseres Fachgebietes übermitteln. Wir wollen die Begeisterung der Studierenden wecken und sehen in ihnen die Botschafter, die dieses Wissen in die Praxis hinaustragen oder durch eine Tätigkeit in der Forschung weiterentwickeln. Besonders intensive Kontakte und kreativer Gedankenaustausch werden bei der Betreuung der Semester- und Abschlussarbeiten gepflegt, aber auch bei gemeinsamen Exkursionen.

Als Maßstab für die Qualität der Lehre sehen wir vor allem die Meinung der Studierenden. Neben den obligatorischen Evaluationen suchen wir das Gespräch mit den Lernenden, um Anregungen und Kritik aus erster Hand zu erfahren. Besonders direkte Verbindungen pflegen wir zu den ca. 45 studentischen Hilfskräften am Institut, die zumeist in die Forschungsarbeit eingebunden sind. Diese Tätigkeit erfordert sowohl fundiertes Wissen als auch Phantasie und Kreativität – ein ideales Aufgabenfeld für begabte und motivierte Studierende und zukünftige Ingenieurinnen und Ingenieure. Gleichzeitig fließen die Anforderungen der Bauindustrie an Hochschulabsolventinnen und -absolventen in die Lehrkonzeption ein. Viele Abschlussarbeiten werden gemeinsam mit einem Praxispartner betreut. So können wir unseren Studentinnen und Studenten einen optimalen Start ins Berufsleben ermöglichen.

Unsere Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen betreuen überwiegend Lehrveranstaltungen der Diplom- und Diplomaufbaustudiengänge Bauingenieurwesen (BIW). Der Diplomstudiengang beruht auf einem 3-stufigen Curriculum aus Grund-, Grundfach- und Vertiefungsstudium und wird nach 10 Semestern Regelstudienzeit mit dem Diplom abgeschlossen. Ein Bachelorabschluss ist nur im Rahmen des Fernstudiums möglich. Das Diplomaufbaustudium beginnt im 7. Semester des grundständigen

*Besides research, educating students and junior scientists is a major task of the university and our institute. In lectures, seminars, and tutorials, knowledge is imparted and consolidated. By completing homework and project assignments, students show that they can apply their knowledge. More than just knowledge, we want to convey fascination for innovation in our field. We want to expand students' interests, as we see them as messengers who will apply their knowledge in practice, and refine it through scientific activities in research. Intensive contact and the creative exchange of ideas are maintained through supervision during masters' theses, project work, and field trips.*

*We see the students' opinions as an important benchmark for the quality of our teaching. In addition to mandatory evaluations, we seek out conversations with students to receive suggestions and critique first-hand. We keep close contact with students, especially to the ca. 60 student assistants, who are mainly involved in research. For this activity, they need sound knowledge as well as imagination and creativity, which makes it an ideal working field for motivated, talented students and future engineers. At the same time, the requirements that the construction industry has for graduates can flow into the teaching concept. Many theses are supervised by industry partners, allowing for an optimal start of a student's career.*

*Our faculty mainly supervise lectures for a degree known in Germany as Diplom-Ingenieur. Also, graduate and postgraduate programs in civil engineering (BIW) are offered. The Diplom-Ingenieur program is based on a 3 step curriculum, which consists of a foundation, consolidation and in-depth studies. After ten semesters, the standard period of study is completed, and a diploma and degree are granted to the student. A bachelor's degree is only offered to long distance students. The postgraduate program starts in the 7th semester, and it is a fundamental program which has a similar depth, and it is equivalent to the master's programs of other universities. It can also be completed via a distance learning program. It is special in that students also graduate with a diploma. Furthermore, we offer a master's program for English-speaking students, called Advanced Computational and*

Studiengangs und ist somit vom Umfang her mit Masterstudiengängen anderer Universitäten vergleichbar, wird aber ebenfalls mit dem Diplom abgeschlossen und kann auch im Fernstudium absolviert werden. Darüber hinaus wird der englischsprachige Masterstudiengang *Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies (ACCESS)* angeboten. In 4 Semestern Regelstudienzeit erlangen im Durchschnitt 50 Studierende aus der ganzen Welt ihren Masterabschluss.

Überdies werden Lehrveranstaltungen für die Bachelorstudiengänge Wasserwirtschaft (BWA) und Hydrowissenschaften (BHYWI) sowie für den Master- bzw. Diplomstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (WING-MA bzw. D-WW-ING) angeboten.

*Civil Engineering Structural Studies (ACCESS). After a standard study period of 4 semesters, around 50 students from all over the world graduate with a master's degree.*

*Also, we offer lectures in water management (BWA) and hydroscience (BHYWI) for the bachelor's program, as well as in industrial engineering (MA-WW-ING/D-WW-ING) for masters' and diploma programs.*



**Nachfolgend geben wir einen kurzen Einblick in die Lehrveranstaltungen des Studienjahres 2017/2018.**

Genauere Modulbeschreibungen können der Webseite unseres Institutes

<https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/>

oder den entsprechenden, ebenfalls online verfügbaren Studienordnungen entnommen werden.

***In the following pages, we will take a short look into the lectures that were offered during the academic year 2017/2018. More detailed descriptions of the modules can be found on the institute's website***

***<https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/>, or in the respective study regulations, which are also available online.***

## LEHRVERANSTALTUNGEN AM INSTITUT FÜR MASSIVBAU

### ► **Stahlbetonbau (BIW 2-05)**

Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. Melchior Deutscher, Dipl.-Ing. Marc Koschemann, Dipl.-Ing. Sebastian May

- ▷ **4. Semester:** 2 SWS Vorlesung
- ▷ **5. Semester:** 1 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung
- ▷ **6. Semester:** 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Entwurfs-, Konstruktions- und Bemessungsgrundlagen des Stahl- und Spannbetonbaus sowie die wesentlichen Modelle für den Nachweis typischer Stahl- und Spannbetonbauteile.

### ► **Konstruktionslehre und Werkstoffmechanik im Massivbau (BIW 3-02)**

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, Dipl.-Ing. Daniel Karl

- ▷ **5. Semester:** Mauerwerksbau, 1 SWS Vorlesung
- ▷ **6. Semester:** Stahlbetonkonstruktionslehre, 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Besonderheiten des Tragverhaltens und der Konstruktionsweisen des Stahlbetonbaus und wesentliche Grundlagen des Mauerwerksbaus sowie dessen spezielle Bemessungs- und Konstruktionsmethoden.

► **Entwurf von Massivbauwerken** (BIW 4-11)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Silke Scheerer, Dipl.-Ing. Robert Schneider, Dipl.-Ing. Jakob Bochmann, Dipl.-Ing. Marcus Hering, Dipl.-Ing. Marc Koschemann, Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Oliver Mosig, Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Juliane Wagner

▷ **7. Semester:** 2 SWS Vorlesung

▷ **8. Semester:** 1 SWS Vorlesung und 3 SWS Seminar

Inhalt des Moduls ist der Entwurf von Ingenieurbauwerken wie z. B. Brücken, Hochhäusern, Türmen unter Berücksichtigung geeigneter Konstruktionsweisen und Bautechnologien sowie deren funktionaler und gestalterischer Wirkung.

► **Bauen im Bestand – Verstärken von Massivbauwerken** (BIW 4-12)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Robert Schneider

▷ **7. Semester:** Verstärken von Massivbauwerken, 2 SWS Vorlesung

▷ **8. Semester:** Verstärken von Massivbauwerken, 1,5 SWS Übung

▷ **8. Semester:** Mess- und Versuchstechnik, 1 SWS Vorlesung und 0,5 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind Analyse und Nachrechnung sowie Instandsetzung und Verstärkung von bestehenden Massivbauwerken sowie Grundlagen der Mess- und Versuchstechnik.

► **Brückenbau** (BIW 4-16)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

▷ **7. Semester:** Massivbrückenbau, 2 SWS Vorlesung

Inhalt des Moduls sind Entwurf, Konstruktion und Berechnung von Brücken in Stahl-, Massiv- und Verbundbauweise. Im Blickpunkt stehen dabei sowohl Straßen- als auch Eisenbahn- und Gehwegbrücken.

► **Beton im Wasserbau und Stahlwasserbau** (BIW 4-52)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **8. Semester:** 1 SWS Vorlesung

Inhalt des Moduls sind die Betontechnik im Neuwasserbau und bei der Instandsetzung bestehender Bauwerke sowie Spezialbauwerke des Beton-, Stahlbeton- und Stahlwasserbaus.

► **Bauökologie – Bautechnik** (BIW 4-56)

Dr.-Ing. Kerstin Speck

▷ **7. Semester:** Nachhaltige Tragwerksplanung, 1 SWS Vorlesung

Inhalt des Moduls sind die Besonderheiten bei der nachhaltigen Bauwerksplanung hinsichtlich des Entwurfs, der Produktion, des Transports und der Montage sowie der erforderlichen ökologisch relevanten Nachweise samt Konstruktionsbeispielen.

► **Computational Engineering im Massivbau (BIW 4-65)**

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **7. Semester:** 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung

▷ **8. Semester:** 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die Grundlagen der Anwendungsmöglichkeiten von numerischen und anderen rechnergestützten Verfahren im Bereich des Massivbaus wie beispielsweise die speziellen Materialeigenschaften von Beton, die Rissbildung und das Zusammenwirken von Betonstahl und Beton im Hinblick auf Modellbildung und Diskretisierung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden geeignete Verfahren zur Lösung der nichtlinearen Problemstellungen sowie die speziellen Verfahrensmerkmale und Anwendungsmöglichkeiten anhand von typischen Beispielen. Im Blickpunkt stehen auch außergewöhnliche Beanspruchungen wie Anprall und Explosionsdrücke.

► **Ausgewählte Aspekte zu Diskretisierungsverfahren, CAE (BIW 4-68)**

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **7. Semester:** 4 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung

Inhalt des Moduls sind die erweiterten Diskretisierungsmöglichkeiten für Problemstellungen der Kontinuumsmechanik, insbesondere die Darstellung diskontinuierlicher Felder, weiterhin die Strömungsmechanik und die Fluid-Struktur-Interaktion sowie deren Anwendungsmöglichkeiten. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Grundlagen adaptiver Diskretisierungsverfahren.

► **Projektarbeit (BIW 5-01)**

▷ **9. Semester:** 16 Wochen Bearbeitung eines Projektes und 2 SWS Seminar

Mit der Projektarbeit soll die Fähigkeit zur Entwicklung, Durchsetzung und Präsentation von fachspezifischen Themen und Fragestellungen nachgewiesen werden. Hierbei sollen die Studierenden zeigen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können. Das Ergebnis ist in schriftlicher Form abzugeben und mündlich in einem Kolloquium zu präsentieren.

► **Diplomarbeit (BIW)**

▷ **10. Semester:** 4 Monate Bearbeitung der Diplomarbeit und öffentliche Verteidigung

Die Diplomarbeit soll zeigen, dass die Studierenden in der Lage sind, innerhalb einer vorgegebenen Frist ein Problem aus ihrem Fachbereich selbständig mit wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. Die Diplomarbeit ist der Abschluss des Studiums.

► **Design of Concrete Structures (ACCESS, BIWE-01)**

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dipl.-Ing. Robert Schneider

▷ **2<sup>nd</sup> semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

*The contents of the module include design-relevant concrete properties, load-bearing behaviour under multiaxial stress, special properties of the material concrete as a basis for modelling, dimensioning methods for reinforced concrete components according to valid norms and regulations including plausibility check procedures, and special strengthening methods for concrete structures along with the relevant calculation models. Among such strengthening methods are shotcrete with steel reinforcement, FRP systems, and textile reinforced concrete.*

► **Computational Methods for Reinforced Concrete Structures** (ACCESS, BIWE-06)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

▷ **2<sup>nd</sup> semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

*The module is comprised of special numerical methods that are suitable for the calculation of reinforced concrete (RC) structures. This includes the modelling of cracking and bond behaviour of RC, special non-linear calculation methods, the load bearing behaviour of cracked steel reinforced concrete elements, numerical methods for truss models, multiaxial constitutive laws for concrete, finite elements for structural members made of RC, in particular for shear walls and slabs.*

► **Cable Stayed Bridges** (ACCESS, BIWE-11)

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

▷ **2<sup>nd</sup> semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

*The scope of the module includes the analysis of the loads acting on cable-stayed bridges as well as the dimensioning, dynamics, production and installation of load-bearing cables, the design of concrete and steel crossbeams, towers, and bridge girders. In such analysis, the nonlinear theory and the aerodynamic stability of the cables, stiffening beams is taking into account. The design and dimensioning of cable-stayed bridges according to Eurocode, and selected construction details for reinforced concrete, steel and steel composite structures are presented.*

► **Practice-oriented Project Work** (ACCESS BIWO-08)

▷ **3<sup>rd</sup> semester:** 16 weeks working on a project and a public defence

*The goal of the project work is to demonstrate the student's ability to develop, implement and present subject-specific topics and questions based on specific tasks of civil engineering, materials science, and computer-oriented mechanics. Students should show that they can define goals on a larger task, as well as elaborate interdisciplinary approaches and concepts. The results shall be given and presented in written form.*

► **Master's Thesis** (ACCESS BIWO-09)

▷ **4<sup>th</sup> semester:** 4 months working on a Master's Thesis and a public defence

*The master's thesis is intended to show that the student is able to work on a problem within his or her subject independently and according to scientific methods. Therefore, the master's thesis is the completion of the studies.*



Praxisbezogene Ausbildung - Begehung einer Hohlkastenbrücke in Dresden-Löbtau im Rahmen der Lehre | *Practice-oriented training - inspection of a box girder bridge in Dresden-Löbtau as part of the teaching curriculum* | Photo: Stefan Gröschel

## PROJEKTARBEITEN | PROJECT WORKS

Studienjahr 2017/18 | *Academic year 2017/18*

Im 9. Semester des Diplomstudiengangs bzw. im 3. Semester des Diplom-Aufbaustudiengangs Bauingenieurwesen wird von den Studenten eine Projektarbeit angefertigt. Durch die Arbeit an einem Projekt zu aktuellen fachspezifischen Themen und Fragestellungen der gewählten Vertiefung soll die Fähigkeit zur methodischen wissenschaftlichen Arbeitsweise nachgewiesen werden. Hierbei sollen die Studenten zeigen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können. Die während ihres Studiums erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten sind möglichst selbstständig, einzeln oder im Team auf eine konkrete Aufgabenstellung anzuwenden, die Arbeitsschritte nachvollziehbar zu dokumentieren sowie die Ergebnisse im Rahmen eines Kolloquiums zu präsentieren und zur Diskussion zu stellen.

Mit der gleichen Zielstellung und einem ähnlichen Arbeitsumfang bearbeiten die Studentinnen und Studenten des englischsprachigen Masterstudiengangs Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies ACCESS im 3. Semester ein anwendungsbezogenes Wissenschaftsprojekt – kurz Project Work.

Ausgewählte Arbeiten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

*In the 3rd semester of the MSc program ACCESS, students make a project work on a current and technical topic. In this manner, the students show their capability to work in a methodical and scientific way, and to define project goals that are feasible and within the scope of their task.*

*Interdisciplinary solutions and concepts are applied. The students should be aware of their knowledge and skills and be able to work in an independent manner.*

*At the end of the semester, the project work is presented at a colloquium, followed by an individual oral examination.*

*Selected works are briefly presented below.*

## Peter Betz

### Untersuchung von Bauzuständen eines Hörsaal- und Seminargebäudes in Freiberg (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Marc Koschemann, Dipl.-Ing. (FH) Lars Rehropp (Mayer-Vorfelder-Dinkelacker Ingenieurgesellschaft für Bauwesen GmbH und Co KG), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Bauablauf des Hörsaalgebäudes der TU Bergakademie Freiberg mit zugehörigem Unterstützungskonzept ausgearbeitet. Zuerst wurde der Bauablauf mit einer durchgängigen Unterstützung entworfen, wie es ohne weitere Untersuchungen der Bauzustände der Fall wäre. Anschließend wird überprüft, ob es unter Berücksichtigung der Festigkeitsentwicklung des Betons möglich ist, den Unterstützungsaufwand stellenweise zu verringern um somit bei vergleichbarem zeitlichem Aufwand einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen.

Beachtet werden muss dabei die räumliche Tragwirkung des Gebäudes. Die Decke über dem Erdgeschoss ist über 15 Meter hinweg vorgespannt und durch nicht grundfeste Wandträger und die geneigte Dachkonstruktion ausgesteift.

Durch die gezielte Anordnung von Bauabschnitten, Arbeitsfugen und die Ermittlung von kritischen Bauteilen, die unterstützt bleiben sollten, war es möglich, die Eigentragwirkung der Bauteile an vielen Stellen zu aktivieren, ohne dass Mehrkosten durch Anpassungen des Tragwerks notwendig wurden.



Nord-Ost Ansicht des Hörsaalgebäudes | Grafik: Eßmann Gärtner Nieper Architekten GbR

## Leonie Brachat

### Bewertung der Gesamtkonstruktion von Hallenbauwerken in Massiv- oder Stahlbauweise unter Brandeinwirkung (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Karl, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Im Zuge dieser Arbeit sollte ein Qualitätsvergleich verschiedener Bauweisen aus brandschutztechnischer Sicht im Hallenbau durchgeführt werden. Durch die Wahl der Baustoffe wird das statisch-konstruktive Gefüge der Halle beeinflusst. So hängt auch die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile von der Art und Anordnung der verwendeten Baustoffe ab.



Entwurf einer Werkhalle | Grafik: Bauplanungsbüro Winter, Rastenberg

Bei Hallenbauwerken wird oft Stahl oder Stahlbeton als Konstruktionsbaustoff gewählt. Daher wurde sich bei den durchgeführten Untersuchungen auf diese beiden Baustoffe beschränkt. Um das Brandverhalten besser beurteilen zu können, mussten die Eigenschaften der Baustoffe bei erhöhter Temperatur ermittelt werden. Dem thermischen Verhalten der Baustoffe und ihrer Klassifizierung folgte die Untersuchung der spezifischen Bauteile. Zuvor wurde eine grundsätzliche brandschutztechnische Leistungsanforderung an die Bauteile und das Gefüge festgelegt. Im Anschluss wurde eine konstruktive Bewertung der einzelnen Bauteile, dazu zählen Wand- und Deckenbauteile, Fassaden, Öffnungen, Installationen sowie Anschlüsse und Verbindungen, durchgeführt. Hierfür wurden auf Grundlage der vorangegangenen Untersuchungen zwei vergleichbare Hallenkonstruktionen, einmal in Stahl- und einmal in Massivbauweise, betrachtet. Die bereits getroffenen Schlussfolgerungen konnten hierbei untermauert oder widerlegt werden. Ein Vergleich der beiden Bauweisen und eine Bewertung aus Sicht des Brandschutzes schließen die Untersuchungen.

**Max Dinkelaker****Entwurf und Bemessung einer Straßenbrücke aus Carbonbeton**  
(Projektarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Robert Zobel,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Nach vielen Jahren der Forschung ist der innovative Verbundwerkstoff Carbonbeton in der Praxis angekommen. Aufgrund seiner hohen Festigkeiten und Korrosionsbeständigkeit können heutzutage tragende Betonstrukturen deutlich filigraner und dauerhafter ausgeführt werden. Im Rahmen der Projektarbeit wurde eine Straßenbrücke mit 6,6 m Spannweite östlich von Bautzen entworfen und bemessen, wobei die Zielstellung darin bestand, einen möglichst ästhetischen und leichten Überbauquerschnitt zu entwickeln.

Die gewählte Vorzugsvariante besteht aus einem mehrstegigen, vorgespannten Plattenbalkenquerschnitt in Halbfertigteilbauweise, wobei im Vergleich mit einem konventionellen Stahlbetonüberbau mehr als 50 % des Eigengewichts eingespart werden konnte. Die innovative Bauweise wird durch die in der Längsansicht geschwungenen Stege der Plattenbalken betont und vermittelt dem Betrachter intuitiv den Kraftfluss im Tragwerk.



Ansicht der Carbonbetonbrücke | Grafik: Max Dinkelaker

**Marco Kral****Untersuchung der Tragkonstruktion eines Selbstlager-Gebäudes in Pirna**  
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Jakob Bochmann,  
Dipl.-Ing. (FH) Uta Baumbach  
(RPB Rückert GmbH),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In Pirna nahe Dresden soll ein Selbstlager-Gebäude entstehen. Im Zuge eines Variantenvergleichs wurden vier Entwürfe in Stahlbetonskelettbauweise, Stahlskelettbauweise, Stahlverbundbauweise und Stahlbetonskelettbauweise mit vorgespannten Bauteilen erarbeitet. Neben den Anforderungen des Bauherrn wurde in der Planung auch der konstruktive Brandschutz berücksichtigt. Die Konstruktion sollte in die Feuerwiderstandsklasse F90 eingeteilt werden.

Jeweils vier Bauteile (Fundament, Stütze, Deckenträger, Decke) der Vorentwürfe wurden anschließend mit Hilfe von Bemessungsprogrammen vorbemessen. Auf Grundlage der ermittelten Bauteildimensionen wurde ein Variantenvergleich der vier Entwürfe hinsichtlich konstruktiver und wirtschaftlicher Aspekte durchgeführt. Als Vorzugsvariante stellte sich die erste Variante in Stahlbetonskelettbauweise heraus. Diese wurde abschließend konstruktiv durchgebildet. Hierzu gehörten Nachweise von Anschlussdetails und das Anfertigen von Schal- und Bewehrungsplänen jeweils eines Fundaments, einer Stütze, eines Unterzugs und einer Decke.

## Tom Liebig

### **Bauteile aus Carbonbeton mit Vorspannung im sofortigen Verbund** (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Mosig,  
Dr.-Ing. Frank Jesse  
(Hentschke Bau GmbH, Bautzen),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Projektarbeit beschäftigte sich mit typischen vorgespannten Betonfertigteilen. Es wurden Geschossplatten (XC1 & XD3) und ein Hallenbinder (XD2) mit Stahl- und verschiedenen Carbonbewehrungen untersucht. Über die Verformung im GZG sollten sich Rückschlüsse über die wirtschaftlich sinnvolle Anwendbarkeit des Hochleistungsbaustoffs Carbonbeton ergeben und der Einfluss der Teilsicherheitsbeiwerte sichtbar werden. Wie kann werkstoffgerecht konstruiert und der Einsatz des Baustoffs wirtschaftlich optimiert werden? Dies waren die Kernfragen der Untersuchung.

Im Rahmen der Arbeit wurde ein VBA-Modul implementiert, welches Verformungen im GZG berechnet und die Materialkosten der Längsbewehrung und des Betons ausgibt. Querschnittsabmessungen, Bewehrungsgrade, Materialkennwerte und die Vorspannung können beliebig gewählt werden. Mit dieser Implementierung wurden dann carbonbewehrte Varianten mit konventionellen Stahl- und Spannstahlvarianten verglichen. Die Vergleichsparameter waren die Verformungen, die Bauteilhöhen und die Materialkosten der Längsbewehrung und des eingebrachten Betons. Es wurde herausgearbeitet, dass sich ein wirtschaftlicher Mehraufwand in aggressiven Milieus rentieren kann. Die Chloridbeständigkeit, die Dauerhaftigkeit, geringere Bauteilhöhen und flexibles Konstruieren beim Wegfall des Dekompressionsnachweises machen Carbon bei hohen Beanspruchungen zu einer Bewehrungsalternative.

## Niels Pauleck

### **Optimierung von Bewehrungsgehalten auf Grundlage bestehender Statiken** (Projektarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Kerstin Speck,  
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hage M.Sc. (Ed. Züblin AG, Direktion Mitte, Bereich Sachsen),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Ausgangspunkt der Projektarbeit ist die These, dass aktuelle Projekte des Hochbaus auf Grundlage der bestehenden Statik große Einsparpotentiale an Bewehrung aufweisen. Für die Optimierung wurden aktuelle, normative Regeln herangezogen und der Schwerpunkt auf die Ortbetonbauweise gelegt.

Bauteilspezifisch wurden im Rahmen der Projektarbeit verschiedene Ansätze aufgelistet und konkrete Optimierungen durchgeführt. Dabei haben sich Ansätze zur Teileinspannung, der detaillierten Berechnung von Zwangsspannungen, zur kritischen Hinterfragung konstruktiver Bewehrung, zur genaueren Erfassung von Lasten und dem bewussten Einsatz von Sollrisselementen neben weiteren Aspekten als besonders ergiebig erwiesen. Ersparnisse an Bewehrung von bis zu 80 % wurden erzielt.

Die hohen Einsparungen werfen Fragen zur Zielsetzung üblicher Planungsabläufe auf. Ansätze und Methoden für ressourcenschonendes Bauen durch zielgerichtete Planung sind erforderlich. Das Zusammenbringen der Kenntnisse aus Bauausführung und Tragwerksplanung ist hierfür unabdingbar. Die Projektarbeit liefert eine Vielzahl an Argumenten, um sich mit der Optimierung von Bauteilen vertiefend zu beschäftigen. Vor allem eine Erweiterung der Kenntnisse auf Fertigteile ist für die Anwendung der Ansätze erforderlich.

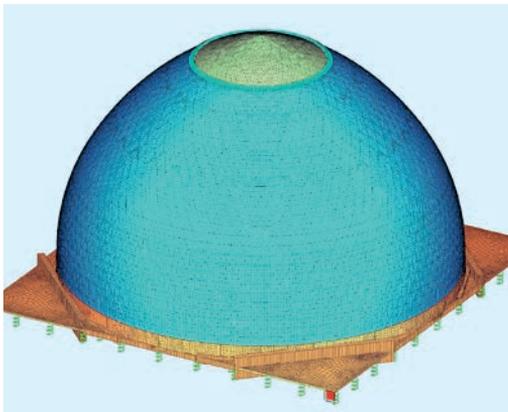
## Philipp Riegelmann

### Untersuchung einer Gitterschale von 1928 und teilweise Öffnung der bestehenden Tragstruktur

(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Jakob Bochmann, Dipl.-Ing. Christian Kühner (Wetzel & von Seht), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Zuge geplanter Sanierungsmaßnahmen am Anzeiger-Hochhaus in Hannover wurden Überlegungen zum Umbau der sich auf dem Hochhaus befindlichen Kuppel angestellt, um eine Nutzung als Versammlungs- und Tagungsraum zu ermöglichen. Die Verbesserung der natürlichen Belichtung des Kuppelraumes wurde hierbei als primäres Ziel festgelegt. Die in Zeiss-Dywidag-Schalenbau-



Umbaukonzept für die Kuppel des Anzeiger-Hochhauses in Hannover | Visualisierung: Philipp Riegelmann

weise hergestellte Konstruktion weist eine sehr geringen Schalendicke von 7 cm auf und einen relativ großen Durchmesser von knapp 22 m. Um den Bestandsschutz in Bezug auf die statischen Berechnungen ausnutzen zu können, durften die Spannungen innerhalb der doppelt gekrümmten Schalenkonstruktion durch Umbau nicht zunehmen. Daher wurde zunächst die Bestandskonstruktion modelliert und die bestehenden Spannungen bestimmt. Zur Verbesserung der Belichtungsverhältnisse wurden dann zwei Umbaukonzepte entwickelt. Die neu zu errichtenden Bauteile wurden nach der aktuell gültigen Normung bemessen. Die ermittelten Spannungen innerhalb der Bestandskonstruktion

zeigen, dass es durch den Umbau zu keiner Belastungszunahme innerhalb der filigranen Konstruktion kommt. Das erste Umbaukonzept sieht eine Aufständigung der Kuppelkonstruktion auf Stahlstützen vor, im zweiten wird die Kuppel im oberen Teil geöffnet und eine Art Linse eingesetzt, die die Belichtung des Kuppelraumes gewährleisten soll. Eine Belichtungsstudie zeigte, dass eine Verbesserung der Belichtungsverhältnisse vor allem durch das erste Umbaukonzept erreicht werden könnte.

## Julian Rödiger

### Vergleich der Berechnungsmethoden von FEM und klassischer Strukturmechanik am Beispiel einer industriell genutzten Decke

(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Karl, Dipl.-Ing. Peter Matthes (BPR Dr. Schäpertöns Consult GmbH und Co. KG), Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Anhand einer beispielhaften, industriell genutzten Deckenkonstruktion wurde in dieser Arbeit untersucht, inwiefern die Wahl des Berechnungssystems die Wirtschaftlichkeit beeinflusst und welche konstruktiven Maßnahmen aus der Bemessungsmethode resultieren. Hierfür wurde die klassische Strukturmechanik mit der Tragwerksanalyse mittels der Finite-Elemente-Methode verglichen.

Die Untersuchungen ergaben u. a., dass bei kleinen Schnittgrößen schnell die Gebrauchstauglichkeit maßgebend werden kann. Bei der Rissbreitenbeschränkung infolge inneren Zwangs kommen so unabhängig vom Bemessungsverfahren die annähernd gleichen Ergebnisse heraus. Auch eine Mindestbewehrung nach Norm oder eine rein konstruktive Bewehrung kann die statisch erforderliche Bewehrung überdecken. Darüber hinaus können mittels FEM erhöhte Bewehrungsmengen notwendig werden, da Schnittgrößen erfasst werden, die bei der klassischen Strukturmechanik vernachlässigt werden. Ein weiterer, wichtiger Aspekt der Wirtschaftlichkeit ist der Zeitaufwand

der Berechnung. Diese variiert stark mit der Erfahrung des Ingenieurs. Eine allgemein gültige Aussage hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit in Abhängig der verwendeten Berechnungsmethode kann demnach nicht getroffen werden.

## Susann Werdin

### Schadensanalyse und Erarbeitung eines Instandsetzungskonzeptes eines bestehenden Gebäudes unter den Gesichtspunkten des Brandschutzes, des Schallschutzes, der energetischen Sanierung und der Statik (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. (FH) Tom Ahner (Ingenieurgesellschaft Cossebaude GmbH (IGC)), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In den 70er und 80er Jahren wurde in der DDR eine Vielzahl an Wohnbauprojekten durchgeführt mit dem Ergebnis der Entstehung vieler baugleicher Gebäude in Plattenbauweise. Diese Gebäude erfüllten die damaligen Forderungen nach einer schnellen Bauweise und einer kostengünstigen Herstellung, um dem bestehenden Wohnraumangel entgegenzuwirken.

Allerdings sinkt die Nachfrage nach Plattenbauwohnungen, da sie aus heutiger Sicht nicht bedarfsgerecht sind. Kleine Bäder, enge Flure und ein nicht barrierefreier Zugang schließen zahlreiche Personengruppen mit Mobilitätseinschränkungen von der Nutzung aus. Weiterhin sind die bestehenden Wohnungsgrößen zu klein für Familien mit zwei und mehr Kindern. Aus diesen Gründen werden im Zuge der Projektarbeit Möglichkeiten des barrierefreien Ausbaus und der Grundrisserweiterungen untersucht.

Das Ziel besteht darin, Möglichkeiten zur Erhöhung von WBS 70-Gebäuden herauszuarbeiten und dabei Aspekte des Brandschutzes, des Wärme- und Schallschutzes und der Barrierefreiheit zu beachten. Die vorgestellten Grundrissgestaltungen und Alternativen des barrierefreien Zuganges werden unter Beachtung des demografischen Wandels in



Sanierung von Plattenbauten am Straßburger Platz in Dresden | Foto: Cosinus I, <https://de.wikipedia.org/>



Plattenbau der Serie WBS 70 | Foto: Susann Werdin

zukunftsorientierten Konzepten dargestellt. Weiterhin wurden mithilfe der Erfassung notwendiger statischer Eingriffe und Maßnahmen in Bezug auf die entstehenden Wohnflächen die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Ideen analysiert.

Liste aller weiteren Projektarbeiten | *List of all other Project Works*

Name Student*in <i>Student's name</i>	Betreuer*in <i>Supervisors</i>	Titel der Projektarbeit <i>Title of the Project Work</i>	
Altenburg, Felix	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Egbert Müller	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Verstärkung von torsionsbeanspruchten Bauteilen mit Carbonbeton
Grüber, Maximilian	Dr.-Ing. Jens Tusche (DB Engineering & Consulting GmbH, Region Südost, Dresden), Dipl.-Ing. Thomas Landgraf (WKP Pla- nungsbüro für Bauwesen GmbH, VBI)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Untersuchungen von Möglichkeiten der Lagerung von Eisenbahnbrücken und deren Interaktion mit den Überbau- und Unterbaukonstruktionen unter Berücksichtigung der statischen und normativen Randbedingungen
Haas, Leopold	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Untersuchung des Verbundverhaltens von Carbonstäben
Khelashvili, Vakhtang	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dr.-Ing. Chaban Jamous (BUNG Ingenieure AG)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Varianteuntersuchung für den Ersatzneubau der „Leutzsch-Wahrenere Brücke“ über die Nahle in Leipzig
Kügler, Samuel	Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Andreas Grün (Grün: Architekten, Leipzig)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Verstärkung eines WBS 70-Gebäudes
Mack, Michaela	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Carola Stephan, Dipl.-Ing. Gunnar Goepfert (beide Ing.- Büro Prof. Dr. Bechert und Partner)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf einer Brücke im Zuge der Direktrampe Süd/West über die A10
Maruzhenko, Svitlana	Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf und Bemessung eines schwimmenden Wohnhauses
Rathsack, Oliver	Dipl.-Ing. Daniel Karl	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Absicherung von Mauerwerk im Bauzustand
Schorcht, Felicitas	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Egbert Müller	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Längskraftverstärkung von Stützen mit Carbonbeton
Seifert, Wiebke	Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters, Dipl.-Ing. Christian Mädge, WKC Ham- burg GmbH	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Untersuchung eines statischen Gesamtsystems (BIM-Standard) für ein Hotelhochhaus im Vergleich zu losgelösten Einzelsystemen unter Berücksichtigung von Verformungen der betroffenen Bauteile
Shi, Junzhe	Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf eines Schalentragwerks aus Carbonbeton
Winker, Judith	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dr.-Ing. Chaban Jamous (BUNG Ingenieure AG)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Varianteuntersuchung für den Ersatzneubau der „Gustav-Esche-Brücke“ über den Nebenarm der Nahle in Leipzig
Yang, Jiesheng	Alaleh Shehni M.Sc	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Alternative Diskretisierungsverfahren für mesoskopische Betonmodelle - Methoden und Parameterstudien
Yu, Ruicheng	Dipl.-Ing. Maximilian May, Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Recherche und Konzipierung von Formstrukturen der textilen CFK Bewehrung zur Verbesserung der Verbundeigenschaften im Endverankerungsbereich bei Carbonbeton
Yuqiong, Liu	Dipl.-Ing. Juliane Wagner, Dipl.-Ing. Karoline Holz	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Carbonbeton unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung

**Chandrika Dhruv**

**A Discrete Element Approach to Shock Wave Propagation and Spall Fracture**  
(Project work)

Supervisors: Dipl.-Math. Dirk Reischl,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Concrete is the most used material for massive construction due to its static and dynamic behaviour. Concrete's behaviour on high-stress rates becomes relevant for construction when earthquakes, high-mass-accidents, or impact situations are considered. A better understanding of impact analysis gives way to mitigate the damage.

The task of this Project Work was to explore the suitability of the Discrete Element Method (DEM) for the study of concrete's behaviour in highly dynamical situations of stress and strain. For that purpose, shock wave propagation in a specimen made of steel or concrete has been simulated by a first, minimalistic approach. A cylindrical rod made of concrete/steel was subjected to an impact loading. The specimen consists of a number of pairwise mutually overlapping segments (or slices or discrete elements), which interact subject to a given constitutive law. The constitutive law for element-element interaction had been successively refined in order to obtain results which are plausible and in accordance with experimental counterparts.

E (N/mm <sup>2</sup> )	Wave velocity (c) (mm/ms)	Wave propagation in concrete-type 2
10000	2041.24	
50000	4564.35	
100000	6454.97	

Effect of Modulus of Elasticity | Graphic: Chandrika Dhruv

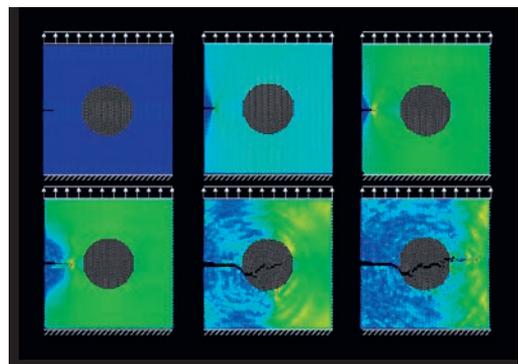
**Clara Baby Mangalath**

**A Finite Element and Discrete Element Approach to Concrete's Material Behaviour at High Strain Rates**  
(Project work)

Supervisors: Dipl.-Math. Dirk Reischl, Tino Kühn  
M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Concrete is a large part of the environment and is virtually everywhere. Besides its well-known static properties, this material offers a great variety of dynamical effects which are of both theoretical and very practical interest to researchers and engineers. The behaviour of concrete under circumstances involving high strain rates such as earthquakes and high impact situations is crucial for understanding and developing new design principles, although it might be partially unknown, partially unpredictable.

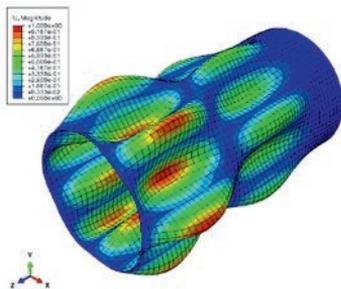
This project work made an attempt on exploring the suitability of the Finite Element Method (FEM) as well as the Discrete Element Method (DEM) to study the behaviour of concrete in highly dynamic situations of stress and strain. For this purpose, a rectangular plate with a circular opening with the known static solution had been taken as a reference. This so-called Timoshenko plate was subjected to loading. Then, a qualitative analysis under FEM and DEM was done. A comparison has been made with respect to the efficiency and the working procedure of FEM and DEM based on the simulations conducted.



Virtual aggregate in the cementitious matrix: DEM simulation of crack propagation on high strain rate | Graphic: Dirk Reischl, Clara Baby Mangalath

**Erjon Muja****Buckling and large deformation behaviour of thin elastic shells – comparative studies with Abaqus and ConFem***(Project work)*Supervisors: Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Shells, used in elegant and aesthetically pleasing constructions, constitute outstanding landmarks of architecture. Their slenderness, large span, and shape dependent behaviour lead to challenging structural design. Buckling and large deformation analysis are important for such structures. Therefore, in this project work, these analyses are investigated on thin elastic shells. Typical shell shapes are taken into consideration to understand the buckling and large deformation behaviour. Abaqus and ConFem are the software packages chosen to compare the results of the analysis. Furthermore, the analytical buckling solution was found for the chosen shell structures. A cylinder and a spherical cap are used to describe the buckling behaviour of shells, meanwhile, for the large deformation analysis a barrel shell, spherical cap and hyperbolic paraboloid are considered. For the Finite Element Analysis, four-node S4 shell elements based on the Koiter-Sanders shell theory and four-node SH4 continuum-based shell element are used in Abaqus and ConFem respectively. Based on the analysis, similar results on large deformation and the buckling load factors with corresponding buckling shapes are achieved between Abaqus and ConFem. These results correspond to the analytical buckling solution. A parameter study has been performed varying the discretization fineness and material parameters.



Buckling of a cylinder shell, simulated with Abaqus | Graphic: Erjon Muja

**Mohit Nagpal****Development of a digital BIM catalogue for double wall textile reinforced concrete facade element***(Project work)*Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In the project work, a digital BIM catalogue for a double wall textile reinforced concrete facade element was developed through a parametric analysis of the element for its different sizes, parameters of loads acting on it. Revit 2018 and Excel were used for the purpose.

In order to create a parametric analysis, a review of philosophy and existing calculations of Vakutex facade system was done from an existing published document. A new set of calculations was required and created as per the Eurocode guidelines and other latest standards available. These calculations were then used to produce an Excel spreadsheet for the parametric analysis and design of various components of the facade element with respect to a group of parameters (system combination) of its size and loads acting on it. Several similar system combinations were prepared to study their effects on the facade thickness and to have different facade details for each of them. The output from the analysis were the sizes of the components and even included reinforcement results for the concrete components. The size values were then used as parameters to develop a 3D parametric model using a Revit Family and finally, the catalogue with component sizes and panel reinforcements for each system combination was created.

Liste aller weiteren Projektarbeiten | *List of all other Project Works*

Name Student*in <i>Student's name</i>	Betreuer*in <i>Supervisors</i>	Titel der Projektarbeit <i>Title of the Project Work</i>	
Abubakar, Ahmad	<i>Dr.-Ing. Petr Máca, Dipl.-Ing. Sebastian May</i>	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	<i>Recycling of shredded carbon fibres as reinforcement for fibre concrete</i>
Goudar, Puneet Shivakumar	<i>Dipl.-Ing. Robert Schneider</i>	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	<i>Design of a hostel according to Earthship principles</i>
Gupta, Shiwendra Niwas	<i>Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi</i>	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	<i>Development of a digital BIM Catalog of GDR concrete precast element used in bridges</i>
Niyazmatov, Mergen	<i>Dipl.-Ing. Jakob Bochmann</i>	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	<i>Textile reinforced concrete in uniaxial compression test - Numerical investigations</i>
Sarwary, Ahmad Rashed	<i>Dipl.-Ing. Robert Schneider</i>	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	<i>Design of a hostel according to Earthship principles</i>
Shakil, Osama	<i>Dr.-Ing. Petr Máca</i>	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	<i>A novel specimen for investigating crack patterns during a pull-out bond test</i>

## DIPLOMARBEITEN *MASTER'S THESES*

Studienjahr 2017/18 | *Academic year 2017/18*

Die Diplomarbeit bildet den berufsqualifizierenden Abschluss des Studienganges. In der Abschlussarbeit sollen die Studierenden an einem komplexen Ingenieurproblem die eigenständige wissenschaftlich methodische Vorgehensweise demonstrieren und somit zeigen, dass sie die für den Übergang in die Berufspraxis notwendigen gründlichen Fachkenntnisse erworben haben.

Das Fernstudium kann man außerdem mit dem Bachelorabschluss beenden. Die Bachelorarbeit soll zeigen, dass die Studierenden in der Lage sind, innerhalb einer vorgegebenen Frist Probleme des Studienfaches selbstständig nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten.

*The Master's Thesis constitutes the professional qualification of the student at the end of the ACCESS Master's Program. In the thesis, the students should demonstrate their own scientific and methodical approach to a complex engineering problem, and thus show that they have earned the skills necessary and fundamental knowledge for transition into a professional life.*

*Distance learning can also be completed with a Bachelor's degree. The bachelor thesis should show that students are able to work on problems independently and according to scientific methods within a given period of time.*

## Clemens Geißler

### Optimierung eines Großbehälters aus Carbonbeton in Segmentbauweise (Diplomarbeit)

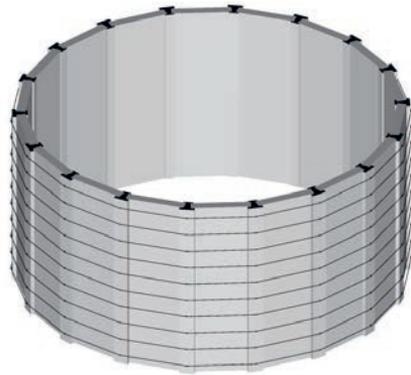
Betreuer: Dr.-Ing. Harald Michler,  
Mathias Kalbe M.Sc. (BSC Bauplanung Sachsen  
Consult GmbH & Co. Ingenieurbau- und Trag-  
werksplanung KG, Dresden),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Die über die letzten Jahre erlangten Forschungsergebnisse im Bereich Textilbeton werden im Rahmen dieser Arbeit praxisorientiert auf den Bau von Großbehältern, welche für verschiedenste Zwecke geeignet sind, übertragen.

Um die Thematik der Großbehälter, Speicher und Silos kurz zu beleuchten, wird zunächst auf deren konventionelle Konstruktion und Herstellungstechnologie eingegangen. Da der Verbundwerkstoff Textilbeton ein noch relativ junger, nicht weit verbreiteter und selten angewandter Werkstoff ist, wird sich anschließend mit den Grundlagen und den bisher gewonnenen Erkenntnissen zum Materialverhalten und der Wechselwirkung der für den Werkstoff verwendeten Baustoffen beschäftigt. Dies beinhaltet neben den Materialeigenschaften ebenso die Herstellung sowie die Erstellung eines anwendbaren Ingenieurmodells, welches das Tragverhalten realitätsnah widerspiegelt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse und der genormten Einwirkungen erfolgt schließlich die Entwicklung einer alternativen Bauweise. Hierfür werden die grundlegenden Anforderungen definiert und folglich ein Tragwerk entwickelt, welches letztendlich ressourcenorientiert optimiert wird. Dabei werden sowohl Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit betrachtet und berücksichtigt. Dementsprechend werden in diesem Zuge Materialgesetze deklariert und die notwendigen Bemessungsmodelle des Stahlbetonbaus auf den Verbundwerkstoff Textilbeton übertragen und angepasst. Nach der Herausarbeitung notwendiger konstruktiver Details erfolgt abschließend die Bemessung eines Beispielbehälters. Wie in der

gesamten Arbeit wird dabei der Schwerpunkt speziell auf die Behälterwand gelegt. Die gesamte Konstruktion inklusive der notwendigen Details wird mit dem Ziel entwickelt, neben der Möglichkeit der Umnutzung eine einfache und schnelle Herstellung der einzelnen Elemente sowie eine unkomplizierte Montage zu realisieren.



3D-Visualisierung des Behälters in Textilbeton-Segmentbauweise |  
Grafik: Clemens Geißler

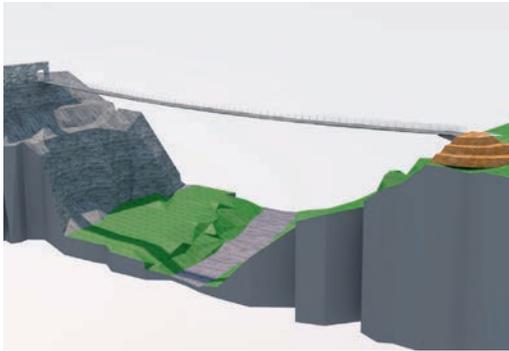
## Anton Meinig

### Entwurf einer schlanken Fußgängerbrücke zur Ortenburg in Bautzen (Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,  
Dr.-Ing. Steffen Schröder (Curbach Bösch  
Ingenieurpartner, Dresden),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Die zweisprachige Stadt Bautzen prägt ein kulturell vielfältiges Bild, was sich in den Sehenswürdigkeiten und den Baudenkmälern widerspiegelt. Eines davon ist die Ortenburg mit dem Sitz des Oberverwaltungsgerichtes sowie dem benachbarten Deutsch-Sorbischen Volkstheater. Aus den hohen Besucherzahlen geht die Notwendigkeit hervor, mehr Parkraum zu schaffen, was sich aufgrund der mittelalterlichen Altstadtstrukturen als schwierig erweist. Daher soll der vorhandene „Touristikparkplatz“ angebunden werden, der sich auf der anderen Seite des Spreetals befindet, jedoch nur über Umwege erreichbar ist. Das Ziel ist der Entwurf einer äußerst schlanken und zu-

rückhaltenden Fußgängerbrücke, welche sich respektvoll in das Gesamtbild einpasst. Im Rahmen der Diplomarbeit wurden verschiedene Brückenarten auf deren Vor- und Nachteile untersucht und miteinander verglichen. Als Vorzugsvariante ging eine Spannbandbrücke mit einer freien Spannweite von 116 m und einem 0,28 m hohen Überbau bei einem Durchhang von 1,68 m hervor. Zur Aussteifung wurde geplant, das Spannband mit Spanngliedern im nachträglichen Verbund vorzuspannen.



Visualisierung der Spannbandbrücke zwischen Ortenburg und Protschenberg in Bautzen | *Grafik: Anton Meinig*

So können die Schwingungen begrenzt und alle Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfüllt werden. Für den Nachweis der personeninduzierten Schwingungen wurden entsprechend des Technischen Berichtes „Advanced load models for synchronous pedestrian excitation and optimised design guidelines for footbridges“ Verkehrs- und Komfortklassen festgelegt und die maximalen vertikalen und lateralen Beschleunigungen ermittelt. Die gewählten Randbedingungen wurden dabei erfüllt und ein Lock-In-Effekt ausgeschlossen. Ebenso ist die Barrierefreiheit (Steigung  $\geq 6\%$ ) bis zu einer Verkehrsdichte von 1 Pers./m<sup>2</sup> an einem warmen Sommertag gewährleistet. Die Diplomarbeit beweist, dass eine schlanke und zurückhaltende Brücke ohne zusätzliche Unterstützungen realisierbar ist.

## Regine Metzkes

### Sanierung Empfangsgebäude Hauptbahnhof Stuttgart - Bonatzbau (Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm, Dipl.-Ing. (FH) Marko Philipp (Jäger Ingenieure GmbH, Dresden), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Die Diplomarbeit befasst sich mit der Sanierung des Stuttgarter Hauptbahnhofs im Rahmen des Großbauprojekts Stuttgart 21. Das Unternehmen Jäger Ingenieure GmbH nahm eine statische Untersuchung des Bestandes auf Grundlage der heute gültigen Normen vor. Ziel der Diplomarbeit war es, auf Grundlage der Bestandsstatik ein Sanierungskonzept zu entwickeln. Der Fokus lag dabei auf Stahlbetondecken aus den Jahren 1918 und 1954/55. Zunächst wurde das Gebäude hinsichtlich typischer Defizite der historischen Deckenkonstruktionen untersucht. Dabei lieferte vor allem die Betrachtung der damals geltenden



Empfangsgebäude des Stuttgarter Hauptbahnhofs | *Foto: David Rabin*

Normen und Regelwerke hilfreiche Hinweise. Durch Auswertung der Bestandsstatik konnten die tragwerksplanerischen Anforderungen zusammengestellt werden. Die Sanierung und Verstärkung wurde exemplarisch für eine konkret ausgewählte Rippendecke aus den Jahren 1954/55 konzipiert. Die allgemeine Auseinandersetzung mit der nachträglichen Verstärkung biegebeanspruchter Bauteile lieferte dafür die Ansätze. Die konstruktiven Randbedingungen machten eine Verstärkung

mit bewehrtem Spritzbeton, mit geklebten CFK-Lamellen oder mit Textilbeton interessant. Durch Erstellung eines umfassenden Sanierungskonzepts zu jeder dieser Optionen war ein Variantenvergleich möglich. Die Intention dieser Arbeit war es, diese Erkenntnisse auch auf andere sanierungsbedürftige Decken anzuwenden.

### Jan Reissen

#### **Entwicklung einer Bemessungshilfe für Deckenelemente aus Carbonbeton mit anschließender Parameterstudie und Querschnittsvergleich bei Ausführung in Stahlbeton** (Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Textilbeton ist ein vielversprechender Baustoff, der in einigen Anwendungsgebieten schon heute zum Einsatz kommt. Da die verwendeten Carbon- und AR-Textile korrosionsbeständig sind, können mit diesem Baustoff filigrane Bauteile entworfen und umgesetzt werden. Es resultiert eine Vielzahl neuer gestalterischer Möglichkeiten.

Neben Normungen sind Ingenieurmodelle und computergestützte Programme, die das Bemessen der Bauteile ohne großen Aufwand ermöglichen und somit Voraussetzung für eine breite Praxisanwendung des Baustoffs Textilbeton erfüllen. Die Biegebemessung von Textilbetonbauteilen kann für die üblicherweise verwendeten, getränkten Bewehrungstextilien wie im Stahlbeton erfolgen. Durch den lagenweisen Einbau der Textilien entstehen jedoch deutlich komplexere Bewehrungsgeometrien. Einfache Handrechnungen sind dann meist zu aufwendig. Für den Praxisgebrauch sind daher computergestützte Bemessungsprogramme erforderlich.

In dieser Arbeit wurden in Microsoft® Excel® Bemessungstabellen entwickelt, welche die Berechnung der Biegetragfähigkeit für drei Querschnitte und eine festgelegte Bewehrungsanordnung ermöglichen. Auch für die Berechnung der Querkrafttragfähigkeit wur-

den Bemessungstabellen entwickelt. Es zeigte sich jedoch, dass das verwendete Querkraftmodell nicht stimmig ist. Daher sind die in den Bemessungstabellen enthaltenen Querkrafttragfähigkeiten kritisch zu bewerten, liegen aber auf der sicheren Seite.

Die entwickelten Bemessungstabellen sind ein Ansatz, um die Bemessung von Textilbetonbauteilen zu vereinfachen und können dabei helfen, das Forschungsprojekt Textilbeton einer breiten Anwendung zu erschließen.

### Florian Schlegel

#### **Nachrechnung und Validierung von DDR Balkenreihentragwerken** (Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Ziel der Diplomarbeit war die Untersuchung möglicher Traglastreserven von Balkenreihenbrücken der ehemaligen DDR mittels der nichtlinearen Finite-Elemente-Methode. Eine Validierung der verwendeten Software ATENA Engineering wurde anhand von Traglastversuchen der Literatur durchgeführt. Es konnte aufgezeigt werden, dass die in einer Vergleichsstudie ermittelten geringen Abweichungen bei der Nachrechnung nur durch eine Anpassung der Simulationen an die bekannten Resultate möglich war. Für die Nachrechnung von Tragwerken mit „unbekanntem Systemantwort“ wurde aufgezeigt, dass deutliche Überschätzungen der Traglast auftreten können. Die qualitative Übereinstimmung der Simulationen mit den Ergebnissen aus Traglastversuchen wurde als erfolgreiche Verifizierung der verwendeten Software ATENA bewertet.

Für einen vorgespannten Balkenträger wurde die Traglastermittlung im Vier-Punkt-Biegeversuch jeweils in einer zwei- und dreidimensionalen Simulation durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass die 29 % höhere Traglast für das 3D-Modell aufgrund der Berücksichtigung von räumlicher Tragwirkung und mehraxialen Spannungszuständen erreicht wurde und sich damit sinnvoll über dem Ergebnis der

2D-Simulation einordnet. Anschaulich konnte anhand von Ergebnisdarstellungen die Tragwirkung, die Rissbildung und das Bruchverhalten nachvollzogen und beurteilt werden. Eine räumliche Modellierung des Brückenüberbaus konnte nicht erreicht werden, da die vorhandene Rechentechnik bei der Simulation eines Einzelträgers bereits ausgereizt war.

## Robin Schwarz

### Entwurf und Berechnung einer formoptimierten Fahrradüberdachung

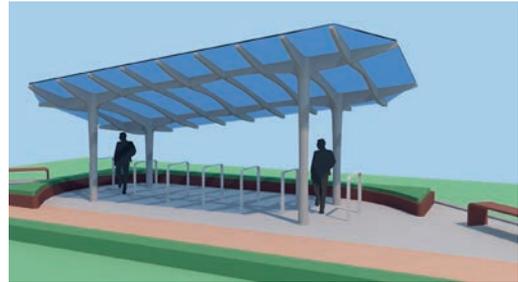
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Angela Schmidt,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird eine architektonisch ansprechende, formoptimierte Lösung für eine Fahrradüberdachung entworfen und bemessen. Dieses Tragwerk sollte als Ergebnis einer langjährigen Forschungsarbeit des Instituts für Massivbau der TU Dresden, in der Algorithmen und Methoden für die Formoptimierung von beliebig belasteten Stützen und Decken aus Beton entwickelt wurden, gebaut werden.

In der Entwurfsphase ist aus vielen möglichen statischen Systemen ein passendes System ausgewählt worden, auf das der Optimierungsprozess angewandt wird. Es wurde ein Trägerrostsystem auf vier Stützen gewählt, welches biegesteif in den Untergrund eingespannt ist, sodass ein Rahmensystem entsteht.

Im Optimierungsprozess wurden die Querschnitte der Träger an den Schnittgrößenverlauf angepasst und mit einem Referenzsystem mit konstantem Bauteilquerschnitt verglichen und beurteilt. Die Bewehrungsmenge sollte in beiden Systemen gleich sein um eine Aussage über die Effizienz der Formoptimierung zu erhalten. Die Formfindung erfolgt iterativ, da jede Änderung im System eine Steifigkeitsveränderung zur Folge hat, die die Schnittgrößenverteilung beeinflusst. Durch die optimierte Form der Träger konnte die erforderliche Betonmenge um 33 % reduziert werden.



Formoptimierte Fahrradüberdachung | Grafik: Robin Schwarz

## Paul Vogel

### Nachrechnung einer zweigleisigen Gewölbebrücke am Beispiel der Eisenbahnüberführung „Bachbrücke Röder“

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Melchior Deutscher,  
Dr.-Ing. Jens Tusche, Dipl.-Ing. Karolin Bublik  
(beide DB Engineering & Consulting GmbH),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Die „Bachbrücke Röder“ ist ein um 1845 erstelltes Gewölbetragwerk aus Sandstein und überführt im Zuge der Strecke Görlitz – Löbau – Dresden zwei Gleise über die „Schwarze Röder“. Infolge der Verkehrserhöhung und der ständigen Bewitterung stellten sich Schäden ein, die in den 1920er Jahren Injektionen im Natursteinmauerwerk und eine Verstärkung des Bogens durch Stahlbeton erforderten. Nach Ende des zweiten Weltkriegs wurde der Brücke eine neue Fahrbahnwanne hinzugefügt. Weitere Schäden am Bauwerk bedingen eine erneute Sanierung der Brücke, wobei eine regelkonforme lastverteilende Platte eingebaut und die Tragsicherheit des Bauwerkes normgerecht nachgewiesen werden soll. Die erforderlichen Parameter konnten Bestandsunterlagen, Gutachten sowie Aufmessungen entnommen werden. Das statische System konnte aufgrund der unbekanntnen Gründung und Rissen im Gewölbe nicht eindeutig bestimmt werden. Daher wurden alle möglichen Lagerungen und Gelenkstellungen eines Bogens untersucht. Der eingespannte Bogen erfährt die höchsten Beanspruchungen aus Zwang und wurde daher vertieft betrach-

tet. Außerdem kamen zwei Varianten der Bogenhinterfüllung in Frage. Bei einseitigem Zugverkehr während der Bauarbeiten muss die Bestandshinterfüllung im Bauwerk verbleiben. Ist eine Vollsperrung zulässig, kann diese gegen Magerbeton ausgetauscht werden. Besonders die Bauzustände beider Möglichkeiten wurden betrachtet und rechnerisch erfasst. Der Magerbeton kann nur lagenweise verfüllt werden, da die Standsicherheit der Stirnmauern, exotherme Hydratationsprozesse und das Schwinden des Betons beachtet werden mussten. Als Modell wurde eine Stabwerksidealisierung einer Flächenlösung mittels FEM gegenüber gestellt. Die Kräfte, Momente und Verformung für den Endzustand ergaben nur sehr geringe Abweichungen.

Abschließend erfolgten die konstruktive Durchbildung und die Planung des Hinterfüllungsaustauschs, welche die Erschließung des Baugeländes, die Baustelleneinrichtung, die auszuführenden Bauphasen und ein Alternativvorgehen beinhaltet.

**Sebastian Weise**

**Parkhausplatten aus Carbonbeton**  
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian May,  
Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. (FH) Bernd Stark (Oemig + Partner Ingenieurgesellschaft mbB, Kiel),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Parkhäuser müssen neben den statisch konstruktiven Grundsätzen insbesondere den Anforderungen der Dauerhaftigkeit gerecht

werden. Durch einen Fahrzeugwechsel im Winter und dem damit verbundenem Eintrag von Schnee und Tausalzen sind die Betonbauteile einer erhöhten chemischen Belastung ausgesetzt. Textile Bewehrung aus Carbonfasersträngen überzeugt aufgrund der chemischen Beständigkeit und bietet daher gerade im Parkhausbau eine Alternative zur konventionellen Betonstahlbewehrung. Im Zuge dieser Arbeit ist ein Fertigteil aus Carbonbeton für den Parkhausbau entworfen und bemessen worden. Das Element fungiert dabei als Nebentragsystem einer Stahlverbundbaubauweise. Weiterhin konnten erste Vorschläge zur konstruktiven Fugenausbildung erarbeitet werden. Neben der Verbindung zwischen den Fertigteilen betrifft dies vor allem den Anschluss an den Stahlträger. Dabei wurde versucht, Ansätze aus dem herkömmlichen Stahlbetonbau auf den neuen Verbundwerkstoff zu übertragen, was jedoch aufgrund einer möglichen Kontaktkorrosion nicht direkt möglich ist. Daher wurden diesbezüglich neue konstruktive Vorschläge zur Fugenausbildung erarbeitet.

Für eine Anwendung in der Baupraxis müssen die noch offenen Problemstellungen der Fugenausbildung geklärt werden. Dies betrifft zudem auch das Thema der Kontaktkorrosion im Bauwesen, da es diesbezüglich kaum fundierte Forschungsergebnisse gibt. Sollten die offenen Fragen geklärt werden können, bietet ein Fertigteil aus Carbonbeton eine dauerhafte sowie wirtschaftliche Alternative gegenüber einer Ausführung aus Stahlbeton.

Liste aller weiteren Arbeiten			
Name Student*in	Betreuer*in		Titel Diplomarbeit
Engelberts, Marius	Dipl.-Ing. Melchior Deutscher, Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH, Bautzen)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Planungshilfe für Stahlbetonbrückenüberbauten kurzer Spannweite
Heinzig, Clemens	Dipl.-Ing. Melchior Deutscher, Dipl.-Ing. Stefan Leinung (Ingenieurgesellschaft Bonk + Herrmann mbH, Dresden), Dipl.-Ing. Michael Däbritz (thyssenkrupp Infrastructure GmbH, Leipzig)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Grundlagen zur Entwicklung einer Richtlinie für den Rückbau von vorgespannten Ort beton-Talbrücken mittels Vorschubgerüst

# MASTER'S THESES 2017/18

## Kleber Andrade Barros

### **Structural analysis, design and parameter study of a new silo structure to improve the structural behaviour at outlet regions**

(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Jörg Weselek, Dr.-Ing. Tarek Nasr (vnplan beratende ingenieure GmbH, Neu-Ulm), Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Silos are shell structures, usually in a cylindrical shape, which can withstand membrane forces very well, but they are sensitive to bending moments. The aim of this study was to investigate a new patented silo structure proposed by Dr.-Ing. Tarek Nasr, director of vnplan beratende Ingenieure GmbH, and make a comparison with ordinary cylindrical silos. Eurocode considers the effect of a discharge process with large eccentricities through a load case called flow channel. This load case produces a very unfavourable design situation with high values of bending moments and shear forces. The effects of such loading case may not have been considered in previous codes, resulting in inadequate reinforcement, crack development and considerable damage in existing silos.

The proposed structure consists of silos made of cylindrical shells axially stiffened by walls. The purpose of the stiffening walls is not only to increase the stiffness of the shell structure against bending moments but also to limit the intensity of the flow channel action itself. A parametric structural analysis of the concrete shells was performed using the finite element method (FEM) with the structural analysis software Dlubal RFEM. Additionally, as a plausibility control to validate the output of the software, some load cases were calculated analytically by the classical shell theory. Under the assumptions made in this study, it was demonstrated that the proposed silo structure resulted in a reduction of internal forces, moments and required reinforcement. On the negative side, an increase in concrete quantities and construction time was noted.

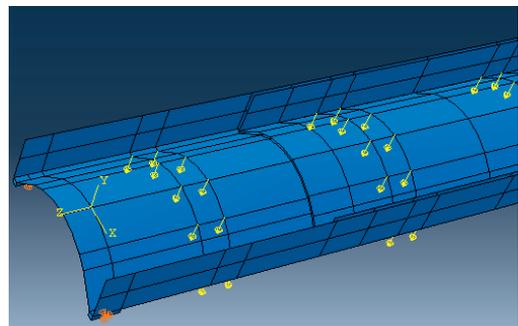
## Ahmad Chihadeh

### **Modelling and numerical simulation of a carbon concrete lightweight ceiling element**

(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

A three-meter span, simply supported textile reinforced concrete ceiling element was developed by the Institute of Concrete Structures at the TU Dresden. The ceiling consists of a concrete element which is reinforced with two types of the textile grid (3300 tex and 800 tex). Six-point bending tests were performed, and the load-displacement curve at the mid-span of the ceiling element was obtained. To validate the numerical simulation, different material behaviours were modelled and the analytical results were compared with the experimental ones. Four numerical models were conducted considering the following material behaviour: (1) elastic, (2) concrete with tri-linear tensile stress-strain behaviour, (3) textile reinforced concrete with linear textile stress-strain behaviour and (4) textile reinforced concrete with bi-linear textile stress-strain behaviour. Furthermore, an analytical approach was developed for computing the load-displacement curve of the ceiling element.



Abaqus model with the applied load | Graphic: Ahmad Chihadeh

The results show that the model with the trilinear tensile stress-strain behaviour fits the experimental result in all phases. Such an analytical approach describes the behaviour of the ceiling element with a high degree of accuracy. The

model with the bi-linear textile stress-strain behaviour fits the elastic and the cracking phase and part of the post-cracking phase. Then, the results are slightly different. The models with the elastic and with the linear textile stress-strain diverge considerably from the experimental data.

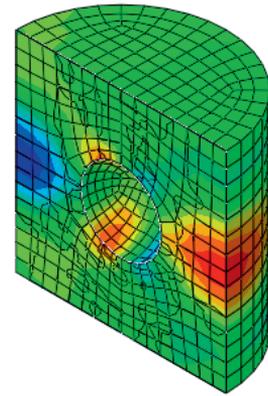
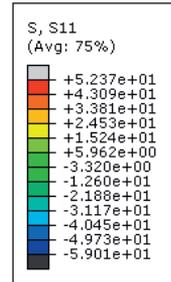
**Fakhrizal Adiwen Masduki**

### **Interaction between Cement Matrix and Fluid** (Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Daniel Karl,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The problem of interaction between two matters such as fluid and structure is often faced by engineers and researchers. Within the civil engineering field, this problem is encountered when modelling the interaction between the cement matrix and water inside its pores. The Coupled Eulerian-Lagrangian (CEL) method is implemented in this research to model the interaction between the cement matrix and a water-filled pore. The influence of water content inside the pore on the stress and strain behaviour along the simulation time and at one particular time is performed. The results show that water content has a significant influence on the concrete stress and strain behaviour. This is due to the different sloshing patterns that occur at different water content. Based on the results of this study, we can say that the resulting stress and strains induced by an impact force decrease as the water content increases.

Lastly, a simple code has been made to solve the Navier-Stokes equation using the Pressure Poisson Equation (PPE). Two different differencing methods are used to discretize the convective term in the Navier-Stokes equation, which is the Backward Difference (BDS) and the Forward Difference (FDS) Schemes. The results from the BDS and FDS are compared. The BDS method produced a slightly lower error than the FDS method. However, the FDS method reached the desired error value faster than the BDS method.



Half-filled pore model, maximum tensile stresses | Graphic: Fakhrizal Adiwen Masduki

**Denis Saliko**

### **Dimensioning of a shell with textile reinforced concrete** (Master's thesis)

Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

In this master thesis, the application of carbon textile reinforcement as an alternative to steel reinforcement in a large span shell structure has been investigated. The combination of textile reinforcement with thin shells offers structures which are both aesthetically pleasing and structurally efficient, fulfilling both the engineering and architectural requirements.

The preliminary design of a double curvature anticlastic shell by Werner Sobek Stuttgart GmbH & Co. KG was used as the base for the structural dimensioning. The FEM structural analysis software Dlubal RFEM was used for the structural evaluation of the shell. The curvature of the shell was optimized by a trial and error procedure to determine an efficient shape while fulfilling the visual requirements. Subsequently, the thickness of the concrete shell was reduced by removing material on the upper parts of the shell to minimize material costs and to increase the load carrying capacity and by providing the structure with a lower centre of gravity.

For the reinforcement of the shell, prestressing tendons were used to minimize deflections generated due to the self-weight of the structure. A suitable arrangement and positioning of the prestressing tendons was found. The required textile reinforcement was calculated taking into account the bending effects in the cross-section of the shell caused by the wind, snow and normal usage loading. Succeeding the dimensioning process, the checks required by local regulations were performed. Various constructive details were presented as well. Based on the results of the dimensioning process, the advantages of using carbon textile reinforcement became apparent. The high tensile strength and the flexibility of the textile reinforcement allow the designer to create structures of complicated geometry with thinner cross-sections maximizing the efficiency of material usage.



Double curvature anticlastic shell made of textile reinforced concrete | Graphic: Denis Saliko

### Jurii Vakaliuk

**Conceptual development of basic principles of a macrocellular modular structural system based on textile reinforced concrete**  
(Master's thesis)

Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Giovanni Betti M.Sc. (HENN GmbH, Berlin), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

It is well known that the rapidly increasing population and industrial progress promotes the development of infrastructure and living spaces. Obviously, such rapid progress requires extra energy, impacts the ecology and demands a reduction of CO<sub>2</sub> emission worldwide. Fortunately, progress also brings technological solutions in the field of civil engineering. Within the scope of recent research projects, done by a range of institutions worldwide, it is assumed to develop modern design solutions, techniques, and manufacturing strategies for development

of lightweight and aesthetically filigree textile reinforced concrete (TRC) structures. The proposed concept within the master's thesis focuses on the development of macrocellular structures and of an evolutionary based design tool with significant potential for calculation and optimization of multiobjective and multidisciplinary engineering problems for a wide range of structures.

One of the key points within the master's thesis was the development of the first stage of the multiobjective optimization design tool for the calculation and optimization of different engineering problems. The optimization of a TRC sandwich panel was selected as a case study to verify the methodology. The comparison results demonstrated good convergence of the multiobjective optimization and reference optimization procedures. Thus, it sets the frame for further development during the second stage of the research. It shows that the methodology can be applied as an evolutionary design tool for multiobjective and multidisciplinary engineering problems with a significant number of independent degrees of freedom.

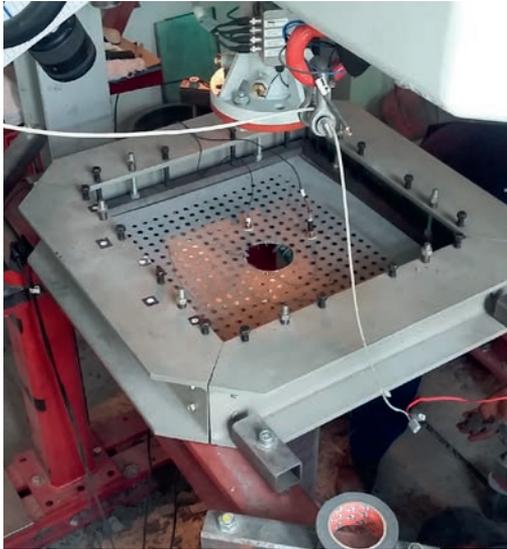
### Carlos Eduardo Vallejo Paredes

**Impact resistance of steel fibre reinforced concrete plates – experimental investigations of fibre shape and fibre ratio**  
(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Marcus Hering, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

With energy and material efficiency being a major concern in today's world, the use of new concrete technologies is on the rise. One of them being the use of fibres as a reinforcement for cement-based composites; fibres have displayed an increment in the bearing capacity of structures through force- and stress-redistribution, spalling reduction, and an overall increase of structural safety by alarming the user in case of failure. Fibre reinforced concrete (FRC) is often used on impact experiments. Mainly due to this material's capacity to absorb large amounts of energy and dissipate it.

On this master's thesis, a series of plates with diverse combinations of steel fibres were studied in regard to their resistance to impact loading. The main focus was to compare different fibre contents in concrete plates and test their response on spalling, penetration, plasticity and overall resistance against impact with the help of the drop-tower in the Otto Mohr Laboratory. Crack patterns and displacements on the slab were used as comparison parameters, alongside a thorough statistical analysis of different numerical tests.



Steel fibre reinforced concrete plate in the drop tower | Photo: Carlos Eduardo Vallejo Paredes

### Vitali Zavadski

#### **Design and calculation of a shaped bicycle shelter** (Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Michael Frenzel,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The efficient use of materials in the construction industry is one of the main challenges for structural engineers. Implementation of lightweight and shape-optimized concrete structures allows efficient use of resources. This research focuses on the structural design and optimization of a concrete bicycle shelter, which is reinforced with textile and carbon bars. To prove the structural feasibility of optimized concrete structures, a

reference system having a typical geometry was compared to an optimized system in terms of material quantities and self-weight. An optimization algorithm was implemented in Visual Basic as a Microsoft Excel macro, which provided not only a shape optimization for layered and solid rectangular concrete elements but also the calculation of the required steel, textile and carbon reinforcement. Based on this automatization, flexural elements, such as beams and slabs, can be optimized and designed along with elements that are subjected to the action of axial force and biaxial bending. A complete 3D information model in Autodesk Revit was developed as the result of the optimization procedure. Based on this model, detailed reinforcement and formwork drawings of the shape-optimized bicycle shelter were provided. According to the results, it can be concluded that shape-optimized structures have a big potential for implementation in civil engineering.



Optimized concrete bicycle shelter | Graphic: Vitali Zavadski

However, there are still many topics that require further research, such as the creation of neural networks, which may provide more efficiency in the optimization and design process.

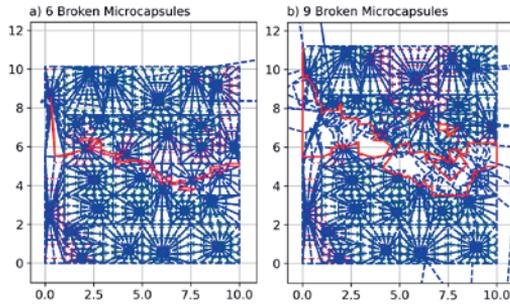
### Nicholas Dulak

#### **Investigation of the Influence of Defects on Concrete Behaviour** (Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Daniel Karl,  
Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Reinforced concrete members experience cracking throughout their service lifetime. Most of these cracks are taken into account by the design

and are inconsequential. However, over time they may have various effects that ultimately lead to the failure of the member. Self-healing concrete through microcapsules filled with a polymeric healing agent can be used to repair cracks before any resulting negative effects. Within the scope of this thesis, a discrete crack model was



Crack propagation example | Graphic: Nicholas Dulak

developed in order to analyse how the number and distribution of microcapsules placed into the cement matrix affected the propagation of cracks.

The results of the simulations performed in this work show that other than how many microcapsules are positioned near the areas of highest stress, where the cracking occurs, the distribution of the capsules has little effect on the number of broken microcapsules. It was also found that the higher number of microcapsules placed into the cement matrix lead to the preferred effect of a higher number of broken microcapsules. The percentage of broken capsules was not affected much by the various quantities, but this still holds that a higher quantity will lead to more of the healing agent being released into the cement matrix.

## Tieimur Tieimurov

### Investigation of the Influence of Defects on Concrete Behaviour

(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Daniel Karl,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe,  
Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

In this work, the current state-of-the-art literature of existing approaches to self-healing con-

crete development and capsule creation process was summarized. In addition, information about existing fracture mechanics approaches and crack modelling methods was provided with its analysis. In the course of the project, models of a sample with a capsule filled with a healing agent were created. One of these models included the effect of bonding between capsule and concrete, while the other did not. Full simulations of crack propagation during specimen failure under tension for all combinations of material properties of capsule material and concrete were performed. By means of regression, equations describing the process numerically were derived.

Furthermore, the numerical models were verified using experimental data. Partial safety factors definition was proceeded for derived equations to increase their reliability. The derived equations showed that for a model without a bonding layer, the elastic modulus of the capsule material had a highly positively effect in the probability that a crack passes through the capsule. The tensile strength of a capsule's material had a strong negative effect. The effects of concrete parameters growth were relatively small. However, the effect of the system parameters' growth in the model with the bonding layer was significant. The effects of the capsule's material parameters were relatively small compared to the effects of the concrete's parameters such as the strength of bonding which is mainly dependent on the concrete's tensile strength.

List of all other Master's Theses

Name of the student	Supervisors	Title of the Master's Thesis	
Aggour Ahmed	Dipl.-Ing. Daniel Karl, Dr.-Ing. Hubert Bachmann (Ed. Züblin AG, Frankfurt)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Beams made of UHPC with big web openings
Anastasiu, Cosmin Alexandru	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Optimization of a precast ceiling system with carbon concrete composite
Baagil, Mochammad	Dipl.-Ing. Daniel Karl, Ir. Mohd. Badri, MT, MSCE (ISTN Jakarta), Marten Eddy (TTW Indonesia, Part of Taylor Thomson Whitting, Australia)	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Determining the ductility level of a high-rise building with a flat plate floor system in high seismic regions
Eigder, Hamoon Charlie	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dr.-Ing. habil. Regine Ortlepp (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Case study on earthquake risk of buildings in Germany
Gajjala, Sathya	Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Numerical investigations of carbon rebars
Imeraj, Drin	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Shear strengthening of structures with carbon concrete composite
Kanthaje, Shravan	Dipl.-Ing. Maximilian May, Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Mechanical end-anchoring for CFRP textiles for enhanced bond behaviour
Martirosyan, Arpine	Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Andres Grün (Grün:Architekten)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Structural assessment of a WBS-70 series building
Mohamed, Nyazi Tewfik Ahmed	Dipl.-Ing. Jörg Weselek	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Model comparison for a reinforced concrete deep beam
Parab, Madhura	Dr.-Ing. habil. Regine Ortlepp (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Case study on earthquake risk of buildings in Germany
Pertseva, Olga	Dr.-Ing. Robert Zobel	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Conceptual and final design of a road bridge with carbon concrete

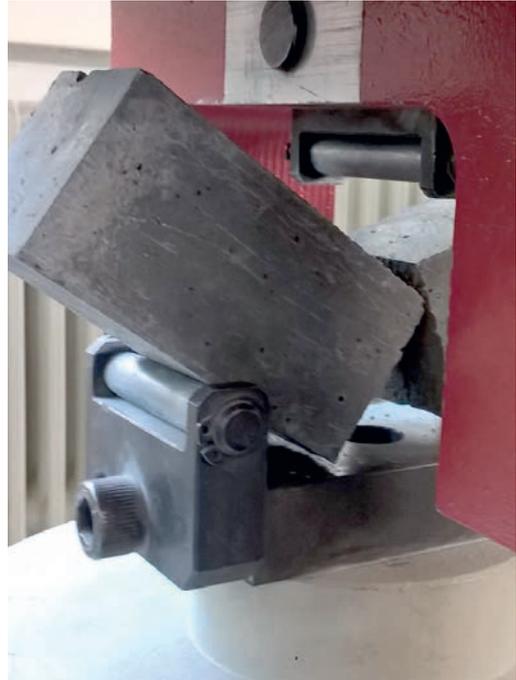
# SCHÜLERPRAKTIKUM MANOS 2018

Wintersemester 2017/18

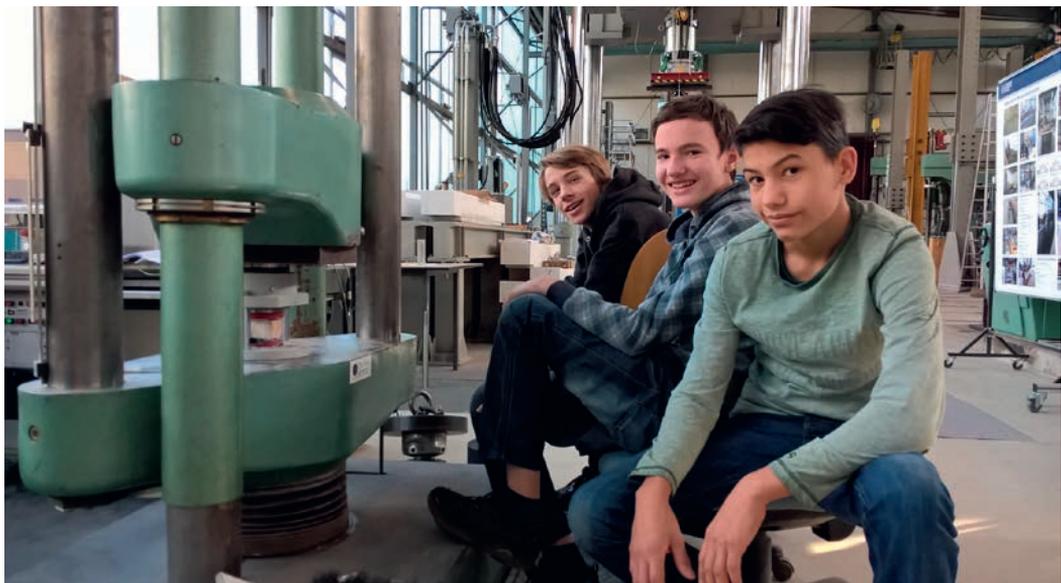
## Carbonbeton – Der Baustoff der Zukunft

Betreuer:  
Olga Diring M.Sc.  
Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow

Im Rahmen der wissenschaftlichen Projektwoche des Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums (Manos) Dresden waren im Frühjahr drei Schüler der 8. Klasse zu Gast am Institut für Massivbau. Unter dem Thema „Carbonbeton – Baustoff der Zukunft“ wurden zunächst die Funktionsweise von Stahlbeton sowie die Vorteile neuartiger Carbonbewehrungen erarbeitet. Erlerntes konnte anschließend anhand eigens hergestellter und verschieden bewehrter bzw. unbewehrter Probekörper experimentell überprüft werden. Den Abschluss der Projektwoche bildete die Vorstellung der eigenen Arbeit vor Lehrern und Mitschülern.



Funktionsstest diverser Bewehrungen im Dreipunkt-Biegeversuch | Foto: Franz Bracklow



Materialprüfung im Labor | Foto: Franz Bracklow



# OTTO-MOHR- LABORATORIUM

*OTTO MOHR  
LABORATORY*

10 MN  
Hochlastprüf-  
Typ D - 10 MN  
*w+b*  
Prüfkraft Druck  
Prüfkraft Zug m  
Kolbenhub  
Lichte Weite zw. SÄ  
Prüfraumhöhe

maschine  
J - S  
10 MN  
3 MN  
400 mm  
2500 x 2500 mm  
0 - 3750 mm

2.1



4-Punkt-Biegeversuch einer mit Carbonbeton verstärkten Stahlbetonplatte | 4-point bending test of a steel reinforced concrete slab strengthened with carbon reinforced concrete | Photo: Stefan Gröschel

## TESTEN AUF HÖCHSTEM NIVEAU

### TESTING AT THE HIGHEST LEVEL

Das Otto-Mohr-Laboratorium ist eines der am modernsten und am besten ausgestatteten Versuchseinrichtungen im Bereich des Bauwesens in Sachsen. Bereits vorhandene sowie regelmäßig neu angeschaffte Maschinen und Gerätschaften sowie deren regelmäßige Prüfung und Kalibrierung garantieren einen hohen Standard bei der Prüfung und Versuchsdurchführung, und dies trotz der rasanten Entwicklung des Bausektors. Das Otto-Mohr-Laboratorium besteht als Versuchshalle des konstruktiven Ingenieurbaus seit mittlerweile 40 Jahren, seit 30 Jahren ist es unter dem heutigen Namen bekannt. Das Otto-Mohr-Laboratorium führt neben Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für die Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden – und hier vorrangig für das Institut für Massivbau – als technischer Dienstleister für Firmen und andere Fakultäten unserer Universität, aber auch für auswärtige Forschungseinrichtungen, Prüfungen im Bereich der zerstörungsfreien wie auch der zerstörenden Versuche durch. Darüber hinaus können wir auf langjährige Erfahrungen bei der Untersuchung von Bauwerken im Auftrag

*The Otto Mohr Laboratory (OML) is one of Saxony's most modern and best-equipped laboratories in the field of construction. The testing machines and testing equipment are audited and calibrated regularly. Also, a high standard of testing is guaranteed by a steady expansion of the portfolio. The laboratory, as an experimental hall of the constructive engineers at TU Dresden, was established more than 40 years ago. The name 'Otto Mohr Laboratory' exists since nearly 30 years. The OML offers services to all TU Dresden institutions, especially the Institute of Concrete Structures, as well as non-university institutions and companies. The services offered include e. g., destructive and non-destructive examination of building materials or construction components. We have many years of experience in the examination of constructions on behalf of public and private organizations, institutions and associations, companies, engineers and architects, public and private clients and construction industry.*

für öffentliche und private Bauherren, Ingenieure und Architekten, Behörden, Verbände sowie für das Baugewerbe und die Bauindustrie zurückgreifen.

Neben üblichen Prüfungen, wie z. B. statische Druck- und Zugversuche an Kleinproben, oder Tests an großen Bauteilen ist das Otto-Mohr-Laboratorium in der Lage, auch ungewöhnliche oder neuartige Prüfbereiche des Bauwesens abzudecken. An dieser Stelle seien beispielhaft die Untersuchung von Baustoffen oder Bauteilen unter Anprall- bzw. Impaktbeanspruchungen und die Schwingungsanalyse an Bauteilen, in Gebäuden oder bei Brückenbauwerken genannt.

Ein Spezialgebiet des Otto-Mohr-Laboratoriums sind gutachterliche Bewertungen anhand von In-situ-Versuchen, z. B. von Stützen, Decken und Wänden in Neu- und Bestandsbauten, von historischen Gebäuden sowie an Brückenbauwerken. Gerade die Untersuchungen an Brücken gewinnen derzeit immer mehr an Bedeutung, da im Zuge der Einführung der Nachrechnungsrichtlinie die Bewertung von Bestandsbrücken mit experimentellen Methoden oder auch die Bewertung hinsichtlich der Gefahr von Spannungsrisikokorrosion eine immer größere Rolle spielen.

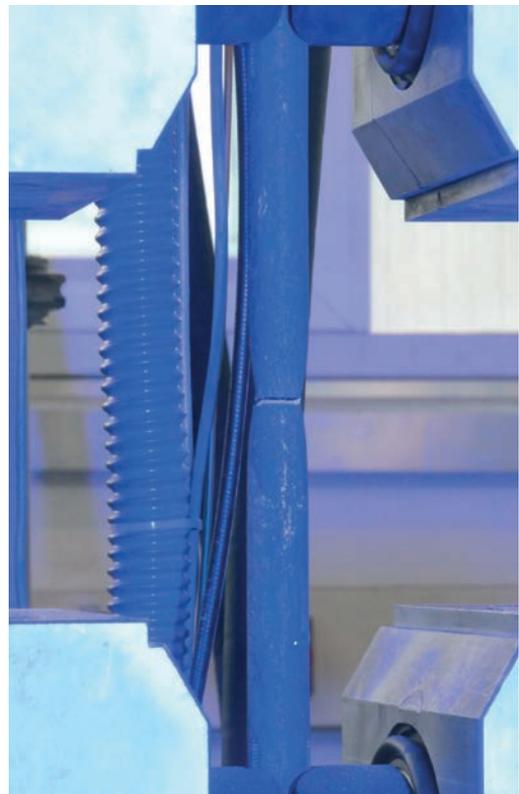
Beschleunigungssensor zur Bestimmung der Eigenfrequenz eines metallischen Zugstabs | *Acceleration sensor for determining the natural frequency of a metallic tension rod* | Photo: Sabine Wellner



*The range of service includes common tests like static compression and tensile tests on small samples, tests on large-scale components and tests under special loading conditions like multi-axial, cyclic, long-term or impact loading.*

*As a special field, the Otto Mohr Laboratory carries out expert evaluations based on in-situ tests on, e. g., beams, ceilings, and walls at new, old or historical buildings and bridge structures. Here, we have special knowledge about existing bridges in the context of analysis and implementation of the German recalculation guideline using experimental methods or evaluation concerning the risk of stress corrosion cracking.*

Bestimmung der Zugfestigkeit eines historischen Bewehrungsstahls  
*Determination of the tensile strength of a historic reinforcing steel*  
Photo: Michael Liebe



# LEISTUNGEN

## SERVICES

Unser Leistungsangebot umfasst sowohl die Durchführung von standardisierten Materialprüfungen als auch die Neuentwicklung von Versuchsaufbauten für spezielle Prüfaufgaben, die nicht mit genormten Tests gelöst werden können. Wir besitzen langjährige Erfahrungen auf den Gebieten der zerstörenden und zerstörungsfreien Materialprüfungen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt liegt bei Planung, Durchführung und Auswertung von experimentellen Tragfähigkeitsanalysen. Weiterhin verfügen unsere Mitarbeiter über umfangreiche Erfahrungen mit Textilbeton. Das betrifft sowohl die Herstellung neuer Bauteile als auch die Ausführung von Verstärkungsarbeiten. Nachfolgend wurde ein Auszug aus unserem Leistungsangebot zusammengestellt.

*Our range of services includes the execution of standardized material tests as well as the development of new test setups for special test tasks, which cannot be solved with standardized tests. We have many years of experience in the fields of destructive and non-destructive material testing. A further focus is on planning, carrying out and evaluating experimental load bearing capacity analyses. Furthermore, our employees have extensive experience with textile reinforced concrete. This applies to the production of new components as well as the execution of strengthening work. A short description of the services offered is compiled below.*

### Materialprüfungen an Prüfkörpern unterschiedlicher Geometrie und Beschaffenheit *Material tests on test specimens of different geometry and composition*

#### **ZERSTÖRUNGSFREIE MATERIALPRÜFUNG** (Auswahl)

##### *NON-DESTRUCTIVE MATERIAL TESTING (selection)*

- Kraft-, Verschiebungs- und Dehnungsmessung inkl. Photogrammetrie  
*Measurement of forces, displacements, and strains including photogrammetry*
- Kriech- und Schwindversuche | *Creep and shrinkage tests*
- Dauerstandversuche | *Long-time tests*
- Bewehrungssuche | *Locating of steel reinforcement*
- (Video-)Endoskopie | *(Video) Endoscopy*

#### **ZERSTÖRENDE MATERIALPRÜFUNG** (Auswahl)

##### *DESTRUCTIVE MATERIAL TESTING (selection)*

- Tests bei statischer und dynamischer Belastung | *Static and dynamic load tests*
- Ein- und mehraxiale Druck- und Zugfestigkeit  
*Uni- and multiaxial compression and tensile strength tests*
- Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl | *Determination of modulus of elasticity and Poisson's ratio*
- Bruchmechanische Kennwerte | *Properties for fracture mechanics*
- Verbundversuche | *Bond tests*

## Dienstleistungen für die Industrie *Service for industrial partners*

- Neuentwicklung von Versuchsaufbauten zur Prüfung von Baustoffen und Bauprodukten  
*Development of special test set-ups for the testing of building materials and construction products*
- Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Technologietransfer  
*Execution of research and development work, technology transfer*

## In-Situ-Versuche an Neu- und Bestandsbauten *In-situ tests*

- Planung, Durchführung und gutachterliche Bewertung von experimentellen Tragfähigkeitsanalysen an Neu- und Bestandsbauten | *Planning, execution and expert assessment of experimental load bearing capacity tests on new and existing buildings*
- Bauwerks- und Bauteilprüfungen bei Schadensfällen oder geplanten Umnutzungen  
*Structural and component tests in case of damage or planned reuse*



Auch in diesem Jahr waren 2 Schüler für jeweils ein 2-wöchiges Praktikum bei uns im Otto-Mohr-Laboratorium. Sie konnten an fast allen Arbeitsschritten in unseren Versuchsabläufen, von der Probekörperherstellung bis zur Prüfung von Probekörpern, mitwirken. | Also in 2018, two students were guests in our Otto Mohr Laboratory for a two-week internship. They were able to participate in almost all steps of our experimental procedures, from sample preparation to the testing of specimens | Photos: Kathrin Dietz, Heiko Wachtel

# AUSSTATTUNG

## EQUIPMENT

Unser Labor verfügt über eine umfangreiche Ausstattung für die Herstellung von Normalbeton und von verschiedensten Sonderbetonen mit und ohne Bewehrung. Eine Holzwerkstatt und eine Metallwerkstatt erlauben zudem die Bearbeitung anderer Werkstoffe.

Aktuell stehen uns ein 126 m<sup>2</sup> großes Aufspannfeld, eine große Anzahl von Prüfportalen und Prüfzylindern unterschiedlichster Geometrie und Leistungsfähigkeit zwischen 10 kN und 10 MN und verschiedene Spezial-Prüfmaschinen zur Verfügung. Für Bauwerksprüfungen ist eine große Anzahl von Belastungsrahmen vorhanden. Wir verfügen über eine umfangreiche Mess- und Speichertechnik zur Datenerfassung, verschiedenste Messgeräte und Messmittel einschließlich Photogrammetrie und Hochgeschwindigkeitskameras.

*Our laboratory has extensive equipment for the production of normal strength concrete and various special concrete types with and without reinforcement. Also, a wood workshop and a metal workshop allow us to work with other materials.*

*Currently, a 126 m<sup>2</sup> clamping field, a large number of load frames and hydraulic actuators, with different geometry and capacities ranging from 10 kN up to 10 MN are available together with various special testing machines. A large number of load frames are available for testing building elements. We have a comprehensive selection of measuring devices as well as devices for data acquisition and storage, a wide range of measuring equipment including photogrammetry and high-speed cameras.*



Eine vollständige Liste finden Sie unter <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/>

You can find a complete list of the equipment on <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/>

### Probenherstellung

- Stahl-Standardformen und -schalungen für die üblichen Standardtests für Betone und Textilbeton | verschiedene Spezialformen und Sonderanfertigungen
- Mischer für Betone und Zemente, Fassungsvermögen 12 – 350 Liter | Geräte und Apparaturen zur Verdichtung inkl. Nadelprüfgerät und Porenvolumen-Messgerät | Klimakammern und Klimaschränke
- Ausrüstung zur Betonbearbeitung wie Betonsägen, Kernbohrgeräte, Bohrhämmer und Doppel-Planschleifmaschine

### Sample production

- Standard steel molds and formwork for the standard concrete and textile reinforced concrete tests | various specially shaped and custom-made molds and products
- Concrete and cement mixers, with capacities of 12 to 350 liters | equipment for concrete consolidation and related measurements, including needle testing and pore volume measuring device | climatic chambers and cabinets
- Concrete cutting equipment such as concrete saws, core drilling machines, rotary hammers and double-surface grinding machine

### Aufspannfelder und Portale

- 2 Aufspannfelder mit 1,5-m-Raster und bis zu 1 MN Kapazität je Prüfportal
- Portale für die Prüfung von Einzelelementen bis zu 10 t Gewicht und 5 m Höhe möglich | mehrere Steuerpulte

### Strong-floor, testing frames, attachments

- Two strong floor testing areas with anchor points on a 1.5 m grid | up to 1 MN capacity per testing frame
- Frames for the testing of individual elements with weights up to 10 t and heights up to 5 m | various control stations

### Prüfmaschinen und -vorrichtungen für statische Standardtests

- Diverse Prüfmaschinen für statische Druck-, Zug- und Biegeversuche | maximale Lasten: 6000 kN Druck, 1 MN Zug | variable Prüfraumhöhen bis max. 4,0 m lichte Einbauhöhe

### Prüfmaschinen für statische und dynamische Zug-, Druck- und Biegeprüfungen

- Prüfcylinderanlage mit 1000 kN maximale Lasthöhe
- Pulsatoranlage mit bis zu 6 Hz Lastwechselfrequenz
- Hydropulsprüfmaschine mit zwei Belastungsrahmen; Rahmen 1: statische Maximallast: 1000 kN Druck bzw. Zug; Rahmen 2: statische Maximallast: 250 kN Druck bzw. Zug; dynamische Maximallast: jeweils 80 % vom statischen Wert
- Z 100: statische Maximallast: 100 kN Druck bzw. Zug, dynamische Maximallast: 80 kN Druck bzw. Zug
- ZD 2500: statische Maximallast: 2500 kN Druck bzw. Zug, dynamische Maximallast: 500 kN Druck bzw. Zug

### Testing machines and devices for standard static tests

- *Various testing machines for compression, tensile and bending tests | maximum loads: 6000 kN pressure, 1 MN tension | variable clearance heights up to 4 m*

### Testing machines for standard static and dynamic tension, compression, and bending tests

- *Servo-hydraulic test bench with a maximum load of 1000 kN*
- *Test bench for cyclic loading with up to 6 Hz load frequency*
- *Hydropuls testing machine with two load frames; frame 1: maximum static load: 1000 kN compression or tension; frame 2: maximum static load: 250 kN compression or tension; maximum dynamic load: 80 % of the static value*
- *Z 100: static load (maximum): 100 kN compression or tension, dynamic load (maximum): 80 kN compression or tension*
- *ZD 2500: static load (maximum): 2500 kN compression or tension, dynamic load (maximum): 500 kN compression or tension*

Blick in die Versuchshalle | *View into the test hall* | *Photo: Thomas Häntzschel*



### Spezielle Prüfmaschinen

- Triaxial-Prüfmaschine: Lasten bis 500 kN Zug oder 5000 kN Druck je Achse | Lasteinleitung mit starren Platten oder Belastungsbürsten unterschiedlicher Geometrie | Prüfkörpergröße, Standard: 10er Würfel, max. 30er Würfel
- Biaxial-Prüfmaschine: max. 90 kN Zug je Achse
- Triaxialzelle: vertikal max. 125 kN Druck, radial max. 5 MPa | zylindrische Proben mit  $\varnothing = 2,54$  cm und  $h = 5,08$  cm | Temperaturen bis 150 °C möglich
- Horizontaler 20-MN-Belastungsrahmen: Maximallast: derzeit 10 MN (auf 20 MN aufrüstbar) | 5,0 m maximale Prüflänge (freie Länge) bei Druck- und bis zu 7,50 m bei Zugversuchen
- 10-MN-Bauteilprüfmaschine: Prüfkörpergröße bis  $B \times L \times H = 2,5 \times 15,0 \times 3,7$  m | derzeit 60 t maximales Probengewicht (auf 120 t aufrüstbar)
- Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche: maximale Belastungsgeschwindigkeit: 35 m/s | zylindrische Prüfkörper mit  $\varnothing = 50$  mm und  $l_{\max} = 150$  mm bei Druck- und  $l_{\max} \geq 200$  mm bei Spallationsversuchen | kinetische Energie des Impaktors: bis zu 1,8 kJ
- Zweiaxialer Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche: maximale Belastungsgeschwindigkeit: 35 m/s | Prüfkörper:  $60 \times 60 \times 60$  mm | kinetische Energie des Impaktors: je Achse bis zu 1,8 kJ
- Kleiner Fallgewichtsversuchsstand: 5,0 m maximale Fallhöhe | 49,1 kg maximales Fallgewicht
- Großer Fallversuchsstand (Fallturm) mit Fallschlitten- und Beschleunigungssystem:  $H_{\max} = 11,0$  m; Fallschlittensystem: maximales Fallgewicht 2500 kg, Geschwindigkeit bis 15 m/s | Beschleunigungssystem: maximales Fallgewicht 100 kg, Geschwindigkeit von 6 m/s bis 250 m/s
- Versuchsstände für den Test von Platten und Fassaden (bis  $2,4 \times 2,4$  m) | Kriechstände | Ausstattung für Tests mit variabler Temperaturbeanspruchung

### Special testing machines

- *Triaxial testing machine: loads up to 500 kN in tension or 5000 kN in compression per axle | loads can be introduced using rigid plates or load-bearing brushes of different geometries | test specimen: cubes with 10 cm edge length (standard), max.: 30 cm cubes*
- *Biaxial testing machine: max. 90 kN tension per axle*
- *Triaxial cell: 125 kN maximum vertical compression and up to 5 MPa radial pressure | specimen: cylindrical samples with a diameter of 2.54 cm and a height of 5.08 cm | heating up to 150 °C possible*
- *Horizontal 20 MN load frame: 10 MN current maximum load (can be upgraded to 20 MN) | maximum (free) test length: 5 m for compression tests and up to 7.50 m for tensile tests*
- *10 MN testing machine: specimen sizes up to 2.5 m (width)  $\times$  15 m (length)  $\times$  3.7 m (height) | currently maximum weight of specimens: 60 t (can be upgraded to 120 t)*
- *Split-Hopkinson bar for high-dynamic load tests: maximum load rate of 35 m/s | for testing cylindrical test specimens with  $\varnothing = 50$  mm and  $\leq 150$  mm length for compression tests resp.  $\leq 200$  mm length for spallation tests | kinetic energy of the impactor can reach up to 1.8 kJ*
- *Biaxial split-Hopkinson bar for high-dynamic load tests: maximum load rate: 35 m/s | test specimen:  $60 \times 60 \times 60$  mm | kinetic energy of the impactor: up to 1.8 kJ per axle*
- *Small drop weight test stand: 5.0 m maximum fall height | 49.1 kg maximum drop weight*
- *Large drop test rig (drop tower): 11 m maximum drop height | free falling impactors: maximum drop weight 2500 kg, max. velocity: 15 m/s | with acceleration system: maximum drop weight 100 kg and velocity from 6 m/s up to 250 m/s*
- *Test rigs for testing panels and facades (up to  $2.4 \times 2.4$  m) | creep test bed | equipment for tests with variable temperatures is available*

### **Ausrüstung für Bauwerksprüfungen**

- Verschiedene Belastungsrahmen für In-situ-Prüfungen an Brücken, Decken, Stützen, Masten, Geländern etc.
- Ultraschallmessgerät | Profometer 3 (Bewehrungsortung) | (Video-)Endoskopie Rückprallhammer | Ausrüstung zur Entnahme von Bohrkernen

### **Messtechnik**

- Messdatenerfassung mittels verschiedener Messverstärker wie MGC, MGCplus, Quantum MX840 und Spider 8 | Vielstellenmessgerät: UPM100 | Transientenrekorder für Messungen bei Hochgeschwindigkeitsversuchen | Geräte zur Fernüberwachung von Messungen | AOS-Messgerät für Faser-Bragg-Gitter-Sensoren
- Besondere Kameras: Hochgeschwindigkeitskameras Photron Fastcam SA5
- Nahbereichsphotogrammetrie: AICON-3D-System mit vier Kameras und Zubehör | GOM ARAMIS 3D- und 2D-System mit Kameras von 5 MP und 12 MP, auch mit Hochgeschwindigkeitskameras und externen Bildserien nutzbar
- Verschiedenste Kraftmessdosen bis 10000 kN
- Übliche Messmittel | Faseroptische Sensoren | Beschleunigungsaufnehmer, dynamische Kraftsensoren, Extensometer | Thermoelemente und Feuchtesensoren (Luftfeuchte) und Anemometer | Seilzugensensoren | Laservibrometer für berührunglose Weg- und Geschwindigkeitsmessung über große Distanzen | Datenlogger
- Geräte für Vermessungsarbeiten inkl. Neigungssensor und Inclinometer | mechanische Längenmessgeräte etc.

### **Sonstige Ausrüstung**

- Brückenkranen in den Laborgebäuden | Gabelstapler (Tragkraft: 3,5 t) | Schwerlastwagen bis 60 t Tragkraft | Geräte zum Anheben und Verschieben von bautechnisch relevanten Lasten bis 120 t durch Einsatz hydraulischer Hebeteknik
- Schweißerausrüstung (elektro und autogen) | mobile Druckölaggregate | Sandstrahlaggregat

### **Equipment for in-situ tests of structures**

- *Various load frames for in-situ tests on bridges, ceilings, columns, masts, railings, etc.*
- *Ultrasonic measuring device; reinforcement detector (Profometer 3) | (video) endoscopy | rebound hammer | equipment for drilling concrete cores*

### **Measuring technique**

- *data collecting using various measuring amplifiers such as MGC, MGCplus, Quantum MX840 and Spider 8 | UPM100 | Transient recorder for measurements in high-speed tests | devices for remote monitoring of measurements | AOS measuring device for fiber Bragg grating sensors*
- *Special cameras: high-speed cameras Photron Fastcam SA5*
- *Close-range photogrammetry: AICON 3D system with four cameras and accessories | GOM ARAMIS 3D & 2D with 5 MP and 12 MP cameras, also usable with highspeed cameras and external picture series*
- *Various force measuring devices up to 10000 kN*
- *Standard measuring instruments | fiber Bragg gratings | accelerometers, dynamic force sensors, extensometers | thermocouples and humidity sensors and anemometers | tension cable sensors | laser vibrometer | data logger*
- *Devices for surveying work including inclination sensor and inclinometer | mechanical length measuring devices, etc.*

### **Other equipment**

- *Lift cranes within the laboratory facilities | forklift with a lifting capacity of 3,5 t | strong-wagons with load carrying capacity up to 60 t | hydraulic lifting technology devices for lifting and moving elements with typical construction weights of up to 120 t*
- *Welding equipment (electrical and auto-genous) | mobile oil pressure aggregates | sandblasting unit*



Prüfmaschine Schenck 1000 kN | Universal testing machine Schenck 1,000 kN | Photo: Thomas Häntzschel

## HYDROPULSPRÜFMASCHINE 1000 KN

### IN FOCUS: HYDRO PULSE TESTING MACHINE 1000KN

Ein vielseitiges Prüfspektrum kann durch die hydraulische Werkstoffprüfmaschine Schenck 1000 abgedeckt werden. Sie ist geeignet für Druck-, Zug- und Biegeversuche mit schnellem oder wechselndem Beanspruchungsverlauf. Auch hohe Lastwechselzahlen (> 1 Mio.) werden realisiert. Damit lässt sich das Ermüdungsverhalten verschiedenster Materialien untersuchen. Die sehr steife Konstruktion des 4-Säulen-Prüfmaschinenrahmens mit der stufenlos verstellbaren, absolut spielfreien Schrumphül-senklemmung ist die ideale Voraussetzung für dynamische Versuche im Wechsellastbereich.

Die Prüfmaschine ist in Modulbauweise hergestellt. Damit ist sie einfach erweiterbar und zukunftsorientiert an neue Prüfaufgaben anpassbar. Sie ist mit einem auf dem Querhaupt angeordneten Gleichlaufzylinder ausgerüstet. Dieser ist durch die hydrostatische Kolbenstangenlagerung quasi frei von Gleitreibung, was den Verschleiß minimiert,

*A broad test spectrum can be covered by the hydraulic material testing machine Schenck 1000. It is suitable for compression, tensile and bending tests with fast or alternating load development. High load cycle numbers (> 1 million) can be implemented as well. This allows the investigation of the fatigue behaviour of various materials. The very rigid construction of the 4-column testing machine frame with infinitely adjustable, absolutely backlash-free shrink sleeve clamping is the ideal prerequisite for dynamic tests in an alternating load range.*

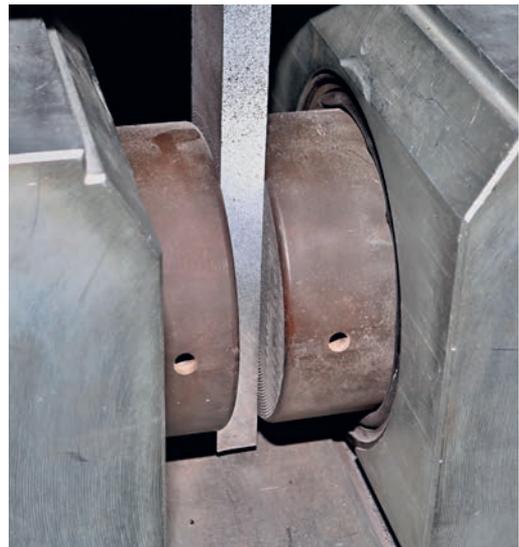
*The testing machine is manufactured in modular construction. This allows for easy extension and adaptation to future test tasks. It is equipped with a synchronous cylinder arranged on the crosshead that is hysteresis-free up to the nominal force, and virtually free of sliding friction due to the hydrostatic piston rod bearing, which minimizes wear. The maximum pulse frequency is dependent on load amplitude, and it is 2 Hz (80 %  $F_{nom}$ ) at a piston stroke of 2 mm. Lower nominal forces and amplitudes up to 30 Hz are*

sowie bis zur Nennkraft hysteresefrei. Die maximale Pulsfrequenz ist last- und amplitudenabhängig und beträgt bei einem Kolbenhub von 2 mm 2 Hz (80 %  $F_{\text{nenn}}$ ). Bei geringeren Nennkräften und Amplituden sind bis zu 30 Hz möglich. Der maximale Hub des Zylinders ist auf 250 mm begrenzt. Hydraulische Spannköpfe mit verschiedenen Klemmbacken gestatten einen sicheren Halt von Flach- und Rundproben und einen effektiven Probenwechsel. Die Maschine wird von einem eigenen Hydraulikaggregat gespeist und ist somit unabhängig vom Betrieb anderer Prüfmaschinen.

Die Maschinensteuerung ermöglicht die Kraft-/Wegregelung oder Regelung über externe Signaleingänge und ist frei programmierbar. Sicherheitsvorrichtungen erlauben einen bedienerlosen Betrieb über mehrere Tage. Ein zusätzlich angeschlossenes Mehrkanalmesssystem (MGC) ermöglicht die Aufzeichnung, Speicherung und grafische Darstellung zusätzlicher Sensorsignale wie z. B. von u. a. Dehnmessstreifen, induktiven Wegaufnehmern und Temperatursensoren.

*possible. The maximum stroke of the cylinder is limited to 250 mm. Hydraulic clamping heads with different clamping jaws allow for a secure hold of flat and round samples and an effective sample change. The machine is powered by its own hydraulic unit and is thus independent on the operation of other testing machines.*

*The machine control enables force/displacement control or control via external signal inputs and is freely programmable. Security devices allow unattended operation for several days. An additionally connected multi-channel measuring system (MGC) allows recording, storage and graphical representation of additional sensor signals such as data from strain gauges, inductive transducers, and temperature sensors.*



Hydraulische Spannböden | Hydraulic clamping jaws | Photo: Thomas Häntzschel

### Technische Informationen | Technical information

Maximale statische Prüfkraft   <i>Maximum static test load</i>	1000 kN
Maximale dynamische Prüfkraft   <i>Maximum dynamic test load</i>	800 kN
Maximaler Kolbenweg   <i>Maximum travel travel</i>	250 mm
Maximale Prüffrequenz (Auswahl)   <i>Possible test frequencies (selection)</i>	2 Hz (Amplitude 1,0 mm – $F_{\text{max}}$ ca. 800 kN) 10 Hz (Amplitude 0,4 mm – $F_{\text{max}}$ ca. 400 kN) 20 Hz (Amplitude 0,2 mm – $F_{\text{max}}$ ca. 200 kN)
Prüfraumbreite   <i>Work space width</i>	700 mm
Prüfraumhöhe   <i>Work space clearance</i>	0 – 1350 mm
Einspannlänge   <i>Clamping length</i>	140 mm (unten und oben   <i>below and above</i> )
Maximale Prüfkörperlänge   <i>test specimen length</i>	1100 mm Zugproben   <i>tensile specimen</i> 1350 mm Druckproben   <i>pressure specimen</i>



Ein Blick ins Innere des Kaufhauses Görlitz | A look inside the Görlitz department store | Photo: Sabine Wellner



Rahmenkonstruktion zur Lastableitung | Frame construction for load transfer | Photo: Oliver Mosig

## FAST WIE IM FILM – GÖRLITZER KAUFHAUS

### ALMOST LIKE IN A MOVIE – THE GÖRLITZ DEPARTMENT STORE

Die Errichtung des Görlitzer Warenhauses begann im Jahr 1912 nach den Plänen des Potsdamer Architekten Carl Schmanns. Das 5-geschossige Gebäude mit etwa 10000 m<sup>2</sup> Nutzfläche wurde als Stahlskelettbau errichtet. Neben der Fassade weist vor allem das aufwendig ornamental verzierte Glaskuppeldach, welches den Lichthof überspannt, Elemente des Jugendstils auf. Mit seinen marmorverkleideten Pfeilern, Freitreppen und zwei gigantischen Kronleuchtern stellt das Gebäude das einzig in seiner ursprünglichen Gestalt erhaltene bauliche Zeugnis der frühen deutschen Warenhausarchitektur dar. Als Kulisse ist es aus dem mehrfach Oscar prämierten

*The construction of the Görlitz department store began in 1912, according to the plans of the Potsdam architect Carl Schmanns. The 5-storey building, with about 10000 m<sup>2</sup> floor space, was erected as a steel skeleton structure. In addition to the façade, the elaborately and ornamentally decorated glass dome roof, which spans the atrium, features elements of Art Nouveau. With its marble-clad pillars, open staircases and two gigantic chandeliers, the building is the only surviving architectural testimony - in its original form - of the early German department store architecture. It is known as the scenery of the multiple Oscar-winning movie "The Grand Budapest Hotel".*

ten Film „The Grand Budapest Hotel“ bekannt. In Vorbereitung auf die geplante Sanierung und Wiedereröffnung des Kaufhauses sollten die Geschossdecken auf ihre Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit überprüft werden. Dabei galt es, erhöhte Eigengewichts- und Verkehrslasten zu berücksichtigen.

Da dieser Nachweis rechnerisch nicht erbracht werden konnte, führte das Otto-Mohr-Laboratorium experimentelle Belastungsversuche an insgesamt 10 Decken in unterschiedlichen Geschossen durch. Die Kombination von großen Deckenflächen und hohen Ziellasten mit über einer Tonne je Quadratmeter erforderte dabei eine aufwendige Versuchskonstruktion. Zwei Stahlrahmen dienten als Widerlager zur sicheren Rückverankerung der Belastung im Mauerwerk des Kaufhauses. Die an dieser Konstruktion befestigten Hydraulikzylinder zogen die darüber liegende Decke über Zugstangen nach unten. Über Traversen und Holzbretter wurde die Last gleichmäßig auf die Deckenfläche aufgebracht. Mit mehreren induktiven Wegaufnehmern wurde die Verformung der Geschossdecke an verschiedenen Stellen unter Belastung in Echtzeit verfolgt. Kraftmessdosen an den Hydraulikzylindern gaben Auskunft über die Höhe der Belastung.

Durch eine schrittweise steigende Last konnte das Verformungsverhalten der Decke beobachtet werden. Die gemessenen Verformungen lagen dabei im zulässigen Bereich. Schäden der Geschossdecke, wie beispielsweise breite Risse, konnten nicht festgestellt werden. Der experimentelle Nachweis der Funktionsfähigkeit der Deckentragwerke – ein wichtiger Schritt für die geplante Wiedereröffnung des Görlitzer Kaufhauses – konnte somit erbracht werden.

*In preparation for the planned refurbishment and reopening of the department store, the load bearing capacity and serviceability of the ceilings had to be checked. Increased dead weight and traffic loads had to be taken into account.*

*Since this proof could not be provided mathematically, the Otto Mohr Laboratory carried out experimental load tests on a total of 10 ceilings in different storeys. The combination of large ceiling areas and high target loads of over 1 tonne per square metre required a complex test setup construction. Two steel frames served as abutments for secure anchoring of the load in the masonry of the department store. The hydraulic cylinders were attached to this construction, and they pulled down the ceiling above via tie rods. The load was evenly applied to the ceiling surface via cross beams and wooden boards. Several inductive displacement transducers tracked the deformation of the floor slab at various points under load in real time.*

*Load cells on the hydraulic cylinders provided information on the level of the load. The deformation behaviour of the ceiling could be observed by gradually increasing the load. The measured deformations were within the permissible range. Damage to the floor slab, such as wide cracks, could not be determined. The experimental proof of the ceiling structures could thus be provided, which was an important step for the planned reopening of the Görlitz department store.*

► **Titel | Title**

Experimentelle Belastungsversuche der Stahlsteindecken im Kaufhaus Stöcker in Görlitz

*Experimental load tests of slabs at the Görlitz department store*

► **Förderer | Funding**

Stöcker Kaufhaus GmbH & Co. KG, Görlitz

► **Zeitraum | Period**

03.2018 – 09.2018

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dipl.-Ing. Oliver Mosig, Dr.-Ing. Torsten Hampel

► **Versuchsdurchführung | Test execution**

Dipl.-Ing. Oliver Mosig, Maik Patricny, Andreas Thieme, Heiko Wachtel, Bernd Wehner, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner



Messtechnikaufbau unter der Gewölbedecke im Ostflügel | Setup of the measuring technology | Photo: Sabine Wellner

## WEITERFÜHRUNG DER TRAGWERKSVER- SUCHE IM BEYER-BAU

### CONTINUATION OF TESTS IN THE BEYER-BAU

Das Otto-Mohr-Laboratorium hat auch im Jahr 2018 eine Vielzahl an Material- und Bauteilprüfungen in Vorbereitung auf die bevorstehende Sanierung des Beyer-Baus durchgeführt. So wurden beispielsweise Lagebestimmungen und Aufmaße von Tragstrukturen, Bewehrungssuchen, Haftzugprüfungen zur Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit und diverse Prüfungen an Stahl und Beton erbracht.

Neben den Materialuntersuchungen und -prüfungen wurden auch in diesem Jahr experimentelle Belastungsversuche durchgeführt. So wurde unter anderem die Gewölbedecke über dem Kellergeschoss an zwei exempla-

*In 2018, the Otto Mohr Laboratory realized a variety of material and experimental load tests in preparation for the approaching renovation of the Beyer-Bau. Thus, for example, tests were conducted to explore the position and dimension of structures, rebar detection, adhesive tensile tests for determining the tensile strength of the concrete surface and various tests of steel and concrete.*

*Besides the material research and testing, experimental load tests were also carried out. Particular attention was paid at two typical well-chosen places of the vaulted ceilings in the cellar. For the upcoming renovation efforts, the effect of a moving load resulting from*

risch ausgewählten Stellen beprobt. Für die zukünftige Nutzung sollte der Lastfall zum „Einsatz eines handbewegten und handgeführten Gabelhubwagens als Transporteinheit“ abgebildet werden. In der Versuchsplanung wurde eine Belastung in Höhe von 3 t (Eigenlast 0,5 t zzgl. maximaler Zuladung von 2,5 t) festgelegt. Unter Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes ergab sich eine Versuchsziellast von 4,5 t. Aufgrund der lastverteilenden Gewölbewirkung und dem damit einhergehenden günstigen Lastabtrag wurde die Versuchslast als Punktlast im Viertelpunkt des Gewölbebogens angesetzt. So sollte die ungünstigste Laststellung dargestellt und geprüft werden. Die Punktlast wurde auf zwei Lasteinleitungsstellen aufgeteilt. Der Abstand der beiden Punkte betrug 1,2 m und entspricht somit dem Radachsabstand eines handelsüblichen Gabelhubwagens. Die Radauflstands- bzw. Lasteinleitungsfläche wurde mit 20 x 20 cm gewählt. Im Südflügel erfolgte die Lasteinleitung längs und im Ostflügel quer zur Spannrichtung des Gewölbes.

Es wurden insgesamt jeweils sieben Belastungszyklen sowie die Beanspruchung der Decken unter einer 20-minütigen Dauerlast durchgeführt, um das Tragverhalten der Gewölbedecken schrittweise und auch bei wiederholter Einwirkung beurteilen zu können. Während der Belastungsprüfung der Decken wurden Durchbiegungen im Zehntelmillimeterbereich gemessen. Dabei wurden keine nennenswerten plastischen Verformungen, Abplatzungen oder Verschiebungen im Mauerwerksverband festgestellt, welche auf eine sofortige und bleibende Schädigung der Decken hingedeutet hätten. Im Rahmen der experimentellen Belastungsversuche konnte festgestellt werden, dass die Gewölbedecken über dem Kellergeschoss über eine Tragfähigkeit verfügen, die über das geforderte Maß hinausgehen.

*„a hand-moved and hand-controlled fork-lift as transport unity“ had to be investigated. In preparation of the tests, a load rate of 3 tons (self-weight 0.5 tons, plus a maximum additional load of 2.5 tons) was set. The characteristic values of the action had to be multiplied by a safety factor. Because of the load-distributing vault effect and the favourable load transfer, the test load was implemented as a concentrated load in the quarter of the vault. Thus, the most unfavourable load position should be shown and examined. The load was split into two load application points. The distance of those two points depended on the fork-lifts wheel distance of 1.2 m. The load application surface was chosen as a 20 x 20 cm rectangle. In the south wing, the load application occurred along the direction of the vault; in the east wing, crosswise to the direction of the vault.*

*Seven loading cycles, as well as 20-minute long loading intervals, were performed to evaluate the load-bearing behaviour of the vaults to cyclic loading. The maximum deflection during the experimental load test was in the tenth-millimetre range. Besides, no appreciable plastic deformations, spalling or masonry movements were determined. In summary, it can be concluded that the vaults have a load bearing capacity beyond the degree that is demanded.*

► **Titel | Title**

Tragwerksuntersuchungen im Beyer-Bau  
*Structural investigations in the 'Beyer-Bau'*

► **Förderer | Funding**

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement,  
Niederlassung Dresden II, Sachgebiet Hochbau 2, Dresden

► **Zeitraum | Period**

Seit 01.2017 (fortlaufend)

► **Leiter | Project manager**

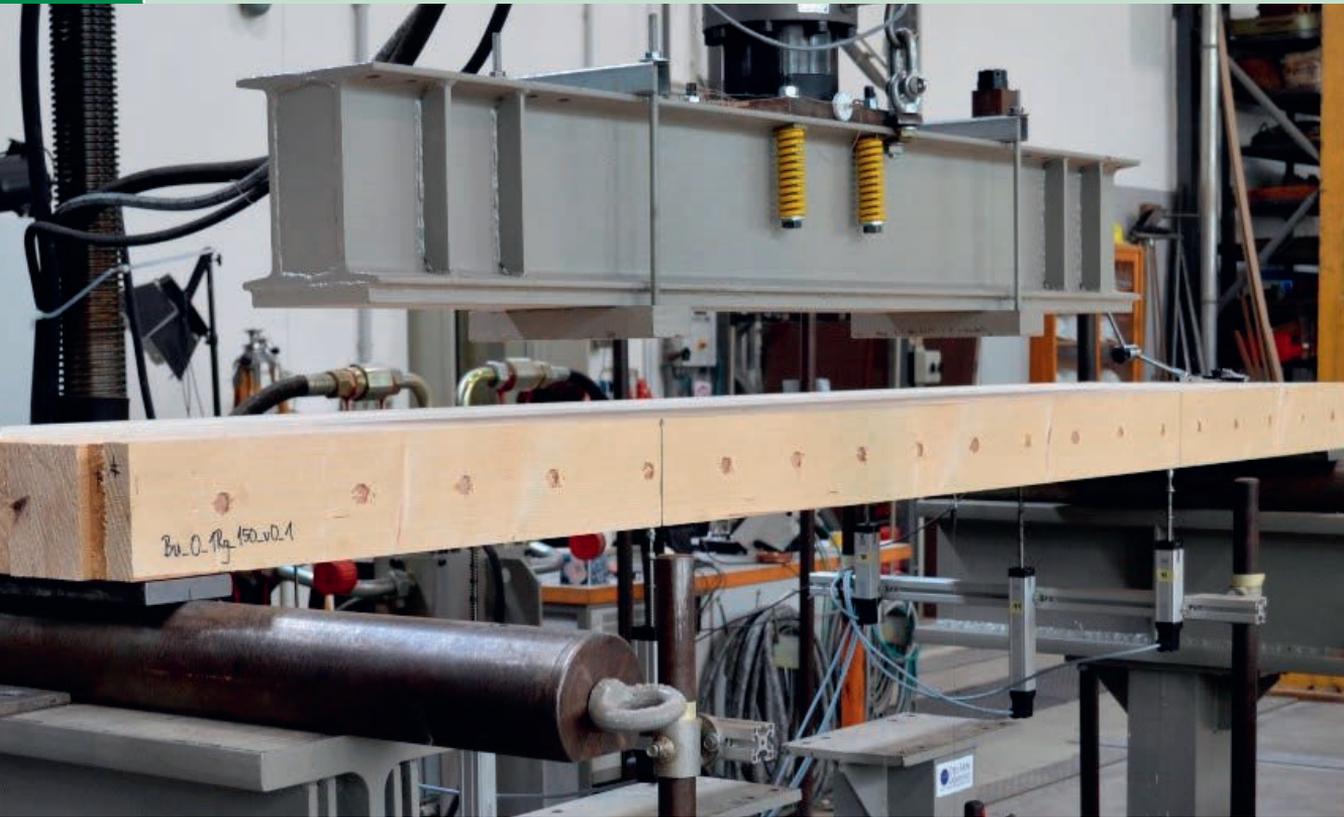
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dr.-Ing. Torsten Hampel,  
Dipl.-Ing. Oliver Mosig

► **Versuchsdurchführung | Test execution**

Tino Jänke, Maik Patricny, Andreas Thieme,  
Heiko Wachtel, Bernd Wehner



4-Punkt-Biegeversuch von klebstofffrei laminierten Holzbrettern | 4-point bending test of adhesive free laminated timber | Photo: Stefan Würdig

## KLEBSTOFFFREIE HOLZKONSTRUKTIONEN MIT LAMINIERTEN BRETTERN

### ADHESIVE FREE TIMBER CONSTRUCTIONS WITH LAMINATED BOARDS

Holzwerkstoffe (EWPs) spielen eine wichtige Rolle in der globalen Wirtschaft und finden aufgrund ihrer verbesserten Dimensionsstabilität, Haltbarkeit, konstanten mechanischen Eigenschaften und der Verfügbarkeit großer Strukturabschnitte weltweit zunehmend Anwendungen. Darüber hinaus haben EWPs im Vergleich zu konventionellen Baumaterialien (Stahl und Aluminium) größere Umweltvorteile. Es gibt jedoch Bedenken hinsichtlich der Verwendung von Klebstoffen und metallischen Verbindungselementen, die ihre Recyclingfähigkeit negativ beeinflussen. Die Europäische Kommission verfolgt eine spezifische Politik mit dem Ziel einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, indem die Treibhausgasemissionen bis

*Engineered Wood Products (EWPs) play an important role in the global economy and are increasingly being used for structural applications worldwide due to their enhanced dimensional stability, increased durability, consistent mechanical properties and the availability of large structural sections. Additionally, EWPs have greater environmental benefits compared to those of conventional construction materials (i.e. steel and aluminium). However, there are concerns with the use of adhesives and metallic fasteners which affect their sustainability, recyclability and broader environmental impact. The European Commission has a specific policy with the aim of developing a low-carbon economy by reducing greenhouse*

2050 auf 80 % gesenkt werden. Eine der Strategien, die mit dieser Politik in Einklang gebracht wird, ist die Entwicklung energieeffizienter Baustoffe. Daher besteht ein hohes Interesse an der Entwicklung und Optimierung neuer und nachhaltiger EWP's als Alternative zu herkömmlichen EWP's (d. h. Brettschichtholz). Dieses Ziel ist Gegenstand laufender Forschungen im Rahmen eines EU-finanzierten Projekts mit dem Titel Adhesive Free Timber Buildings (Klebstofffreie Holzgebäude).

Neben dem Vergleich der Ergebnisse von Vollelementen mit komprimierten und nicht komprimierten Dübeln sollten die ursprünglich geplanten 4-Punkt-Biegeversuche auch die Möglichkeit bieten, unterschiedliche Anordnungen zu bewerten. Darüber hinaus wurden 3-Punkt-Biegeversuche mit Einzelbelastung in der Plattenmitte durchgeführt. Die Abmessung der Platten betrug 3000 x 600 x 120 mm und für jede Testreihe wurden drei Proben getestet.

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen schlussfolgern, dass die Verwendung komprimierter Dübel zum Verbinden von Platten als Deckenelemente möglich ist. Die Ergebnisse zeigten kleine Abweichungen zwischen den verschiedenen Kompressionsgraden. Zudem konnte deduziert werden, dass Plattenstapelemente aus Holz geringerer Qualität besser genutzt werden können. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass auch bei Ausfall einzelner Leiterplatten eine Umlenkung der Kräfte stattfand und die Tragfähigkeit weiter erhöht wurde. Dieser Aspekt ist besonders sicherheitsrelevant, da die Elemente sehr duktil wirken.



Schichtholz mit zusammengedrücktem Buchendübel | *Laminated timber with compressed beech dowel* | Photo: Stefan Würdig

*gas emissions to 80 % by 2050. One of the strategies aligned with this policy is the development of energy-efficient construction and building materials. Therefore, there is renewed interest in the development and optimisation of novel and sustainable EWP's which can be used as a replacement/alternative to conventional EWP's (i.e. glulam) or other structural materials. This ambition is the subject of an on-going research effort via an EU-funded project entitled Adhesive Free Timber Buildings (AFTB).*

*In addition to the comparison between the results of solid elements with uncompressed and compressed dowels, the originally planned 4-point bending tests provided the opportunity to evaluate different arrangements. Moreover, 3-point bending tests, with a single load in the middle of the plate, were performed. The dimension of the slab was 3000x600x120 mm, and three samples for each test series were tested.*

*From the results of this work, it can be deduced that the use of compressed dowels for the connection of slabs as ceiling elements is feasible. The results demonstrated small deviations between the different degrees of compression. It has been concluded that the use of board stacking elements makes better use of timber of lesser quality. The values were significantly higher than those reported by the manufacturers. Furthermore, it could be observed that, even in the case of failure of individual boards, a redirection of the forces took place and the load bearing capacity increased further. This aspect is particularly relevant to safety since the elements presented very ductile behaviour.*

► **Titel | Title**

Auf dem Weg zu klebstofffreien Holzgebäuden

*Towards Adhesive Free Timber Buildings (AFTB)*

► **Auftraggeber | Funding**

EU H2020 Interreg North-West Europe

► **Zeitraum | Period**

09.2017 – 03.2020

► **Leiter | Project manager**

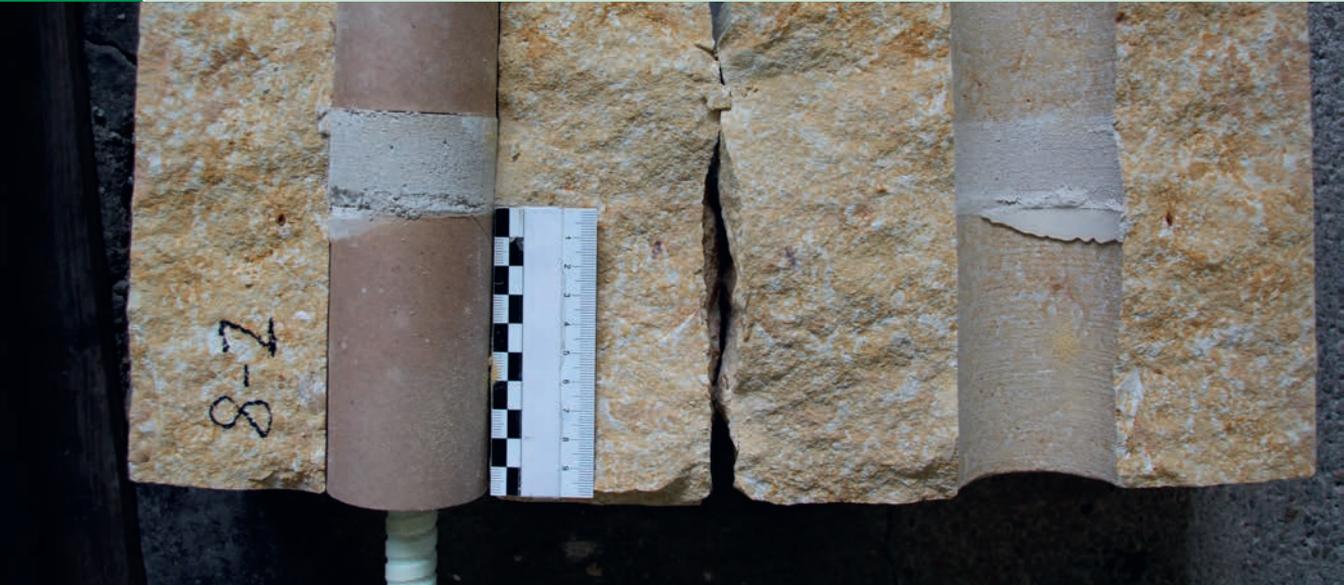
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller

► **Bearbeiter | Contributors**

M.Sc. Siavash Namari, Thomas Händel, Stefan Würdig

► **Projektpartner | Project partners**

Suttner GmbH, Haselbach / Deutsche Holzveredelung Schmeing GmbH, Kirchhundem



Stab-Ausziehversuch, kurze Verbundlänge GFK-Anker, Durchmesser 16 mm; geprüfter und nachträglich gespaltener Versuchskörper | Bar pull-out test, short bond length GFK anchor, diameter 16 mm; tested and subsequently split specimen | Photo: Fabian Meyer

## FASERVERBUNDBEWehrUNG IM MAUERWERK

### FIBRE COMPOSITE REINFORCEMENT IN MASONRY

Die Verankerung und Vernadelung von geschädigtem oder nicht ausreichend tragfähigem Mauerwerk ist eine häufig angewendete Technologie bei der Erhaltung und Ertüchtigung historischer Bauwerke. Die Verwendung von Stabstahl bei der Verankerung von Mauerwerk hat dabei den Nachteil, dass ein entsprechender zementhaltiger Mörtel zur Gewährleistung des Korrosionsschutzes notwendig ist. Der Zement bringt Verträglichkeitsprobleme mit sich, wenn das Mauerwerk sulfathaltig ist. Es kommt zu einer Treibreaktion durch Ettringitbildung.

Faserverstärkte Kunststoffe stellen hier eine mögliche Alternative dar. Mit dem Forschungsvorhaben sollen wesentliche Grundlagen für den Einsatz von Faserverbundbewehrung zur Verankerung und Vernadelung von historischem Mauerwerk erforscht und praxisnahe Baustoffe und Technologien untersucht werden. Somit werden die Voraussetzungen für eine verbesserte Qualität des Baustoffeinsatzes in der Denkmalpflege bei der Sanierung von historischem Mauerwerk geschaffen. Die Lösungen sollen sich durch Nachhaltigkeit auszeichnen und den gestiegenen Anforderungen der Denkmalpflege

*When preserving and strengthening historical constructions, bracing and anchoring of damaged or insufficiently self-supporting masonry are technologies that are frequently applied. The use of a steel bar to brace masonry has the disadvantage that a suitable cement-containing mortar is required to ensure corrosion protection. But there are compatibility problems associated with cement if the masonry contains sulphate. An expansive reaction occurs through the formation of ettringite.*

*A potential alternative here is fibre-reinforced plastics. The intention of the research project is to research the key principles of fibre composite reinforcement used for the purpose of bracing and anchoring historical masonry and to examine building materials and technologies used in practice. This will help establish conditions that will enhance the quality of building materials' use in monument preservation when renovating historical masonry. The solutions must be sustainable and must be able to satisfy the increased demands being made in the area of monument preservation. Regarding the theoretical foundations, the professor for the*

gerecht werden. Zu den theoretischen Grundlagen führte die Professur für Tragwerksplanung der Fakultät Architektur umfangreiche experimentelle Untersuchungen zum Verbundverhalten durch. Für die Untersuchungen wurden Prüfkörper aus Natursandstein, variierenden Verpressmörteln und Ankern aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) bzw. kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) hergestellt. Unter Anwendung statischer Ausziehversuche mit großer und kleiner Verbundlänge konnten die Verbundspannungen im Verbundsystem ermittelt und ausgewertet werden.

Des Weiteren wurden die Torsionsanfälligkeit der Faserverbundwerkstoffe und das Vorspannverhalten im Mauerwerk unter Anwendung praxisnaher Technologien untersucht. Die durchgeführten statischen Stab-Ausziehversuche lieferten wichtige Ergebnisse zum Verbundverhalten der Verbundkomponenten. Es konnte nachgewiesen werden, dass die herkömmlichen Erztüchtigungsmethoden mit Stabstahl und Zement als Verpressmörtel durch die Verwendung von Faserverbundbewehrung und gipshaltigem Verpressmörtel im sulfathaltigen, historischen Mauerwerk ersetzt werden können.

Die experimentellen Untersuchungen des Verbundverhaltens stellen damit einen wichtigen Beitrag zur denkmalgerechten Erhaltung und Erztüchtigung von historischen Bauwerken dar.



Stab-Ausziehversuch, große Verbundlänge, GFK-Anker, Durchmesser 16 mm | *Bar pull-out test, large bond length GFRK anchor, diameter 16 mm* | *Photo: Hassan Youssef*

*structural design of the faculty of architecture performed extensive experimental analyses on the behaviour of composites. For the analyses, test bodies made of natural sandstone, varying grouting mortars and braces made of glass fibre reinforced plastics (GFRP) or carbon fibre reinforced plastics (CFRP) were produced. By performing structural pull-out tests, with large and small bonded lengths, it was possible to determine and analyse the bond stresses in the composite system.*

*Furthermore, the susceptibility to torsion of the fibre composite building materials and the pre-stress characteristics in the masonry were examined using technologies that are used in practice. The structural pull-out tests of the bars supplied important information on the behaviour of the composites in the composite components. It could be shown that conventional strengthening methods using a steel bar and cement as grouting mortar can be replaced by the use of fibre composite reinforcement and gypsum-containing grouting mortar in historical masonry containing sulphate.*

*For that reason, the experimental analyses of the behaviour of the composites represent an important contribution to the preservation and strengthening of historical constructions in ways suitable for monuments.*

► **Titel | Title**

Faserverbundwerkstoffe im historischen Mauerwerk  
*Fiber composite materials in historical masonry*

► **Förderer | Funding**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

► **Zeitraum | Period**

12.2015 – 11.2018

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger (Professur für Tragwerksplanung)

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Fabian Meyer, Dipl.-Ing. Hassan Youssef



# DAS INSTITUT



**MB1** Institut für  
Massivbau

**John F. Kennedy verwendete mehrfach in seinen Reden die Geschichte, wie Napoleon auf dem Feldherrenhügel stand, von dieser Anhöhe auf die quirligen Marschkolonnen unter sich herabschaute und dann nachdenklich gesagt haben soll: „Da gehen meine Leute. Ich muß herausfinden, wohin sie gehen, damit ich sie führen kann.“**

Unbekannt

Im Vordergrund unserer Arbeit stehen Forschung und Lehre. Das Gesamtbild unseres Instituts macht allerdings noch viel mehr aus. Es finden Exkursionen mit unseren Studierenden statt und für die Berufsorientierung betreiben wir Nachwuchsförderung in Schülerprojektwochen und bei öffentlichen Veranstaltungen. Den Wissenstransfer zwischen Forscherinnen und Forschern sowie Vertretern der Wirtschaft und der Politik intensivieren wir auf Treffen und Konferenzen. Teambildende Projekttag, sportliche Events, Ehrungen von ehemaligen Wegbegleitern und einiges mehr schaffen eine Vielfalt, die unsere tägliche wissenschaftliche Arbeit bereichert. Eine kleine Auswahl davon finden Sie auf den folgenden Seiten.

**Beiträge von:**

Olga Diring, Chris Gärtner, Stefan Gröschel,  
Sandra Kranich, Silke Scheerer und zum Teil  
aus dem BauBlog der Fakultät Bauingenieurwesen  
<http://baublog.tu-dresden.de>

# DEUTSCHER BRÜCKENBAUPREIS UND DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM



Voll besetzter Hörsaal zum 28. DBBS | Foto: Sabine Wellner

„Das Dresdner Brückenbausymposium hat sich seit seinem Beginn 1991 immer als Multiplikator guter Ideen, interessanter Innovationen und erfolgversprechender Technologien verstanden.“ So beschreibt Prof. Manfred Curbach vom Institut für Massivbau in seinem Vorwort zum diesjährigen Tagungsband die alljährliche Großveranstaltung der Dresdner Bauingenieure. Bereits zum 28. Mal organisierte das Institut für Massivbau am 13. März 2018 das Dresdner Brückenbausymposium. Sachsens größter Hörsaal, der Audimax im Hörsaalzentrum der TU Dresden, war bis auf den letzten Platz belegt. Mit insgesamt rund 1500 Anmeldungen brach das diesjährige Symposium sämtliche Teilnehmerrekorde.

Bereits am Vorabend bildete die Verleihung des Deutschen Brückenbaupreises, einer der bedeutendsten Auszeichnungen für Bauingenieure in Deutschland, den Auftakt. Seit 2006 wird dieser Preis von der Bundesingenieurkammer (BInGK) und dem Verband Beratender Ingenieure VBI zweijährlich verliehen. Zur Preisverleihung waren hochrangige Gäste anwesend; Grußworte überbrachten unter anderem Sachsens Ministerpräsident Michael Kretschmer, der Staatssekretär des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur Rainer Bomba in Funktion des Schirmherren der Veranstaltung, sowie der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen. Als Preisträger in den zwei

Kategorien „Straßen- und Eisenbahnbrücken“ und „Fuß- und Radwegbrücken“ wurden in diesem Jahr die Bleichinselbrücke Heilbronn (maßgeblich verantwortlicher Ingenieur ist Dipl.-Ing. Andreas Keil) und die Schaukelbrücke im Park an der Ilm in Weimar (Dipl.-Ing. Architekt Johann Philipp Jung und Dipl.-Ing. Oliver Hahn) ausgezeichnet.

Wie am Abend begonnen, sollten der fachliche Anspruch auch über den gesamten Folgetag des Symposiums sehr hoch und die Vortragenden ambitioniert bleiben. Mit zwölf Fachbeiträgen boten renommierte Ingenieure und Ingenieurinnen Einblicke in beeindruckende Projekte und stellten neue bauspezifische Lösungsansätze vor. Gleich der erste Vortrag behandelte ein Kernthema der Teilnehmer und Teilnehmerinnen: Bauwerksentwürfe nach RE-ING. RE-ING – das sind 2017 eingeführte Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten. TRDir. Prof. Gero Marzahn gab einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Richtlinien, wichtige Neuerungen und auch darüber, welche Themen aktuell in Arbeit und in Vorbereitung sind. Interessante neue Brücken stellten zum einen Prof. Jan Akkermann (KREBS+KIEFER Karlsruhe) und Dipl.-Ing. Bartłomiej Halaczek (Knight Architects, High Wycombe, UK) vor. Sie berichteten über den Bau der Kienlesbergbrücke in Ulm, die u. a. eine neue Straßenbahnlinie über mehrere Gleise

der DB AG in einem eleganten Schwung überführt und somit Teil der „größten Verkehrsinfrastrukturmaßnahme der Stadtgeschichte“ ist. Zum anderen entführte Volkhard Angelmaier (LAP Stuttgart) die Zuhörer mit atemberaubend schönen Bildern in die Bergwelt der Schweiz, wo seit Juni 2017 eine neue Betonbogenbrücke entsteht.

Um große Spannweiten und filigrane Brücken ging es auch im Vortrag von Prof. Svensson (TU Dresden), der als Vertreter für Prof. Ge (Tongji University, China) über Schrägkabelbrücken heute und morgen mit Fokus auf China und aerodynamische Aspekte bei Entwurf, Berechnung und Konstruktion von Schrägkabelbrücken berichtete. Um semi-integrale Brücken auf der Neubaustrecke Erfurt-Leipzig/Halle drehte sich alles beim Vortrag von Prof. Steffen Marx. Da dieser Brückentyp ursprünglich im Entwurfskonzept für das Hochgeschwindigkeitsnetz der DB AG so nicht vorgesehen war, hatte das Eisenbahnbundesamt begleitende Messungen z. B. von tatsächlichen Verformungen bei verschiedenen Beanspruchungen und zur Erfassung des Langzeitverhaltens gefordert.

Neben dem Neubau von Brücken war wie schon in den vorangegangenen Jahren auch der Umgang mit bestehenden Bauwerken ein thematischer Schwerpunkt der Tagung. Den Anfang machte Dr.-Ing. Karlheinz Haveresch vom Landesbetrieb Straßenbau NRW. Am Beispiel der Siegtalbrücke zeigte er Möglichkeiten und Grenzen der Nachrechnungsrichtlinie auf und legte häufige Defizite bei älteren Spannbetonbrücken im Bestand dar. Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka (IB Schießl Gehlen Sodeikat, München) stellte anhand von ausgewählten Beispielen typische Schäden, meist eine Folge des hohen Chlorideintrags, an Brücken und Tunneln exemplarisch vor. Passend zu dieser Thematik stellte Assoc. Prof. Alfred Strauss (Universität für Bodenkultur, Wien) das europäische Forschungsprojekt COST Action TU1406 vor, dessen Ziel es ist, „eine in Europa allgemein gültige Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen zu entwickeln.“

Nicht in jedem Fall gelingt es aber, Bestandsbrücken zu erhalten. Nachdem beim Brückenbausymposium 2016 bereits über den

Neubau der Lahntalbrücke Limburg berichtet worden war, stellte Dr.-Ing. Stefan Franz (DEGES) in diesem Jahr den Abbruch der alten Lahntalbrücke vor, ein explosives Thema im wahrsten Sinne des Wortes.

Das Vortragsprogramm wurde durch Dr.-Ing. David Fernández-Ordóñez (fib, Lausanne) mit einem Beitrag über den bedeutenden Brückenbauer und Spannbetonpionier Eugène Freyssinet (1879–1962) und Prof. Jens Otto (TU Dresden) abgerundet, der einen Überblick über Einsatzmöglichkeiten und Potentiale unbemannter Flugsysteme im Brückenbau gab. Den Abschluss bildet ein Vortrag von Dr.-Ing. Dirk Proske (Axpo Power AG, Döttingen, Schweiz), der interessante Einblicke in das Thema „Versagenshäufigkeit und Versagenswahrscheinlichkeit von Brücken“ gab.

Wie in jedem Jahr fand im Foyer des Hörsaalzentrums der TU Dresden eine Firmenausstellung statt. Mehr als 70 Firmen, Vereine, Verbände und Institutionen rund um den Brückenbau waren vertreten und sorgten für einen informativen Rahmen.



Impressionen Brückenbaupreis und Brückenbausymposium 2018 | Fotos: Sabine Wellner und Dajana Musiol

# „FÄRDSCH“. SCHWERPUNKTPROGRAMM (SPP) 1542 ERFOLGREICH ABGESCHLOSSEN

Vor etwas mehr als sieben Jahren haben sich Bauingenieure, Architekten, Maschinenbauer und Mathematiker aus ganz Deutschland im Schwerpunktprogramm „Leicht Bauen mit Beton“ zusammengefunden, um Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit Beton zu erforschen.

Das Bauwesen gehört weltweit zu den wachstumsstärksten Industriezweigen. Es war an der Zeit, einen Paradigmenwechsel im Bauwesen einzuleiten. Ein verantwortungsvoller Umgang mit Ressourcen und Energie von der Bereitstellung der Ausgangsstoffe für Beton bis hin zu Wiederverwendbarkeit und Recycling von (Teilen von) Baukonstruktionen, verbunden mit einer Rückbesinnung auf Ästhetik und Baukunst im wörtlichen Sinne – dies sollte das Ziel der Bauschaffenden heute und auch in Zukunft sein.



Vorstellung der Teilprojekte und Vorhaben | Foto Stefan Gröschel

Die Forschung im Schwerpunktprogramm 1542 nach dem Grundprinzip „*form follows force*“ setzte bei dieser Idee an und soll als Ergebnis die Grundlagen für einen gewandelten Betonbau in der Zukunft bereitstellen.

In den vergangenen sieben Jahren wurde unter der Koordination von Prof. Manfred Curbach (TU Dresden, Institut Massivbau) in zwei Förderphasen hochqualitative und engagierte interdisziplinäre Forschungsarbeit geleistet. Regelmäßige Jahres- und zusätzliche Arbeitsgruppentreffen boten die Möglichkeit zur Vorstellung von Projektständen und zur Diskussion von Ergebnissen und/oder Problemen. Das vorerst letzte offizielle Treffen im Rahmen des SPP 1542 fand an der TU Dresden vom 17.09.

bis 19.09.2018 statt. Das Schlusskolloquium stand unter dem passenden Motto: „färdsch“ (für alle Nichtsachsen: eine hier häufig benutzte Formulierung für „Fertig“).

Ein Willkommens-Grillen auf dem Gelände des Otto-Mohr-Laboratoriums bildete am Montag den Auftakt des Treffens. Eine lockere Atmosphäre und gegrillte Köstlichkeiten sorgten für einen angenehmen Abend und gute Stimmung – ein gelungenes Wiedersehen.



Prof. Manfred Curbach und Prof. Jürgen Schnell | Foto: Stefan Gröschel

Am Dienstag und Mittwoch nutzen die Teilnehmer\*innen die Möglichkeit, ihre jeweiligen Teilprojekte und Vorhaben zusammenfassend darzustellen und den Austausch untereinander zu pflegen. Bei guten Gesprächen konnte das Fachwissen im weiteren Verlauf auch in einem anderen Fachgebiet erweitert werden. Eine Führung in der Gläsernen Manufaktur von Volkswagen bot viele Informationen über die Geschichte der innerstädtischen Manufaktur und die Entwicklung der Elektromobilität



DIE GLÄSERNE MANUFAKTUR | Foto: Stefan Gröschel

allgemein. Eindrucksvolle Einblicke gewährte die Produktionslinie des E-Golfs. Hier werden an einem Tag aktuell über 70 Fahrzeuge gefertigt, die einzelnen Arbeitsschritte sind während des Rundgangs angenehm nachvollziehbar und durch die moderne und offene Architektur transparent gestaltet. Bei sächsischen Köstlichkeiten klang der Abend im bekannten und traditionsreichen Restaurant Carolaschlösschen im großen Garten aus.

Zum Abschluss der Tagung sprach Koordinator Manfred Curbach allen Beteiligten seinen Dank aus. Ganz zu Ende ist das SPP aber noch nicht. Noch sind nicht alle Projekte abgeschlossen, das gemeinsame Abschlussbuch ist in Arbeit. Zudem sind aus der hervorragenden Zusammenarbeit bereits Forschungstransferprojekte initiiert worden, weitere gemeinsame Ideen wurden abgestimmt und sollen in naher Zukunft verwirklicht werden



Die Teilnehmer\*innen der Abschlusstagung | Foto: Stefan Gröschel



Abendveranstaltung im Carolaschlösschen | Foto: Stefan Gröschel

## SÄCHSISCHER UMWELTMINISTER SCHMIDT FASZINIERT VON CARBONBETON

Carbonbeton galt lange als Geheimtipp in der Baubranche, wurde inzwischen mehrfach ausgezeichnet und revolutioniert seit einiger Zeit sein Fachgebiet. Das schlanke Design von Carbonbeton eröffnet Formgebungsmöglichkeiten, die mit Stahlbeton undenkbar wären. Bauteile aus diesem Verbundwerkstoff werden dabei wesentlich leichter und tragfähiger bei Volumengleichheit, langlebiger und materialseitig ökologisch sinnvoller als in Stahlbetonbauweise. Ein Erfolg, der sich herumgesprochen hat. Carbonbeton ist auf dem Vormarsch und so populär, wie noch nie. Dies gab auch dem Sächsischen Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft – Thomas Schmidt – Anlass, am 5. Januar 2018 das Otto-Mohr-Laboratorium der Technischen Universität Dresden zu besuchen.



Staatsminister Schmidt zu Besuch im OML | Foto: Sven Hofmann

# VON 18 BIS 1 MACHT JEDER SCIENCE!

Die Lange Nacht der Wissenschaften am 15. Juni 2018



Länger als andere Nächte ist sie ja eigentlich nicht – eher bunter, lauter, interessanter und gefüllt mit ganz viel Leben auf den Straßen und Plätzen. Es ist die Nacht, in der sich der Wissenschaftsstandort Dresden zwischen altherwürdigen Universitätsgebäuden und hochmodernen Laboren auf dem Dresdner Campus mit vielen kleinen Aktionen, Versuchen, Vorträgen und Experimenten einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. 39.000 Besucher waren da, um neue Einblicke in die Dresdner Forschungslandschaft zu bekommen, viele schauten auch bei uns Bauingenieuren vorbei. Auch diesmal war das Interesse am gläsernen Trampolin, daran, einmal selbst einen echten Bagger zu steuern, als Juniorbaumeister ausgezeichnet zu werden oder sich im Stärkebad zu tummeln, groß.



Impressionen von der Langen Nacht der Wissenschaften 2018 | Alle Fotos: Stefan Gröschel

# DIE 10. CARBON- UND TEXTILBETONTAGE IN DRESDEN – EIN VOLLER ERFOLG!



Die Eröffnung der 10. Carbon- und Textilbetontage 2018 im Deutschen Hygiene-Museum Dresden | Foto: Stefan Gröschel

Einmal im Jahr treffen sich zahlreiche renommierte Fachleute der deutschsprachigen Bauwirtschaft in Dresden, um den Konferenzteilnehmern der Carbon- und Textilbetontage einen Einblick in die neusten Erkenntnisse aus Forschung und Praxis zu geben. Am 25. September 2018 war es wieder soweit; um 9:00 Uhr eröffnete Ulrich Assmann, Vorstand des TUDALIT e. V., die 10. Carbon- und Textilbetontage im Deutschen Hygiene-Museum und begrüßte die über 300 Tagungsteilnehmer. Dem Grußwort von Prof. Vogel, Direktor der Stiftung Deutsches Hygiene-Museum, folgte ein fulminanter, von Spannung, Humor und Dramatik geprägter Vortrag von einem der weltbesten Fußballschiedsrichter – Urs Meier. In seinem Vortrag „Zwischen den Fronten – Entscheidungen unter Druck“ zeigte Urs Meier die Parallelen der Entscheidungsfindung im Schiedsrichterdasein und bei Führungskräften der Wirtschaft auf.

Welche Entscheidungen mitunter in der Forschung und Wirtschaft von Carbon- und Textilbeton zu treffen sind, wie verschiedene Prozesse optimiert und bestimmte Versuchsergebnisse eingeordnet werden können, zeigte sich in einzelnen Fachvorträgen der Tagung. In den praxisnahen Vorträgen – von Bausatzkomponenten, über



Der Vorstandsvorsitzender des TUDALIT e. V. Ulrich Assmann, bei seinen Grußworten | Foto: Stefan Gröschel

Neubau, Sanierung, Einbauteile, Planung, Bemessung und Normung bis hin zu Experimenten, Vernetzung mit anderen Branchen, Arbeitsschutzanforderungen und Recycling – gaben Referenten interessante Einblicke in ihre jeweiligen Projekte. Die besondere Relevanz der Themen spiegelte sich dabei auch in den zahlreichen Diskussionen und Fragen der Tagungsteilnehmer wieder. So zeigte sich großes Interesse an Themen wie „Entwicklung von Prüfmethoden zur Bestimmung der Zugfestigkeit von textilen Bewehrungen“, „Instandsetzung von geschädigten Betonfahrbahndecken mit Carbonbeton“,

„Brandverhalten“ oder auch „Ermittlung von Materialkennwerten für die Bemessung von textilbewehrten Bauteilen“.

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Mitorganisator der Veranstaltung und Vertreter des C<sup>3</sup>-Vorstandes, zeigte sich zufrieden: „Mit 51 Vorträgen konnten wir den Teilnehmern an zwei Tagen ein erneut kompaktes und umfangreiches Tagungsformat bieten. Zudem konnten wir auch ein größeres Interesse auf internationaler Ebene feststellen. So haben Akteure des Bauwesens aus Frankreich, Österreich, Schweden, Südkorea, Schweiz, Syrien und Vietnam teilgenommen – ein Aspekt, der uns freut und zeigt, dass wir mit unserer Veranstaltung auch thematisch auf dem richtigen Weg sind“.

Im Ausstellerbereich konnten sich die Teilnehmer über Innovationen und aktuelle Produkte im Bereich des Carbon- und Textilbetons informieren und mit den jeweiligen Ansprechpartnern ins Gespräch kommen. Führende Unternehmen und Institutionen der Carbon- und Textilbetonbauweise standen Interessenten Rede und Antwort.

Mit den 10. Carbon- und Textilbetontagen hat sich einmal mehr gezeigt, welchen enormen Stellenwert neues, nachhaltiges und innovatives Bauen besitzt. Gleichzeitig tragen Konferenzen wie diese erheblich dazu bei, die Carbon- und Textilbetonbauweise in der Praxis dauerhaft zu etablieren.

Nach der Konferenz ist bekanntlich vor der Konferenz: Vom 24. bis 25. September 2019 finden die 11. Carbon- und Textilbetontage mit interessanten Themen, renommierten Referenten\*innen und zahlreichen Ausstellern in Dresden statt.



Auf die Teilnehmer\*innen warteten 51 Vorträge an zwei Tagen.



Die zahlreichen Fachvorträge fanden parallel in zwei Konferenzräumen statt. Hier Dipl.-Ing. Egbert Müller bei seinem Vortrag „Nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton“.



An den Ständen der Aussteller konnten sich die Konferenzteilnehmer\*innen über die aktuellen Praxis-Entwicklungen im Bereich Carbon- und Textilbeton informieren.



Der abendliche Empfang am ersten Konferenztage gab Gelegenheit zu weiteren interessanten Gesprächen. | Alle Fotos: Stefan Gröschel

## PREISE UND EHRUNGEN

### Prof. Curbach mit Wackerbarth-Medaille gewürdigt

Im Rahmen des diesjährigen Ingenieurkammertages erhielt Prof. Manfred Curbach, Institutsdirektor des Instituts für Massivbau an der TU Dresden, die „Wackerbarth-Medaille“. Mit dieser Auszeichnung würdigt die Ingenieurkammer Sachsen seine langjährige, über die Grenzen der Bundesrepublik hinaus anerkannte wissenschaftliche Arbeit sowie sein Engagement für das international anerkannte Brückenbausymposium.



Prof. Manfred Curbach (links) erhält die Wackerbarth-Medaille von Prof. Dr.-Ing. Hubertus Milke, Präsident der Ingenieurkammer Sachsen | Foto: Tobias Sauer, Stefan Gröschel

### Dresden Congress Award für das 28. Dresdner Brückenbausymposium

Bereits 1991 startete Professor Jürgen Stritzke mit einem Kongress über Brückenbau in Dresden. Im März 2019 Jahres findet das inzwischen 29. Dresdner Brückenbausymposium (DBBS) statt.

Das DBBS hat sich seit seinem Beginn immer als Multiplikator guter Ideen, interessanter Innovationen und erfolgversprechender Technologien verstanden und entwickelte sich zur größten Veranstaltung ihrer Art im deutschsprachigen Raum. Es ist ein idealer Treffpunkt für den Erfahrungsaustausch über Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken für alle am Bau Beteiligten und Interessierten. Dieses Engagement für die große Familie der Brückenbauer\*innen und auch für den Kongressstandort Dresden wurde am 15. November 2018 mit dem Dresden Congress Award in der Kategorie Kontinuität ausgezeichnet.

Der Dresden Congress Award – gern auch „Oscar der Kongressbranche“ genannt –, würdigt engagierte Wissenschaftler, Unternehmer und Kongressveranstalter, die Kongresse und Tagungen erfolgreich in Dresden durchgeführt haben.



Prof. Manfred Curbach (links im Bild) und Prof. Jürgen Stritzke erhalten den Dresden Congress Award für das 28. Dresdner Brückenbausymposium 2018 | Foto: Angela Heller

## Preisverleihung auf der EXPO REAL in München

Am 10. Oktober 2018 erhielten auf der EXPO REAL (Internationale Fachmesse für Immobilien und Investitionen) in München zwei Absolventen unserer Fakultät – Herr Oliver Mosig und Herr Benjamin Schmidt – für ihre erstklassigen Studienleistungen und insbesondere herausragende Abschlussarbeiten von der Wolfgang-Dürr-Stiftung in Verbindung mit der WOLFF & MÜLLER Personalentwicklung GmbH eine Auszeichnung mit einem Preisgeld in Höhe von je 1000 Euro.



Benjamin Schmidt (links) und Oliver Mosig zur Preisverleihung in München | Foto: Silke Dorethe Götte

## 50 Jahre Promotion von Dr.-Ing. Achim Natzschka

Herr Dr.-Ing. Achim Natzschka kann auf ein bewegtes Arbeitsleben zurückblicken. Der 1931 in Dresden geborene Bauingenieur erzählte im Januar 2018 davon im Fakultätsrat. Dr. Natzschka berichtet über seine Arbeit als Bauingenieur.

Unter anderem über politische Schwierigkeiten zu DDR-Zeiten im Studium aufgrund seiner bürgerlich-christlichen Prägung durch sein Elternhaus und seine späteren Berechnungen von Bauwerken in der damals aufkommenden Plattenbauweise, die er noch ohne die Nutzung heutiger modernster Rechenmodelle und -technik, sondern klassisch mit Stift und Rechenschieber durchführen musste. Warum er davon erzählte? Ein besonderer Anlass gab ihm die Gelegenheit dazu.

Ihm wurde am 17.01.2018 vom Dekan, Prof. Ivo Herle, die goldene Promotionsurkunde überreicht. Die Verleihung des akademischen Grades jährte sich im Dezember 2017 zum fünfzigsten Mal, nachdem ihm am

19.12.1967 in einem ordnungsgemäßen Promotionsverfahren mit der Dissertation zum Thema „Untersuchungen zur Ermittlung der tatsächlichen Steifigkeit von Großtafelbauten bei horizontaler Belastung – Theorie und Versuch“ die wissenschaftliche Befähigung nachgewiesen werden konnte.



Dr. Natzschka berichtet über seine Arbeit als Bauingenieur | Foto: Sven Hofmann

## Festveranstaltung 50 Jahre Diplom

Das Wetter zeigte sich am 13. Oktober 2018 von seiner besten Seite, es war ein warmer und auffallend schöner goldener Herbsttag. Passend dazu durften die Absolventinnen und Absolventen des Bauingenieurwesens der TU Dresden ein Goldenes Jubiläum begehen. Vor nunmehr 50 Jahren beendete der 1968er Jahrgang sein Studium und es war an der Zeit, die Ehre des Goldenen Diploms entgegenzunehmen. Im stilvollen Rektoratsgebäude auf der Mommsenstraße empfingen der Rektor der TU Dresden, Prof. Dr. Hans Müller-Steinhagen, und Institutsdirektor Prof. Manfred Curbach die zahlreichen geladenen Gäste.

Rektor Müller-Steinhagen übermittelte die offiziellen Glückwünsche der Technischen Universität und brachte seine Anerkennung zum Ausdruck. In den vergangenen 50 Jahren ist viel passiert – der Prager Frühling, die Auflösung der Sowjetunion und die Wiedervereinigung Deutschlands mit dem damit verbundenen Aufschwung Ost. Vieles wurde nach langen Jahren der baulichen Vernachlässigung neu errichtet oder instand gesetzt. Besonders hervorzuheben ist hier der gelungene Wiederaufbau der Dresdner Frauenkirche unter der Führung des anwesenden Absolventen Eberhard Burger. Für seine hervorragenden Leistungen wurde er unter anderem mit dem Bundesverdienstkreuz ausgezeichnet.

In seiner Präsentation gab Prof. Curbach einen Einblick in die aktuelle Situation des Beyer-Baus – die ehemalige Wirkungsstätte der Absolventen wird saniert und ist momentan nicht für die Öffentlichkeit zugänglich.

Offizielle Goldene Diplomurkunden der TU Dresden werden seit dem Herbst 2017 überreicht.



Prof. Manfred Curbach referiert über den Beyer-Bau



Unter den Jubilaren befand sich auch ein Promi – Eberhard Burger, ehemals Leiter des Wiederaufbaus der Dresdner Frauenkirche (im Bild mit Prof. Curbach und Rektor Müller-Steinhagen)



Ein Wiedersehen nach 50 Jahren | Alle Fotos: Olga Diring

# INSTITUTSVERANSTALTUNGEN

## Ist das Kunst?

Das hört Architekt Gerd Priebe neuerdings öfter, wenn Passanten an der Bautzner Str. 76 in Dresden vorbeigehen und interessiert auf die graue übergroße, etwas an ein Ufo erinnernde Linse vor dem Kutscherhaus schauen.

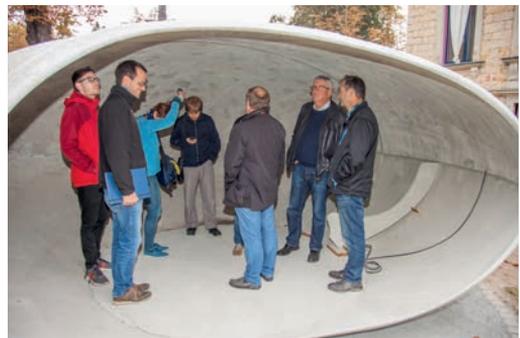
Teilweise kommen die Leute auch einfach auf das Gelände, um das Objekt von allen Seiten betrachten zu können, sagt Priebe mit einem Schmunzeln im Gesicht. In der zur Straße abgewandten Seite befindet sich eine große Öffnung, der Blickfang an der viel befahrenen Hauptstraße ist begehbar und stellt einen Pavillon dar. Das Team vom Institut für Massivbau folgte der Einladung des Architekten und nutzte die Möglichkeit, einen genaueren Blick auf die Schalenkonstruktion werfen zu können.

Das runde Häuschen wurde mit dem Beton der Zukunft erbaut – dem Carbonbeton. Anders als gewöhnlicher Stahlbeton enthält Carbonbeton im Inneren keine schwere Stahlbewehrung, sondern ein dünnes Gerüst aus Carbonfasern. Die Schalen des Pavillons sind dabei lediglich zwischen 2,5 und 5 cm dick und weisen den Weg zu einem neuen Typus moderner und leichter Gebäude. Der formschöne Baukörper wird in den nächsten Jahren als Studienobjekt dienen, verschiedene Tests sollen z. B. das Schwingungs- und Verformungsverhalten sowie die Rissbildung untersuchen.

Architekt Priebe nimmt die Herausforderungen unserer Zeit an und setzt auf das Leitmotiv: „Mehr mit weniger. Mehr Qualität, mehr Konsistenz – weniger Ressourcenbedarf und weniger CO<sub>2</sub>-Belastung“. Neben der weiteren Forschung und Entwicklung an neuen Lösungen, Formen, Konstruktionen und Herstellungsverfahren plant er mittelfristig die Herstellung einer Wohnlinse mit einem Durchmesser von 18,0 m.



Besichtigung des Carbonbeton-Pavillons in Dresden



Sitzgelegenheiten werden den Pavillon noch ergänzen



Gerd Priebe stellt das Projekt vor und beantwortet Fragen



Gelege für die geschwungene Form des Pavillons |  
Alle Fotos: Stefan Gröschel

# LAUFFREUDIGE BAUINGENIEURE BEI DER REWE TEAM CHALLENGE

20.000 Läufer und Läuferinnen aus etwa 1.800 Organisationen, Vereinen und Unternehmen nahmen in diesem Jahr an der Rewe Team Challenge teil, darunter auch Mitarbeiter\*innen des Instituts.

gen im oberen Drittel der Gruppenwertung. Nach dem Lauf ist vor dem Lauf, deshalb trainieren wir fleißig und freuen wir uns schon alle wieder auf die neue Challenge im nächsten Jahr.

Motiviert durch die guten Erfahrungen des Vorjahres fanden sich gleich drei Teams am IMB für den 5 Kilometer langen Lauf am 23. Mai 2018. Das zehnjährige Jubiläum der Rewe Team Challenge lockte besonders viele Zuschauer an, welche die Läufer\*innen auf dem Weg vom Altmarkt zum prall gefüllten DDV-Stadion motivierend anfeuerten. Die lauffreudige und motivierte Mannschaft des IMB belegte Platzierung



Das hoch motivierte Team des IMB | Foto: Alexander Schumann

# PROJEKTTAG – HELLERAU UND HEIDE

Sonniges Wetter erwartete uns am Morgen des Projekttag am 24. Mai 2018 vor dem Festspielhaus in Hellerau. Aufgeteilt in zwei Gruppen besichtigten wir unter professioneller Führung das 1911 nach einem Entwurf des Architekten Heinrich Tessenow erbaute Festspielhaus. Das zur damaligen „Bildungsanstalt für Musik und Rhythmik Émile Jaques-Dalcroze“ gehörende Schulgebäude beeindruckt Besucher besonders durch seinen schlichten, funktionalen Stil.



Festspielhaus Hellerau | Foto: Klaus Gigga

Von dort aus ging es zu Fuß etwa fünf Kilometer durch die Dresdner Heide zum berühmten Ausflugsort „Landgut Hofewiese“. Bei Speis und Trank genossen wir interessante Gespräche mit Kollegen und Kolleginnen oder die eine oder andere sportliche Aktivität in der Natur. Gestärkt und glücklich ging es zu Fuß zurück zum Ausgangspunkt unserer Wanderung.



Großer Saal im Festspielhaus Hellerau | Foto: Peter R. Fiebig

# JAHRESAUSKLANG IM OTTO-MOHR-LABORATORIUM

Die diesjährige Weihnachtsfeier des Instituts für Massivbau fand Mitte Dezember wieder in der großen Versuchshalle des Otto-Mohr-Laboratoriums statt. Direkt neben den großen Prüfmaschinen wurde eine lange Tafel für fast 70 Gäste aufgebaut. Eingedeckt mit traditionellem Christstollen, kleinen Naschereien, Obst sowie Kaffee und Tee brachte sie ein wenig Gemütlichkeit in die technische Umgebung und sorgte für ein entspanntes Beisammensein aller Kollegen\*innen, zu denen sich auch viele ehemalige Mitarbeiter gesellten. Institutsdirektor Prof. Curbach blickte auf das Jahr 2018 zurück und bedankte sich bei allen für die geleistete Arbeit und ihr Engagement. Anschließend gab er einen kleinen Ausblick auf das kommende Jahr mit dessen vielfältigen Aufgaben.

Im kulturellen Teil des Nachmittages konnte jeder sein Wissen bei einem Quiz unter Beweis stellen. Gefragt waren allgemeine Informationen und Fakten zur TU Dresden, der Fakultät Bauingenieurwesen sowie ein gutes Gehör, um rückwärts abgespielte Weihnachtslieder korrekt erraten zu können.

Die weitere akustische Ausgestaltung übernahm ein Quartett des Akkordeonorchesters „da Capo AL FINE“ aus Dresden. Sie füllten die Halle mit warmen weihnachtlichen Klängen, während das Organisationsteam bereits das Abendessen vorbereitete. Mit geselligem Essen, netten Gesprächen und der einen oder anderen Partie am Betonkicker klang der Abend ruhig aus.



Ein lange Tafel für fast 70 Gäste, umgeben von Prüfmaschinen



Prof. Manfred Curbach bedankt sich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die geleistete Arbeit



Der Betonkicker sorgte wieder für viel Spannung und Spaß



Ein Quartett vom Akkordeonorchester da Capo AL FINE spielte angenehme Weihnachtsmusik | Alle Fotos: Stefan Gröschel



Dipl.-Ing. Daniel Ehlig (Mitte) verteidigte Ende 2018 erfolgreich seine Dissertation und darf sich nun bald Dr.-Ing. nennen | Dipl.-Ing. Daniel Ehlig's (in the middle) successful defense was in the end of 2018 | Photo: Katrin Hansens

## PROMOTIONEN



**Daniel Ehlig**

### **TRAGVERHALTEN VON CARBONBETON ALS BIEGEVERSTÄRKUNG VON STAHLBE- TONPLATTEN UNTER BRANDBELASTUNG**

*LOAD-BEARING BEHAVIOUR OF CARBON CONCRETE AS  
BENDING REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE  
SLABS UNDER FIRE LOAD*

Carbonbeton zur Verstärkung von Stahlbetonbauteilen wird von der Bauwirtschaft als eine vielversprechende Alternative gegenüber den derzeit etablierten Verfahren wahrgenommen. Bisherige bauaufsichtliche Zulassungen und Zustimmungen für diese Bauweise klammern Fragestellungen zum Tragverhalten unter Brand weitestgehend aus, da auf diesem Gebiet kaum gesicherte Forschungsergebnisse vorhanden sind.

*Carbon reinforced concrete for the strengthening of steel reinforced concrete components is perceived by the construction industry as a promising alternative to the currently established construction methods. Previous building authority approvals and approvals for this construction method largely exclude questions of load-bearing behaviour in case of fire, since there are hardly any reliable research results available.*

In der Dissertation werden experimentelle Untersuchungen beschrieben, mit denen Informationen über den Einfluss einer Temperaturbelastung auf das Trag- und Verformungsverhalten von Carbonbeton in Abhängigkeit von der Temperaturfeldentwicklung sowie der statischen Belastung gewonnen werden können. Erläutert werden die Durchführung, Auswertung und Ergebnisse der thermogravimetrische Analysen der Carbonbewehrung, Zugversuche am Verbundwerkstoff Carbonbeton sowie Biegeversuche an carbonbetonverstärkten Stahlbetonplatten.

Als wesentliches Ergebnis der theoretischen Untersuchungen wird ein Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Tragfähigkeit verstärkter Stahlbetonplatten für den Lastfall Brand präsentiert. Dieses Berechnungsverfahren dient u. a. dazu, ein grundlegendes Verständnis über das Trag- und Verformungsverhalten unter Hochtemperatur zu erhalten und eine Klassifizierung von Bauteilen nach den gesetzlichen Anforderungen vornehmen zu können.

Diese Dissertation stellt somit eine wesentliche Grundlage für die weitere Forschung auf dem Gebiet des Hochtemperaturverhaltes von Carbonbeton und ein breiteres Anwendungsspektrum für Verstärkungen mit Carbonbeton im Hochbau dar.

*The dissertation describes experimental investigations with which information can be obtained on the influence of a temperature load on the load-bearing and deformation behaviour of carbon concrete as a function of temperature field development and static load. The performance, evaluation and results of the thermogravimetric analyses of the carbon reinforcement, tensile tests on the composite material carbon concrete as well as bending tests on carbon concrete reinforced concrete slabs are explained.*

*As an essential result of the theoretical investigations, a calculation method for determining the load-bearing capacity of reinforced concrete slabs for the fire case is presented. This calculation method serves, among other things, to obtain a basic understanding of the load-bearing and deformation behaviour under high temperature and to classify components in accordance with the legal requirements.*

*This dissertation thus represents an essential basis for further research in the field of high-temperature behaviour of carbon concrete and a broader application spectrum for reinforcements with carbon concrete in building construction.*



Stahlbetonplatte verstärkt mit Carbonbeton unter Brandbelastung | Steel reinforced concrete slab strengthened with carbon concrete under fire exposure | Photo: Sven Hofmann

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
 Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Harald Budelmann  
 Prof. Dr.-Ing. Andreas Rogge

Evmorfia Panteki

# EINE FINITE-ELEMENTE-ANALYSE ZUM VERBUNDVERHALTEN UNTER HOHEN BELASTUNGSGESCHWINDIGKEITEN

## A FINITE ELEMENT ANALYSIS OF BOND OF REINFORCEMENT UNDER HIGH LOADING RATES

Der Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl ist von großer Bedeutung für die Tragfähigkeit von Stahlbetonkonstruktionen. Unter statischen Bedingungen wurde er bereits intensiv untersucht. Vergleichsweise wenig erforscht ist er hingegen unter dynamischer Belastung. Experimentelle Studien deuten darauf hin, dass mit zunehmender dynamischer Belastung eine Erhöhung der Festigkeit bzw. des Widerstands einhergeht. Das als Dehnraten- bzw. Belastungsrateneffekt bekannte Phänomen und seine Ursachen sind nicht abschließend geklärt.

Diese Dissertation untersuchte das belastungsratenabhängige Verbundverhalten zwischen Beton und Bewehrungsstahl numerisch. Finite-Elemente-Analysen mit dem Fokus auf strukturellen und trägheitsbedingten Effekten wurden durchgeführt. Die Modellierung wurde auf Rippenebene realisiert, sodass der Verbund vorwiegend durch die mechanische Interaktion zwischen Beton und Bewehrungsstahl zustande kommt. Die Eignung, Plausibilität und Einschränkungen des Modells wurden mittels numerischer Fallstudien erfasst. Numerische Parameterstudien folgten. Die Abhängigkeit des Verbundverhaltens von der Belastungsrate wurde dargestellt, belastungsratenabhängige Eigenschaften wurden identifiziert und Rückschlüsse auf Ursachen des Phänomens gezogen. Es wurde gezeigt, dass der Belastungsrateneffekt maßgeblich von strukturellen Effekten bestimmt wird. Ebenfalls von Bedeutung sind hydrostatische Spannungszustände und trägheitsbedingte Effekte.

*The bond between concrete and reinforcing steel is fundamental to the load bearing capacity of reinforced concrete structures. It has been investigated intensively under static conditions. By contrast, comparably little attention has been paid to its investigation under dynamic loading. Several experimental studies indicate strength or rather resistance enhancements coming with increasingly dynamic loading. The phenomenon is known as strain or loading rate effect and its causes are still not fully clarified.*

*This dissertation provides a numerical view of the bond of reinforcement in concrete and investigates its loading rate dependent behaviour. Finite element analyses focusing on structural and inertia effects were carried out. Modelling was conducted at the rib scale, where bond is predominately controlled by mechanical interaction. In the first step, the model was developed and calibrated. Its quality, credibility, and limitations were assessed by a series of numerical case studies and the results are compared with available experimental data. Numerical parametric studies followed. The loading rate dependence of bond was featured, loading rate dependent characteristics were identified and conclusions on causes of the phenomenon drawn. It was shown that structural effects are strongly involved and the same holds for hydrostatic pressure stress states and inertia effects.*

Der Einfluss der Betoninhomogenität auf das belastungsrateabhängige Verbundverhalten wurde ebenfalls untersucht. Das Modell wurde modifiziert und Zufallsfelder wurden implementiert. Je höher die Belastungsrate war, desto ausgeprägter streuten die Ergebnisse. Dies impliziert, dass unter dynamischer Belastung im Vergleich zu statischer Belastung eine größere Anzahl an Versuchen für die statistische Absicherung der Ergebnisse notwendig ist.

*Examination of the influence of concrete inhomogeneity on the loading rate dependent behaviour of bond was also undertaken. The model was modified and random distribution fields were implemented. The higher the loading rate was, the more pronounced the scattering of data was found. This implicates that a larger number of tests is necessary to provide an adequate statistical basis for results achieved under dynamic loading as compared to static loading.*



Finite-Elemente-Analyse zum Verbundverhalten auf Rippenebene mit Versuchskörper im Hintergrund | *Finite element analysis of the bond of reinforcement on rib scale with specimen in the background* | Photo: Petr Máca, graphic: Evmorfia Panteki

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe  
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark  
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser

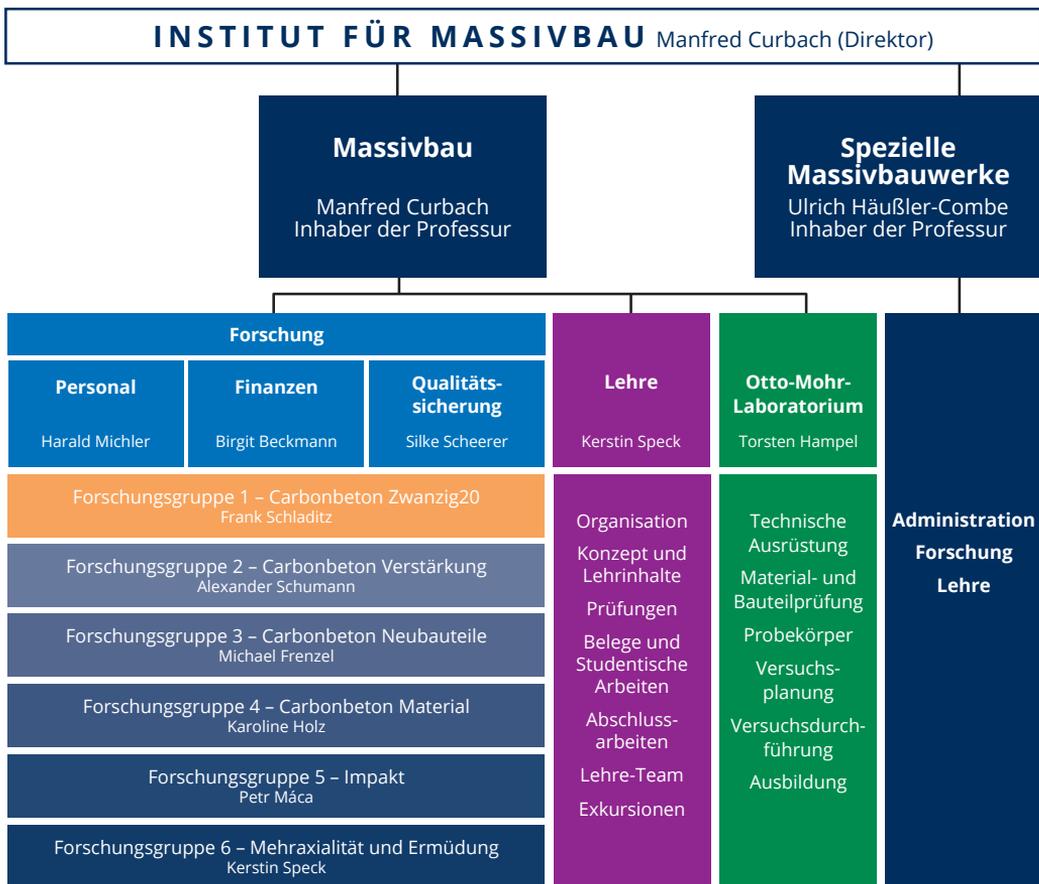
# DAS INSTITUT IN ZAHLEN UND FAKTEN

Die Arbeit an dem im Rahmen des Programms Zwanzig20 des BMBF geförderten Großprojekts C<sup>3</sup>-Carbon Concrete Composite stellt weiterhin einen zentralen Schwerpunkt unserer Forschungsaktivitäten dar. Kern unserer Forschungsarbeit sind eben der Forschung an textil- bzw. carbonbewehrtem Beton und Untersuchungen zum Leichtbau mit Beton auch Untersuchungen von Beton unter hochdynamischer, mehraxialer oder

zyklischer Beanspruchung sowie die Untersuchung von ultrahochfestem Beton (UHPC) – Betonverhalten in all seinen Facetten.

Am Institut für Massivbau waren im Jahr 2018 zwei Professoren, 43 wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen und 18 technische Mitarbeiter\*innen tätig. Im Jahr 2018 konnten Drittmittel in Höhe von annähernd 3,25 Mio. EUR eingeworben werden.

## ■ Organisationsstruktur des Instituts



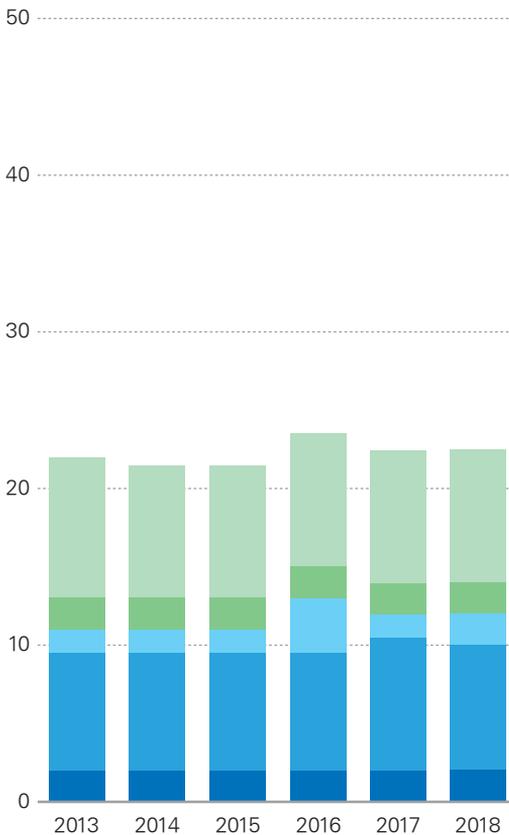
Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand 31.12.2018)

## ■ Drittmittelausgaben in den Jahren 2014–2018

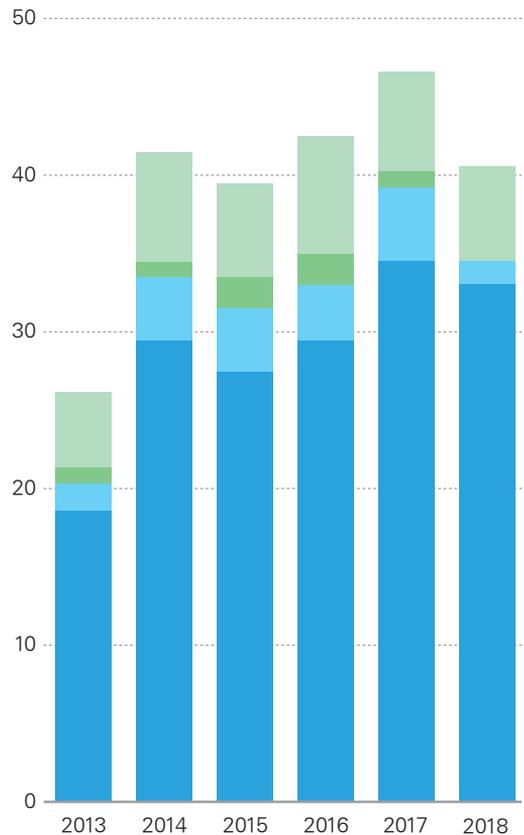
	2014	2015	2016	2017	2018
DFG	555.150 €	623.000 €	647.750 €	756.700 €	544.527 €
Bund/Länder	1.235.500 €	1.825.150 €	1.663.950 €	2.384.720 €	2.546.094 €
Stiftungen	73.100 €	95.500 €	98.600 €	57.270 €	-
Industrie	120.100 €	88.100 €	45.200 €	294.400 €	164.539 €
<b>Gesamt</b>	<b>1.983.850 €</b>	<b>2.631.750 €</b>	<b>2.455.500 €</b>	<b>3.493.090 €</b>	<b>3.255.161 €</b>

## ■ Personalentwicklung (Stand vom 31.12.2018)

Stellen aus Haushaltsmitteln finanziert



Stellen aus Drittmitteln finanziert



■ Technische Mitarbeiter\*innen Institut  
■ Wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen Institut  
■ Professoren

■ Technische Mitarbeiter\*innen Otto-Mohr-Laboratorium  
■ Wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen Otto-Mohr-Laboratorium

## ■ Forschungsprojekte

Im Folgenden sind die Forschungsprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2018 bearbeitet wurden.

### ► **Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit des SPP 1542**

Förderer: DFG/SPP 1542  
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1  
 01.10.2014–30.06.2019 – Phase 2

### ► **Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile**

Förderer: DFG/SPP 1542  
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1  
 01.10.2014–30.06.2020 – Phase 2

### ► **Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen**

Förderer: DFG/SPP 1542  
 Laufzeit: 01.10.2011–31.10.2014 – Phase 1  
 01.11.2014–30.09.2018 – Phase 2

### ► **DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton**

Förderer: DFG  
 Laufzeit: 01.03.2012–28.02.2014 – Phase 1  
 01.08.2014–31.07.2016 – Phase 2  
 15.05.2017–14.05.2019 – Phase 3

### ► **Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitsbehälter (Flugzeugtanks)**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.07.2012–31.12.2014 – Phase 1A  
 01.08.2014–31.07.2016 – Phase 1B  
 01.04.2017–31.03.2020 – Phase 1C

### ► **Wachstumskern autartec® – Verbundprojekt 1: Funktionsintegrierte Bauelemente aus Textilbeton**

TP 1.6: Experimentelle Untersuchungen zur Prüfung und Entwicklung von Materialien im Bereich des Textilbetons sowie funktionsspezifische Bauteilprüfungen an Textilbetonelementen

Förderer: BMBF  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.09.2014–31.08.2018

► **Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.10.2014–31.12.2017 – Phase 1  
 01.05.2018–30.04.2021 – Phase 2

► **Materialeffiziente und praxisgerechte Gestaltung von Verankerungen und Übergreifungen von Textilbetonbewehrungen aus Rovings hoher Feinheiten**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.01.2015–30.11.2018

► **C3-S2: Strategiefortschreibung und konzeptionelle Innovationsförderung von Carbon Concrete Composite – C<sup>3</sup>**

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.07.2015–31.12.2020

► **Experimentelle Untersuchungen des Tragverhaltens von Textilbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung**

Förderer: DFG  
 Laufzeit: 01.09.2015–31.05.2018

► **C3-V1.1: Entwicklung von Herstell- und Verarbeitungsprozessen von Carbonbeton**

TP C3-V1.1-X-d: Untersuchung von Nachbehandlungsmethoden zur Sicherstellung einer dauerhaften Oberfläche und Beitrag zur Konstruktion von An- und Einbauteilen für Carbonbeton

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.12.2015–31.03.2018

► **C3-V1.2: Nachweis- und Prüfkonzeppte für Normen und Zulassungen**

TP C3-V1.2-I-a: Erstellung und Überprüfung von Sicherheits- und Bemessungskonzepnten für Carbonbeton zur Erstellung eines normativen Regelwerkes

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.01.2016–30.04.2019

► **C3-V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von C<sup>3</sup>-Bauteilen**

TP C3-V1.5-I-d: Konzeption Großbauteile und Lastenheft „Herstellung“

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.03.2016–30.06.2018

► **C3-V4.2 Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke**

C3-V4.2-VI: Entwicklung kompakter Verankerungselemente für Spannverfahren ohne Verbund

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.05.2016–30.04.2019

► **Textilverstärkte Betonkonstruktionen für Impaktbeanspruchungen**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.06.2016–30.11.2018

► **Materialermüdung von On- und Offshore Windenergieanlagen aus Stahlbeton und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung**

TP: Verbund bei Zugschwellbeanspruchung

Förderer: BMWi/WinConFat  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.11.2016–31.10.2019

► **C3-V4.12: Carbonbeton zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken**

TP C3-V4.12-II: Rissbreitenuntersuchung

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.03.2017–28.02.2019

► **C3-VI.6: Brückenkappen mit Carbonbewehrung**

TP C3-VI.6-2: Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Brückenkappen durch den Einsatz von Carbonbewehrung

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.03.2017–30.11.2018

► **Experimentell gestützte Modellierung von Versagensmechanismen hochfester Betone unter multiaxialer Beanspruchung – MABET**

Förderer: DFG  
 Laufzeit: 01.04.2017–31.03.2020

► **C3-E-I: Qualitätssicherung Carbonbeton**

TP: C3-E-I-a: Entwicklung einer prozessintegrierten Qualitätssicherung zur Fertigung von Carbonbeton

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2019

► **C3-V2.3: Brandverhalten von Carbonbeton**

TP: C3-V2.3-I-a: Materialverhalten von Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2019

► **C3-V2.7: Erstellung von Gesamtkonzepten für die nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton**

TP: C3-V2.7-I-a: Bemessungsmodelle und Materialspezifikation

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2020

► **GRK-TP A5: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impact auf der impactabgewandten Seite**

Förderer: DFG/GRK 2250/1  
 Laufzeit: 01.05.2017–31.10.2021

► **GRK-TP A6: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impact auf der impactzugewandten Seite**

Förderer: DFG/GRK 2250/1  
 Laufzeit: 01.05.2017–31.10.2020

► **GRK-TP B2: Modellierung des Bewehrung-Matrix-Verbundes und des mechanischen Verhaltens von Verstärkungskompositen bei kurzzeitdynamischen Einwirkungen**

Förderer: DFG/GRK 2250/1  
 Laufzeit: 01.05.2017–31.10.2021

► **C3-V2.1: Dauerstandverhalten von Carbonbeton**

TP: C3-V2.1-I-a: Ermüdungsverhalten von Carbonbeton sowie carbonbetonverstärkte Bauteile unter statischer und zyklischer Dauerlast

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.09.2017–28.02.2020

► **C3-V3.1: Ergebnishaushaus des C<sup>3</sup>-Projektes – CUBE**

TP C3-V3.1-I: Weiterentwicklung, Untersuchung und Nachweisführung von Bauteilen und Tragwerken aus Carbonbeton sowie wissenschaftliche Begleitung von Entwurfs-, Konstruktions- und Bauüberwachungsprozessen im Carbonbetonbau

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.09.2017–30.04.2021

► **Einfluss lastinduzierter Temperaturfelder auf das Ermüdungsverhalten von UHPC bei Druckschwellbelastung**

Förderer: DFG/SPP 2020  
 Laufzeit: 01.09.2017–31.08.2020

► **Untersuchung des Einflusses von Porenwasser auf die Wellenausbreitung in Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.09.2017–31.08.2020

► **Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen**

Förderer: Institut für Massivbau, TU Dresden  
 Laufzeit: seit 01.11.2017

► **C3-V4.6: Energiespeichernder Carbonbeton**

TP C3-V4.6-II: Konstruktionskonzept eines funktionsintegrierten Bauelements

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.04.2018–31.03.2020

► **C3-V4.19: Carbonbewehrte Parkhausdeckenplatten**

TP3: Untersuchungen zum Verbundverhalten und der Endverankerung von Carbonbewehrungen

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.04.2018–31.03.2020

► **C3-V3.4 - Mechanische Verankerung**

TP 1: Untersuchungen zum Verbundverhalten mit mechanisch wirkenden Bewehrungsstrukturen

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.04.2018–31.03.2020

► **Bausystem 2.0 für Carbonbeton - Bezahlbares Bauen durch eine digitalisierte und automatisierte Wertschöpfungskette**

Förderer: ESF/Freistaat Sachsen  
 Laufzeit: 01.05.2018–30.04.2021

► **Machbarkeitsstudie zur Anwendung von Carbonbeton für Trenn- und Sicherungssysteme in Bahntunneln und Schächten**

Förderer: SAB  
 Laufzeit: 01.10.2018–30.04.2019

► **C3-V4.17: Automatisiertes C<sup>3</sup>-Doppelwandsystem**

TP 3: Prüfkonzeptentwicklung für und Kennwertermittlung von Doppelwandsystemen

Förderer: BMBF/C<sup>3</sup>

Projektträger: FZ Jülich GmbH

Laufzeit: 01.11.2018–31.10.2020

► **Entwicklung einer Verbindungstechnologie für Brettsperrholz-Wandkonstruktionen mit hohem Schubwiderstand**

Förderer: Zuwendung aus dem Bundeshaushalt für Forschungsprojekte im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“

Projektträger: BBSR

Laufzeit: 15.12.2018–15.08.2020

## ■ Ausgewählte Publikationen

Beckmann, B.; Schicktanz, K.; Curbach, M.: Discrete Element simulation of concrete fracture and crack evolution. *Beton- und Stahlbetonbau*, S2 (2018) 113, S. 91-95 – DOI: 10.1002/best.201800045

Bochmann, J.; Curbach, M.; Jesse, F.: Influence of artificial discontinuities in concrete under compression load – A literature review. *Structural Concrete*, 19 (2018) 2, 559–567 – DOI: 10.1002/suco.201700041

Frenzel, M.; Curbach, A.: Shear strength of concrete interfaces with infra-lightweight and foam concrete. *Structural Concrete* 19 (2018) 1, S. 269–283 – DOI: 10.1002/suco.201700015

Hegger, J.; Curbach, M.; Stark, A.; Wilhelm, S.; Farwig, K.: Innovative design concepts: Application of textile reinforced concrete to shell structures. *Structural Concrete* 19 (2018) 3, S. 637–646 – DOI: 10.1002/suco.201700157

May, S.; Michler, H.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Lightweight ceiling system made of carbon reinforced concrete. *Structural Concrete* 19 (2018) 6, 1862–1872 – DOI: 10.1002/suco.201700224

Schumann, A.; Michler, H.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Parking slabs made of carbon reinforced concrete. *Structural Concrete* 19 (2018) 3, S. 647–655 – DOI: 10.1002/suco.201700147

Schütze, E.; Bielak, J.; Scheerer, S.; Hegger, J.; Curbach, M.: Einaxialer Zugversuch für Carbonbeton mit textiler Bewehrung | Uniaxial tensile test for carbon reinforced concrete with textile reinforcement. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 1, S. 33–47 – DOI: 10.1002/best.201700074

## ■ Ausgewählte Vorträge

Hering, M.; Curbach, M.: A new testing method for textile reinforced concrete under impact load. In: Alexander, M. G.; Beushausen, H.; Dehn, F.; Moyo, P. (Hrsg.): *Proceedings of 5th International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR 2018)*, 19.-21.11.2018 in Kapstadt (South Africa), 2018, 8 pages – published digitally – DOI: 10.1051/mateconf/201819911010

Kühn, T.; Hering, M.; Häußler-Combe, U.; Curbach, M.: Dynamic behaviour of reinforced slabs – blast testing. In: Sielicki, P. W.; Gajewski, T.; Szymczyk, M. (Hrsg.): *5th International Conference on Protective Structures (ICPS5), Design, Experiment and Analysis of Protective Structures – Proceedings of the 5th International Conference on Protective Structures (ICPS5)*, 19.-23.8.2018 in Poznań (Poland), Poznań: Agencja Reklamowa COMPRINT, 2018, S. 485–493 – ISBN: 978-83-89333-71-1

Koschemann, M.; Kühn, T.; Speck, K.; Curbach, M.: Bond behaviour of reinforced concrete under high cycle fatigue pull-out loading. In: Foster, F.; Gilbert, R.; Mendis, P.; Al-Mahaidi, R.; Millar, D. (Eds.): *Better, Smarter, Stronger, Proceedings of fib Congress, 7.-11.10.2018 in Melbourne (Australia)*, 2018, 14 pages – published digitally

May, S.; Steinbock, O.; Michler, H.; Curbach, M.: Carbon reinforced concrete for new developed ceiling slabs, in: S. Adriaenssens, C. Mueller (Eds.): *Creativity in structural design – abbreviated proceedings of IASS 2018*, 16.-20.07.2018 in Boston (USA), 2018, book of abstracts: p. 268, full paper published digitally: paper no. 8, 8 pages

Senckpiel-Peters, T.; Häußler-Combe, U: Model comparisons for a shell structure made of textile reinforced concrete. In: Meschke, G.; Pichler, B.; Rots, J. G. (Hrsg.): Computational Modelling of Concrete and Concrete Structures: Proceedings of the Conference on Computational Modelling of Concrete and Concrete Structures (EURO-C 2018), 26.2.-1.3.2018 in Bad Hofgastein (Austria), CRC Press, 2018, S. 819-828

Wagner, J.; Curbach, M.: Tensile Load Bearing and Bond Behaviour of Carbon Reinforced Concrete under Cyclic Loading. In: Foster, F.; Gilbert, R.; Mendis, P.; Al-Mahaidi, R; Millar, D. (Eds.): Better, Smarter, Stronger, Proceedings of fib Congress, 7.-11.10.2018 in Melbourne (Australia), 2018, 14 pages – published digitally

## ■ Leistungen in der Lehre

Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2017/2018					
Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende/Betreuer	SWS	Studiengang
Stahlbetonbau	V/Ü	5.	Speck, Schumann	1/1	BIW
Mauerwerksbau	V	5.	Häußler-Combe	1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V	7.	Curbach, Scheerer	2	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	V	7.	Müller	2	BIW
Massivbrückenbau	V	7.	Curbach, Steinbock	2	BIW
Schräggabelbrücken	V	7.	Svensson	1	BIW
Nachhaltige Tragwerksplanung	V	7.	Speck	1	BIW, EW
Innovation Massivbrückenbau – Faszination der Vielfalt	V	–	Curbach	0,13	Studium generale
Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2018					
Stahlbetonbau	V	4.	Speck	2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Speck, Schumann, Deutscher	2/2	BIW
Stahlbetonkonstruktionslehre	V/Ü	6.	Häußler-Combe	2/1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V/Ü	8.	Scheerer, Bochmann, Hering, Koschemann, Michler, Mosig, Schneider, Speck, Steinbock, Wagner	1/3	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	Ü	8.	Müller	1,5	BIW
Mess- und Versuchstechnik	V/Ü	8.	Schneider	1/0,5	BIW
Schräggabelbrücken	V	8.	Svensson	1	BIW
Spezialbauwerke des Wasserbaus	V	8.	Häußler-Combe	1	BIW

**Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2018**

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende/Betreuer	SWS	Studiengang
Computational Engineering im Massivbau	V/Ü	8.	Häußler-Combe	2/1	BIW
<i>Design of Concrete Structures</i>	V/Ü	2.	Garibaldi, Michler	2/1	ACCESS
<i>Computational Methods for Reinforced Concrete Structures</i>	V/Ü	2.	Häußler-Combe	2/1	ACCESS
<i>Cable stayed bridges</i>	V/Ü	2.	Svensson, Garibaldi	2/1	ACCESS

Studienjahr   <i>Academic year</i>	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
Projektarbeiten	6	7	7	11	17	22	13	12	24
<i>Project Works</i>			7	14	11	16	7	17	10
Bachelorarbeiten						1			
Diplomarbeiten	5	7	9	11	19	17	26	15	10
<i>Master's Theses</i>	2		1	5	12	10	15	9	19

## ■ Wissenschaftlicher Nachwuchs

### Promotionen am Institut 2018

#### Daniel Ehlig

Tragverhalten von Carbonbeton als Biegeverstärkung von Stahlbetonplatten unter Brandbelastung

#### Evmorfia Panteki

„Bond of reinforcement in concrete under high loading rates: A finite element analysis of structural effects“

#### Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2010–2018

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Promotionen	1	5	1	3	4	2	1	3	2

#### Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2010–2018

Promotionen	1	1	1	1	1	1	1	5	-
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

## ■ Austausch und Zusammenarbeit

### Beziehungen zur Politik

Mitglied der Thüringer Programmkommission, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG)

### Mitgliedschaften allgemein

Der Institutsdirektor und Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Manfred Curbach**, ist Mitherausgeber der Schriftenreihe *Konstruktiver Ingenieurbau Dresden (kid)* sowie Mitglied in zahlreichen Gremien:

- Head of delegation fib Deutschland
- Convener der fib Task Group 1.6 History of Concrete Structures
- Convener der fib Task Group 2.10 Textile Reinforced Concrete Construction and Design
- Mitglied im ACI, ASCE, DAfStb, IngKammer, PCI, RILEM, VDI, VPI
- Mitglied des Forschungsbeirats des DAfStb
- Mitglied des Arbeitsausschusses „Bemessung und Konstruktion“ des DIN, zuständig für DIN 1045-1 u. a.
- Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der Zeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“
- Mitglied des Forschungsbeirates der TU Kaiserslautern
- Mitglied der Ständigen Kommission für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs der Hochschulrektorenkonferenz HRK
- Mitglied in der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina
- Ordentliches Mitglied in der Technikwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
- Mitglied der Thüringer Programmkommission, TMWWDG
- Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Als Dienstleistung für andere Universitäten und Institute wurden u. a. verschiedene Gutachten erstellt:

- Gutachten zur Verleihung der Würde eines Dr.-Ing. E.h., Universität Stuttgart
- Gutachten für BMWi, zum Angebot „Berücksichtigung der Alterung von Gebäudestrukturen aus Stahlbeton bei Berechnungen zur Tragfähigkeit, insbesondere von Zwischenlagern“

Der Inhaber des Lehrstuhls für Spezielle Massivbauwerke, Prof. Dr.-Ing. habil. **Ulrich Häußler-Combe**, ist Auslandsbeauftragter der Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden, Mitglied der Graduiertenkommission der TU Dresden und Mitglied des Promotionsausschusses der Fakultät Bauingenieurwesen. Außerhalb der Technischen Universität Dresden ist Professor Häußler-Combe Mitglied im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, in der German Association for Computational Mechanics, in der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik.

Als ausgewiesener Fachmann veröffentlichte er 2014 bei Ernst & Sohn das Fachbuch *Numerical Methods for Reinforced Concrete Structures*. Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe arbeitet eng mit Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark, Ruhr-Universität Bochum, Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger, TU München, und Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer, TU München, zusammen.



In der Sächsischen Landesbibliothek - Staats- und Universitätsbibliothek Dresden | Foto: Ulrich van Stipriaan

# PUBLIKATIONEN

## ■ Monografien

Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 28. Dresdner Brückenbausymposium. 12./13.3.2018 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, 231 S.\*)

Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2017 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, 193 S.\*)

C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. und TUDALIT e. V. (Hrsg.): Tagungsband zu den 10. Carbon- und Textilbetontagen, 25./26.9.2018 in Dresden, Dresden: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. und TUDALIT e. V., 2018, 158 S.

Dimmer, M.: Softwaresystem zur Planungsunterstützung im Straßenbrückenbau. Dissertation, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, 2017, veröffentlicht bei Qucosa und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 44, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, 147 S.

Panteki, E.: Bond of reinforcement in concrete under high loading rates: A finite element analysis of structural effects. Dissertation, Technische Universität Dresden, 2018, veröffentlicht bei Qucosa und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 47, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, 167 S.

Steinbock, O.; Hänseroth, T.; Curbach M. (Hrsg.): Willy Gehler – Versuch einer Einordnung. Tagungsband zum Workshop am 11.4.2017 in Dresden, Dresden: Lehrstuhl für Technik- und Technikwissenschaftsgeschichte und Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, S.100 - URL: [https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/ressourcen/dateien/forschung/publikationen/monographien/Tagungsband-WillyGehler\\_screen-version\\_100dpi.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/ressourcen/dateien/forschung/publikationen/monographien/Tagungsband-WillyGehler_screen-version_100dpi.pdf?lang=de)

Wilhelm, S.: Einsatz von UHPC-Druckgehäusen zum Schutz vor extremen Umgebungsbedingungen der Tiefsee. Dissertation, Technische Universität Dresden, 2017, veröffentlicht bei Qucosa und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 45, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, 262 S.

Zobel, R.: Verbundmodellierung von Beton- und Spannstahl unter Querzug. Dissertation, Technische Universität Dresden, 2017, veröffentlicht bei Qucosa und in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 46, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, 209 S.

\*) online verfügbar u. a. unter: <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/forschung/publikationen>

## ■ Ausgewählte Forschungsberichte

Wellner, S.; Mosig, O.; Curbach, M.: Versuchsübersicht und Gutachten über die Belastungsversuche zur experimentellen Bestimmung der Tragsicherheit von Stahlsteindecken im Kaufhaus Stöcker. Auftraggeber: Kaufhaus Stöcker GmbH & Co.KG, Institut für Massivbau und Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden, 10/2018, 173 S.

Máca P.; Panteki, E.; Curbach, M.; Häußler-Combe, U.: Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten. Abschlussbericht zum Reaktorsicherheitsforschungs-Vorhaben Nr. 1501486, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Institut für Massivbau der TU Dresden, 6/2018, 217 S.

Quast, M.: Zweiaxiale Betondruckfestigkeit unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten. Abschlussbericht zum Reaktorsicherheitsforschungs-Vorhaben Nr. 1501483, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Institut für Massivbau der TU Dresden, 6/2018, 97 S.

## ■ Beiträge in Fachzeitschriften oder Monografien

Beckmann, B.; Schicktan, K.; Curbach, M.: Discrete Element simulation of concrete fracture and crack evolution. [In: Strauss, A.; Bergmeister, K.; Proske, D. (Eds.): Beton- und Stahlbetonbau, Beton- und Stahlbetonbau Spezial: 16th International Probabilistic Workshop (IPW), 12.-14.9.2018, Vienna, Austria, Ernst & Sohn, 2018], 113 (2018) S2, S. 91-95 – DOI: 10.1002/best.201800045

Bochmann, J.; Curbach, M.; Jesse, F.: Carbonbeton unter Druck – Teil 2: Einfluss von Bewehrungsgeometrie und -anordnung. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018) 1, S. 22–32 – DOI: 10.1002/best.201700053

Bochmann, J.; Curbach, M.; Jesse, F.: Influence of artificial discontinuities in concrete under compression load – A literature review. Structural Concrete, 19 (2018) 2, S. 559–567 – DOI: 10.1002/suco.201700041

Frenzel, M.; Curbach, A.: Shear strength of concrete interfaces with infra-lightweight and foam concrete. Structural Concrete 19 (2018) 1, S. 269–283 – DOI: 10.1002/suco.201700015

Hegger, J.; Curbach, M.; Stark, A.; Wilhelm, S.; Farwig, K.: Innovative design concepts: Application of textile reinforced concrete to shell structures. Structural Concrete 19 (2018) 3, S. 637–646 – DOI: 10.1002/suco.201700157

Käseberg, S.; Holschemacher, K.; Curbach, M.: Zum Tragverhalten CFK-umschnürter Stahlbetonstützen mit Kreisquerschnitt. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018) 7, S. 505–514 – DOI: 10.1002/best.201800008

Lieboldt, M.; Tietze, M.; Schladitz, F.: C<sup>3</sup>-Projekt – Erfolgreiche Partnerschaft für Innovation im Bauwesen. Bauingenieur 93 (2018) 7–8, S. 265–273

May, S.; Michler, H.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Lightweight ceiling system made of carbon reinforced concrete. Structural Concrete 19 (2018) 6, 1862–1872 – DOI: 10.1002/suco.201700224

May, S.; Steinbock, O.; Michler, H.; Curbach, M.: Precast Slab Structures Made of Carbon Reinforced Concrete. Structures, first published (online): 12.11.2018, 8 pages – DOI: 10.1016/j.istruc.2018.11.005

Minar, S.; Schladitz, F.: Carbonbeton für Neubau und Sanierung. opusC – Architektur & Design mit Beton (2018) 1, S. 64–68

Müller, E.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Entwurf und Bauteiluntersuchungen – Eine Treppe aus Carbonbeton. BWI – BetonWerk International (2018) 6, S. 134–140

Ortlepp, S.; Zernsdorf, K.; Schladitz, F.; Bösche, T.: Stabbewehrung aus Carbonfaserverstärktem Beton (CFB) für den Betonbau. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018) 7, S. 551–558 – DOI: 10.1002/best.201800031

Reuter, U.; Sultan, A.; Reischl, D.: A comparative study of machine learning approaches for modelling concrete failure surfaces. Advances in Engineering Software 116 (2018), S. 67–79 – <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.11.006>

- Schumann, A.; Michler, H.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Parking slabs made of carbon reinforced concrete. *Structural Concrete* 19 (2018) 3, S. 647–655 – DOI: 10.1002/suco.201700147
- Schumann, A.; May, M.; Curbach, M.: Carbonstäbe im Bauwesen; Teil 1: Grundlegende Materialcharakteristiken. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 12, S. 868–876 – DOI: 10.1002/best.201800077
- Schumann, A.; May, S.; Curbach, M.: Design and Testing of various Ceiling Elements made of Carbon Reinforced Concrete. *Proceedings 2* (2018) 8, 543, 7 pages [In: Van Hemelrijck, D.; Aggelis, D.; De Belie, N.; Delaunois, F.; Geernaerts, T.; Guillaume, P.; Habraken, A. M.; Hendrick, P.; Reynders, E.; Simar, A.; Vanlanduit, S. (Eds.): *Proc. Of 18th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM 2018)*, 1.–5.7.2018 in Brussels (Belgium), 2018, paper no. 543] – DOI: 10.3390/ICEM18-05436
- Schütze, E.; Bielak, J.; Scheerer, S.; Hegger, J.; Curbach, M.: Einaxialer Zugversuch für Carbonbeton mit textiler Bewehrung | Uniaxial tensile test for carbon reinforced concrete with textile reinforcement. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 1, S. 33–47 – DOI: 10.1002/best.201700074
- Senckpiel, T.; Häußler-Combe, U.: Analytical Calculation of Load Tests of Curved Ceiling Elements Made of Carbon Concrete and Nonwovens Impregnated with Concrete. *Proceedings 2* (2018) 8, 476, 7 pages [In: Van Hemelrijck, D.; Aggelis, D.; De Belie, N.; Delaunois, F.; Geernaerts, T.; Guillaume, P.; Habraken, A. M.; Hendrick, P.; Reynders, E.; Simar, A.; Vanlanduit, S. (Eds.): *Proc. Of 18th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM 2018)*, 1.–5.7.2018 in Brussels (Belgium), 2018, paper no. 476] – DOI: 10.3390/ICEM18-05357
- Senckpiel-Peters, T.; Häußler-Combe, U.; Metschies, H.; Eisewicht, P.: Entwicklung eines neuartigen leichten Deckenträgers aus Carbonbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 12, S. 850–858 – DOI: 10.1002/best.201800024
- Senckpiel-Peters, T.: Die Entwicklung von filigranen Deckenträgern aus Carbonbeton und betongetränkten Vliesstoffen – Experimentelle Untersuchungen eines innovativen Materials und neuer Bauteile. *Konstruktiver Ingenieurbau*, (2018) 6, S. 17–26
- Steinbock, O.; Curbach, M.: Materialkennwerte einer historischen Stahlbetonbrücke – Ein Bericht über Materialuntersuchungen im Bestand. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 2, S. 96–105 – DOI: DOI: 10.1002/best.201700084
- Steinbock, O.; Mertzsch, O.; Hampel, T.; Schmidt, N.; Curbach, M.: Systematische Nachrechnung des Brückenbestands Mecklenburg-Vorpommern – Interaktion zwischen Praxis und Forschung. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 4, S. 281–290 (überarbeitete und ergänzte Fassung des Beitrags "Interaktion zwischen Praxis und Forschung – Systematische Nachrechnung des Brückenbestands in M-V" zum 27. DBBS) – DOI: 10.1002/best.20170010
- Tietze, M.; Kahnt, A.; Grauer, O.; Rittner, S.; Von Zuben, M.; Schurig, M.: Automatisierte und bedarfsgerechte Carbonbewehrungsherstellung im Fertigteilerwerk. *BWI – BetonWerk International* (2018) 1, S. 20–25
- Wagner, J.; Holz, K.; Curbach, M.: Zyklische Verbundversuche mit Carbonbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 7, S. 525–534 – DOI: 10.1002/best.201700090
- Weselek, J.; Häußler-Combe, U.: Studie zum Sicherheitsniveau bei Verstärkungsmaßnahmen mit Carbonbeton. In: Pahn, M.; Thiele, C.; Glock, C. (Hrsg.): *Vielfalt im Massivbau – Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell*, TU Kaiserslautern/Ernst & Sohn, 2018, S. 148–166
- Wilhelm, S.; Curbach, M.: UHPC-Druckgehäuse für Anwendungen in der Tiefsee. *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (2018) 6, S. 414–421 – DOI: 10.1002/best.201800007
- Zierold, K.; Hering, M.; Rittner, S.; Scheerer, S.; Curbach, M.; Cherif, Ch.: Eine Lösung, die nicht so leicht k. o. geht: Entwicklung neuartiger textiler Flächengebilde für Impakt-resistente Textilbetonbauteile. *Kettenwirkpraxis* 52 (2018) 3, S. 24–25

## ■ Beiträge in Tagungsbänden

- Garibaldi, M.P.; Vakaliuk, I.; Schlüter, D.; Kraft, R.; Curbach, M.: Forms Follows Environment - The Development of Smart and Eco-friendly Carbon-Concrete Composite Building Elements. In: Foster, F.; Gilbert, R.; Mendis, P.; Al-Mahaidi, R.; Millar, D. (Eds.): Better, Smarter, Stronger, Proceedings of fib Congress, 7.-11.10.2018 in Melbourne (Australia), 2018, 18 pages – published digitally
- Hering, M.; Curbach, M.: A new testing method for textile reinforced concrete under impact load. In: Alexander, M. G.; Beushausen, H.; Dehn, F.; Moyo, P. (Hrsg.): Proceedings of 5th International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICRRR 2018), 19.-21.11.2018 in Kapstadt (South africa), 2018, 8 pages – published digitally – DOI: 10.1051/mateconf/201819911010
- Holz, K.; Schütze, E.; Garibaldi, M. P.; Curbach, M.: Determination of Material Properties of TRC under Cyclic Loads. In: de Felice, G.; Sneed, L.; Nanni, A. (Hrsg.): The concrete Convention and Exposition, ACS-Spring 2017, ACI SP-324: Composites with Inorganic Matrix for Repair of Concrete and Masonry Structures, 26.-30.3.2017 in Detroit (USA), 2018, 16 pages – published digitally
- Koschemann, M.; Kühn, T.; Speck, K.; Curbach, M.: Bond behaviour of reinforced concrete under high cycle fatigue pull-out loading. In: Foster, F.; Gilbert, R.; Mendis, P.; Al-Mahaidi, R.; Millar, D. (Eds.): Better, Smarter, Stronger, Proceedings of fib Congress, 7.-11.10.2018 in Melbourne (Australien), 2018, 14 pages – published digitally
- Kühn, T.; Hering, M.; Häußler-Combe, U.; Curbach, M.: Dynamic behaviour of reinforced slabs – blast testing. In: Sielicki, P. W.; Gajewski, T.; Szymczyk, M. (Hrsg.): 5th International Conference on Protective Structures (ICPS5), Design, Experiment and Analysis of Protective Structures – Proceedings of the 5th International Conference on Protective Structures (ICPS5), 19.–23.8.2018 in Poznań (Poland), Poznań: Agencja Reklamowa COMPRINT, 2018, S. 485–493 – ISBN: 978-83-89333-71-1
- May, S., Schumann, A.; Curbach, M.: Shear strengthening of structures with carbon reinforced concrete. In: Kohoutková, A.; Vitek, J. L.; Frantová, M.; Bílý, P. (Hrsg.): Proceedings of the 12th International PhD Symposium in Civil Engineering, 29.8.–31.8.2018 in Prague (Czech Republic), 2018, S. 879–885 – published digitally on USB-Stick
- May, S.; Steinbock, O.; Michler, H.; Curbach, M.: Carbon reinforced concrete for new developed ceiling slabs, in: S. Adriaenssens, C. Mueller (Eds.): Creativity in structural design – abbreviated proceedings of IASS 2018, 16.–20.07.2018 in Boston (USA), 2018, book of abstracts: p. 268, full paper published digitally: paper no. 8, 8 pages
- Neumann, F.; Curbach, M.: Thermal treatment of desert sand to produce construction material. In: MATEC Web Conf. Volume 149, 2018, Proceedings of the Second International Congress on Materials & Structural Stability (CMSS-2017), 2017, 22.–25.11.2017 in Rabat (Marocco), 2017, S. 1–5 – DOI: 10.1051/mateconf/201814901030
- Schladitz, F.; Tietze, M.; Lieboldt, M.; Schumann, A.; Garibaldi, M. P.; Curbach, M.: Carbon reinforced concrete in construction practice. In: International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), IABSE Conference – Engineering the Developing World, Proceedings of the 2018 IABSE Conference, 25.–27.4.2018 in Kuala Lumpur (Malaysia), S. 348–355
- Schladitz, F.; Lieboldt, M.; Tietze, M.: Carbonbeton – Einblick in Praxis und Forschung. In: Bleicher, A. (Hrsg.): Tagungsband zum 25. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT2018, 16.3.2018 in Senftenberg (Deutschland), S. 7–18
- Schumann, A.; Zobel, R.; Curbach, M.: Finite element research of reinforced concrete structures strengthened with textile reinforced concrete (TRC). In: Meschke, G.; Pichler, B.; Rots, J. G. (Hrsg.): Computational Modelling of Concrete and Concrete Structures: Proceedings of the Conference on Computational Modelling of Concrete and Concrete Structures (EURO-C 2018), 26.2.–1.3.2018 in Bad Hofgastein (Austria), CRC Press, 2018, S. 829–837
- Schumann, A.; Hentschel, M.; Curbach, M.: Müthers Schale im neuen Gewand: Verstärkung der Hyparschale in Magdeburg mit Carbonbeton. In: May, R.; Lorenz, W.; Böcker, A. (Hrsg.): Grenzgänger – vom Umgang mit leichten Schalentragwerken; Ein internationaler Workshop im Rahmen von RESONANZEN, DIE LANGEN WELLEN DER UTOPIE im Europäischen Kulturerbejahr 2018, 11.–13.10.2018 in Berus (Deutschland), 2018, 2 pages – published digitally

Senckpiel, T.; Häußler-Combe, U: Model comparisons for a shell structure made of textile reinforced concrete. In: Meschke, G.; Pichler, B.; Rots, J. G. (Hrsg.): Computational Modelling of Concrete and Concrete Structures: Proceedings of the Conference on Computational Modelling of Concrete and Concrete Structures (EURO-C 2018), 26.2.-1.3.2018 in Bad Hofgastein (Austria), CRC Press, 2018, S. 819–828

Steinbock, O.; May, S.: Brückenvielfalt rund um die Ostsee – Bericht zur Brückenexkursion 2017. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 28. Dresdner Brückenbausymposium – Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken. 12.-13.3.2018 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, S. 203–213

Tietze, M.; Schladitz, F.; Kahnt, A.; Garibaldi, M.P.; Zobel, R.; Curbach, M.: Future applications in Carbon reinforced concrete (CRC). In: International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), IABSE Conference – Engineering the Developing World, Proceedings of the 2018 IABSE Conference, 25.-27.4.2018 in Kuala Lumpur (Malaysia), S. 356–357.

Wagner, J.; Curbach, M.: Tensile Load Bearing and Bond Behaviour of Carbon Reinforced Concrete under Cyclic Loading. In: Foster, F.; Gilbert, R.; Mendis, P.; Al-Mahaidi, R; Millar, D. (Eds.): Better, Smarter, Stronger, Proceedings of fib Congress, 7.-11.10.2018 in Melbourne (Australia), 2018, 14 pages – published digitally

## Beiträge auf den 10. Carbon- und Textilbetontagen 2018

Curbach, M.: CUBE - Ergebnishaus des C<sup>3</sup>-Projekts. In: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V.; TUDALIT e. V. (Hrsg.): 10. Carbon- und Textilbetontage, Tagungsband zu den 10. Carbon- und Textilbetontagen, 25./26.9.2018 in Dresden, 2018, S. 102-103

Müller, E.: Nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton. In: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V.; TUDALIT e. V. (Hrsg.): 10. Carbon- und Textilbetontage, Tagungsband zu den 10. Carbon- und Textilbetontagen, 25./26.9.2018 in Dresden, 2018, S. 98-99

Schütze, E.: Dauerstand- und Ermüdungsverhalten von Carbonbeton. In: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V.; TUDALIT e. V. (Hrsg.): 10. Carbon- und Textilbetontage, Tagungsband zu den 10. Carbon- und Textilbetontagen, 25./26.9.2018 in Dresden, 2018, S. 86-87

Wagner, J.: Einbauteile für Carbonbeton-Doppelwände. In: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V.; TUDALIT e. V. (Hrsg.): 10. Carbon- und Textilbetontage, Tagungsband zu den 10. Carbon- und Textilbetontagen, 25./26.9.2018 in Dresden, 2018, S. 36-37

## ■ Vorträge

Curbach, M.: Mobility und Bauen – Dresden als Hauptstadt für Neue Materialien, Vertretung des Freistaates Sachsen beim Bund, 24.1.2018, Berlin

Curbach, M.: Vorbereitung eines Regelwerks zum Bauen mit Carbonbeton, Betontage, 20.2.2018, Neu-Ulm

Curbach, M.: Werkstoff der Zukunft: Carbonbeton. Rotary Club Dresden, 25.4.2018, Dresden

Curbach, M.: Entstehung eines neuen Werkstoffs Carbonbeton von der Wissenschaft in die Wirtschaft, acatech Berlin, 26.4.18, Berlin

Curbach, M.: Spitzentechnologie aus Dresden – das faszinierende Material Carbonbeton, International Friends Dresden, 14.5.2018, Dresden

Curbach, M.: Graf Bauunternehmung. 13.6.2018, Wesseling

Curbach, M.: Begrüßung, Erstes Fazit, SPP1542 Abschlusskolloquium, 17.-19.9.2018, Dresden

Curbach, M.: CUBE – Ergebnishaus (C3-V3.1), 10. Carbon- und Textilbetontage, 25.-26.09.2018, Dresden

Curbach, M.: Goldenes Diplom Bauingenieurwesen, Jahrgang 1968, 13.10.2018, Dresden

- Curbach, M.: Innovative Forschung für die Wasserstraßen – Eine Kooperation zwischen Ressort- und universitärer Forschung, Festkolloquium 70 Jahre BAW, 14.11.2018, Karlsruhe
- Gawer, L.: Potenziale interdisziplinärer Zusammenarbeit der Dresdner Branchennetzwerke Dresden, PRIME-Netzwerkfrühstück des Impact Hub Dresden, 11.10.2018, Dresden
- Lieboldt, M.: Carbonbeton – Ein Materialverbund für das Bauen der Zukunft. 23. April 2018. Weimar. Informationsveranstaltung zu Einsatzmöglichkeiten von CB der Weimarer Wohnstätten GmbH.
- Schladitz, F.: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite. Green Talents des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), 15.10.2018, Dresden
- Schladitz, F.: Das C<sup>3</sup>-Netzwerk: Bauen neu denken, Smart Composites Erzgebirge Netzwerktreffen der Wirtschaftsförderung Erzgebirge GmbH, 9.10.2018, Annaberg Buchholz.
- Schladitz, F.: Carbonbeton, Tea Time des Triple Helix Dialoges, 8.9.2018, Dresden
- Schladitz, F.: Carbonbeton – Einblick in Praxis und Forschung, Weiterbildung für die Mitarbeiter der Heinle, Wischer und Partner, 16.8.2018, Dresden
- Schladitz, F.: textile reinforced concrete Institute – Research – Practice Projects, Structures & Materials Seminar Series Fall 2018 of the Arizona State University, 7.8.2018, Tempe (USA)
- Schladitz, F.: Carbonbeton, Innovationsveranstaltung “tecRADAR” der Deutschen Bahn AG, 29.5.2018, Frankfurt
- Schladitz, F.: Carbonbeton, Treffen mit Elementbau Osthessen GmbH und Co., ELO KG und EFB Beton Fertigteilebau GmbH, 14.5.2018, Dresden
- Schladitz, F.: Carbon reinforced concrete in construction practice, Engineering the Developing World der IABSE, 25.4.2018, Kuala Lumpur (Malaysia)
- Schladitz, F.: Carbonbeton Forschung – Praxis – Patente, Treffen der Sächsischen Transferassistenten im Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), 17.4.2018, München
- Schladitz, F.: Technologietransfer am Beispiel Carbonbeton, Treffen der Sächsischen Transferassistenten im Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), 12.4.2018, Dresden
- Schladitz, F.: Carbonbeton – Einblick in Praxis und Forschung, 25. Brandenburgischer Bauingenieurtag 2018 der BTU Cottbus, 16.3.2018, Cottbus
- Schladitz, F.: Carbonbeton, Beiratstreffen Leichtbau (BMW) der Berger Beton SE, 22.2.2018, Berlin
- Schladitz, F.: Verbundmaterial Carbonbeton – Revolution im Bauwesen?, Auftakt – Netzwerk innovativer Massivbau der Bayern Innovativ GmbH, 20.2.2018, Nürnberg
- Schladitz, F.: Carbonbeton – von der Forschung in die Praxis, BAUTEX 2018, 25.1.2018, Chemnitz.
- Tietze, M.: Carbonbeton – Baustoff der Zukunft? – Eine ökonomische Betrachtung, BrownBag Seminar HTWK Leipzig. 19.12.2018, Leipzig
- Tietze, M.: C<sup>3</sup> Carbon concrete composite – Status quo, Tokyo ropes Delegation in Dresden bei C<sup>3</sup>, 27.11.2018, Dresden
- Tietze, M.: Future Applications in Carbon reinforced concrete, Engineering the Developing World der IABSE, 25.4.2018, Kuala Lumpur (Malaysia)
- Tietze, M.: C<sup>3</sup> Carbon reinforced concrete – Material and Applications, Koreanische Delegation in Dresden bei C<sup>3</sup>, 07.5.2018, Dresden
- Tietze, M.: Carbonbeton mit Funktionsintegration, Innovationsforum Cool Carbon Concrete – Elektointegration Carbonbeton des Cool Silicon und C<sup>3</sup>, 20.3.2018, Dresden

Tietze, M.: Leichtbau mit Carbonbeton, Weiterbildungsveranstaltung für Architekten und Ingenieure der AIV Rhein-Neckar, 7.2.2018, Mannheim

Tietze, M.: Carbonbeton – Material, Anwendung, Forschung, Werksleitertagung der Berger Beton SE, 6.2.2018, Breslau (Polen)

## ■ Ausgewählte Interviews und sonstige Beiträge

### ■ Interviews von Curbach, M. zum Brückeneinsturz in Genua

Wie sicher sind Brücken in Deutschland? Telefoninterview für Radioeinspieler Mitteldeutscher Rundfunk Aktuell; 14.8.2018

Brückeneinsturz in Genua. Video-Interview für RTL-Television Nachtjournal; 15.8.2018

Infrastruktur in Deutschland: Die Brücke in Genua gehört zu einem sehr speziellen Typ. Telefon-Interview für Onlineartikel; ZEIT ONLINE; 15.8.2018

Wie sicher sind Brücken in Deutschland? Telefoninterview für Onlinebeitrag N-TV; 14.8.2018

Link: Marode Brücken – Katastrophe von Genua in Deutschland möglich? Telefoninterview für Radioeinspieler; rbb Radio1; 15.8.2018

Bei uns ist ein solches Unglück sehr unwahrscheinlich. Telefoninterview für Printartikel; Sächsische Zeitung; 16.8.2018

Brückeneinsturz in Genua; Liveschalte TV (Aufzeichnung bei Mitteldeutscher Rundfunk (MDR) Landesfunkhaus Sachsen); phoenix der Tag; 15.8.2018

Brückeneinsturz in Genua. Liveschalte TV mit Jan Hofer (Aufzeichnung bei MDR Landesfunkhaus Sachsen); Tagesschau; 15.8.2018

Die Brücke in Genua gehört zu einem sehr speziellen Typ. Telefoninterview; DIE ZEIT N°34, Seite 28; 16.8.2018

Auf den Spuren eines Unglücks. VDI Nachrichten Nr. 35, Seite 15; 31.08.2018

Brückeneinsturz in Genua – In Deutschland außerordentlich unwahrscheinlich. Telefoninterview; Deutschlandfunk Kultur; 15.8.2018

Meist nicht nur eine Ursache. Telefoninterview für Onlineartikel, Südwest-Presse Neckar-Chronik, 16.8.2018

Brücken in Deutschland. Die Angst vor dem Fall. Telefoninterview; DER TAGESSPIEGEL; 15.8.2018;

Der Brückeneinsturz von Zeulenroda. Videointerview; Mitteldeutscher Rundfunk – Zeitreise; 28.08.2018

### ■ Interviews von Curbach, M. zum Thema Sanierung

Baden-Württembergs Brücken unter Stress. Telefoninterview; Stuttgarter Zeitung; 15.8.2018

Großer Sanierungsbedarf bei deutschen Brücken. Telefoninterview; Deutschlandfunk; 15.8.2018

Wie sicher sind Sachsens Brücken? Videointerview; MDR Sachsenspiegel; 15.8.2018

Sanierungsstau gibt es seit vielen Jahren. Telefoninterview; Lausitzer Rundschau Online; 15.8.2018;

Sanierungsstau gibt es seit vielen Jahren. Telefoninterview für Onlineartikel; Märkische Oderzeitung; 16.8.2018

Wie werden die Brücken Europas instand gehalten? Videointerview; Sendung 10vor10, SRF (Schweiz); 16.8.2018

Teure Sicherheit: Schweizer Autobahnbrücken verursachen massive Sanierungskosten.  
Telefoninterview; Neue Zürcher Zeitung am Sonntag; 19.08.2018

■ Interview von Curbach, M. zum Thema Carbonbeton

Klimarettung: auf dem Papier ist Deutschland weit vorn. Videointerview; ARD Panorama; 20.9.2018

■ Sonstiges

Curbach, M.: Laudatio. In: Pahn, M.; Thiele, C.; Glock, C. (Hrsg.): Vielfalt im Massivbau – Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell, TU Kaiserslautern/Ernst & Sohn, 2018, S. 1–5

Lieboldt, M.: Bergfest beim C<sup>3</sup>-Projekt. TUDALIT Magazin (2018) 19, S. 4–5

# DAS TEAM 2018

## Institut für Massivbau

### **Professur für Massivbau**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

### **Forschung und Qualitätssicherung**

Dr.-Ing. Silke Scheerer

### **Forschung und Finanzen**

Dr.-Ing. Birgit Beckmann

### **Forschung und Personal**

Dr.-Ing. Harald Michler

### **Organisation Lehre**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

### **Controlling/Sekretariat**

Silvia Haubold (Controlling)

Dajana Musiol (Sekretariat)

Anja Giesder (C<sup>3</sup>)

Jana Strauch (C<sup>3</sup>)

### **Professur für Spezielle Massivbauwerke**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

### **Sekretariat**

Angela Heller

### **Wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen**

#### **Forschungsgruppe 1: Zwanzig20-Projekt**

##### **C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite**

Dr.-Ing. Frank Schladitz

(Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ludwig Gawer

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Stefan Minar M.Sc.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze

#### **Forschungsgruppe 2:**

##### **Carbonbeton – Verstärkung**

Dipl.-Ing. Alexander Schumann

(Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Ing. Kristina Farwig

Dipl.-Ing. Sebastian May

Dipl.-Ing. Egbert Müller

Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann

Dipl.-Ing. Angela Schmidt

Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

#### **Forschungsgruppe 3:**

##### **Carbonbeton – Neubauteile**

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

(Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

Dipl.-Ing. (FH) Frank Neumann

Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze

Iurii Vakaliuk M.Sc.

Dipl.-Ing. Juliane Wagner

#### **Forschungsgruppe 4:**

##### **Carbonbeton – Material**

Dipl.-Ing. Karoline Holz

(Forschungsgruppenleiterin)

Olga Diring M.Sc.

Dipl.-Ing. Jan Panzer

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

Dipl.-Ing. Maximilian May

#### **Forschungsgruppe 5: Impact**

M.Eng. Petr Máca Ph.D.

(Forschungsgruppenleiter)

Ammar Siddig Ali Babiker M.Sc.

Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow

Dipl.-Ing. Marcus Hering

Tino Kühn M.Sc.

Saeid Zabihi Moghaddam M.Sc.

Dipl.-Ing. Oliver Mosig

Alaleh Shehni M.Sc.

#### **Forschungsgruppe 6:**

##### **Mehraxialität und Ermüdung**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

(Forschungsgruppenleiterin)

Dipl.-Ing. Jakob Bochmann

Ahmad Chihadeh M.Sc.

Dipl.-Ing. Melchior Deutscher

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

Dipl.-Ing. Daniel Karl

Dipl.-Ing. Marc Koschemann

Dipl.-Math. Dirk S. Reischl

#### **Technischer Mitarbeiter**

Matthias Zagermann

#### **Öffentlichkeitsarbeit**

Chris Gärtner M.A.

Stefan Gröschel

Sandra Kranich M.A.

## Otto-Mohr-Laboratorium

### Leiter

Dr.-Ing. Torsten Hampel

### Stellvertreterin

Dipl.-Ing. Kathrin Dietz

### Sekretariat

Petra Kahle

### Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

### Technische Mitarbeiter\*innen

Rainer Belger

Heiko Günther

Thomas Häntzschel

Jens Hohensee

Tino Jänke

Michael Liebe

Maik Patricny

Annett Pöhland

Mario Polke-Schminke

Doreen Sonntag

Andreas Thieme

Heiko Wachtel

Bernd Wehner

## DANK AN UNSERE FÖRDERER

Deutsche  
Forschungsgemeinschaft  
**DFG**



Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) mbH



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich

STAATSBETRIEB IMMOBILIEN-  
UND BAUMANAGEMENT  
SIB



Europäische Union

Europa fördert Sachsen  
**ESF**  
Europäischer Sozialfonds



# PROJEKTBESPRECHUNG IM SWIMMINGPOOL



**SOMMER 2018**

Bassin Oliver Steinbock, Foto: Stefan Gröschel

## Impressum

### Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Institut für Massivbau  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden

Besucheradresse:  
August-Bebel-Straße 30/30A  
01219 Dresden

Postadresse:  
Technische Universität Dresden  
Institut für Massivbau  
01062 Dresden

Paketadresse:  
Technische Universität Dresden  
Institut für Massivbau  
Helmholtzstr. 10  
01069 Dresden

Tel. +49 351 463-36568  
Fax +49 351 463-37289

[www.massivbau.tu-dresden.de](http://www.massivbau.tu-dresden.de)

ISBN 978-3-86780-584-1

### Redaktion

Olga Diring

### Texte

Ammar Siddig Ali Babiker, Birgit Beckmann, Jakob Bochmann, Franz Bracklow, Manfred Curbach, Ahmad Chihadeh, Melchior Deutscher, Olga Diring, Daniel Ehlig, Kristina Farwig, Michael Frenzel, Chris Gärtner, Stefan Gröschel, Thomas Häntzschel, Marcus Hering, Karoline Holz, Wolfram Jäger, Marc Koschemann, Tino Kühn, Matthias Lieboldt, Petr Máca, Sebastian May, Fabian Meyer, Harald Michler, Oliver Mosig, Egbert Müller, Siavash Namari, Jan Panzer, Evmorfia Panteki, Dirk Reischl, Philipp Riegelmann, Silke Scheerer, Dominik Schlüter, Angela Schmidt, Alexander Schumann, Elisabeth Schütze, Tilo Senckpiel-Peters, Alaleh Shehni, Kerstin Speck, Oliver Steinbock, Matthias Tietze, Juliane Wagner, Sabine Wellner, Hassan Youssef

Die Kurzfassungen aller Arbeiten (Projektarbeiten, Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen) wurden von den jeweiligen Studierenden und Doktorand\*innen verfasst.

### Mitarbeit/Korrektur

Maria Patricia Garibaldi, Angela Heller, Dajana Musiol, Silke Scheerer

### Gestaltung/Satz

Stefan Gröschel

### Druck

addprint AG, 2019

---

ISBN 978-3-86780-584-1