





**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

Institut für Massivbau

# **JAHRESBERICHT 2017**

## **ANNUAL REPORT 2017**



**„WENN ICH DIE MENSCHEN GEFRAGT HÄTTE,  
WAS SIE WOLLEN, HÄTTEN SIE GESAGT:  
SCHNELLERE PFERDE.“**

Henry Ford

Inkrementell und Disruptiv ..... 11

**FORSCHUNG**  
*RESEARCH* ..... **12**

Forschung am IMB  
*Research at IMB*..... 14

Willy Gehler – Stahlbetonpionier auf Abwegen  
*Willy Gehler – on the tracks of a RC pioneer*..... 16

In eisigen Tiefen – Beton für die Meeresforschung  
*In icy depths – concrete for marine research* ..... 18

Mit Fasern die Anisotropie entdecken  
*Discover anisotropy with fibres*.....20

Lastinduzierte Erwärmung von UHPC  
*Load-induced increase of temperature in UHPC*.....22

Beton schnell belastet  
*Concrete quickly loaded* .....24

Wellen im Beton  
*Waves in concrete*.....26

Diskrete-Elemente-Simulation von Betonversagen  
*Discrete element simulation of concrete failure*.....28

Ein Effekt, der keiner sein soll – und der Mann mit den zwei Uhren  
*The strain rate effect – strain, stress or just inertia?*.....30

Verbundmodellierung bei Impakt  
*Bond model for impact loading* .....32

Verbund unter Impakt  
*Bond under impact*.....34

Impaktversuche in der dritten Runde  
*Impact tests in the third round*.....36

Einschlägige Verbundmodelle  
*Bond modeling for impact load* .....38

Durchschlagende Versuche mit Textilbeton  
*Penetrating experiments with TRC*.....40

Stöße abfangen mal anders  
*Stopping impact loads*.....42

Von der Natur inspirierte stoßfeste Tragstrukturen  
*Bio-inspired impact-resistant structures*..... 44

Verbund bei hohen Lastwechselzahlen  
*Bond under high cyclic loading*.....46

Leichte(R) Stützen  
*Columns Light* .....48

Von der Stütze zur Decke  
*From the column to the ceiling slab*.....50

Ressourcensparendes Deckenbauteil aus Carbonbeton  
*Economically ceiling element made of carbon concrete* .....52

Maschinell hergestelltes Schlaufentextil  
*Machine manufactured loop textiles* .....54

Textilbeton unter Druck  
*TRC under compression*.....56

autartec® – Zeit, ins Wasser zu gehen!  
*autartec® – Let’s go swimming* .....58

Einbauteile für Carbonbeton  
*Built-in parts for carbon reinforced concrete* .....60

Vorbereitung eines Regelwerks zum Bauen mit Carbonbeton  
*Preparation a standard for building with carbon concrete* .....62

Über den Verbund von Carbonstäben mit Beton  
*About the bond among carbon rods and concrete*.....64

Abbrechen kommt vor dem Bauen  
*Demolition first, building second*.....66

Wie lange hält Carbonbeton?  
*Long live carbon concrete!* .....68

Was passiert, wenn es brennt?  
*What happens when it burns?*.....70

Allgemeingültige Verstärkungskonzepte  
*General reinforcement concepts*.....72

Qualitätssicherung von Carbonbeton  
*Quality assurance of carbon concrete*.....74

Carbonzugglieder – die Spannung steigt  
*Compact anchors for carbon tendons* .....76

Neue Haut für beschädigte Betonfahrbahnen  
*A new skin for damaged concrete roadways* .....78

Carbonbetonhaus CUBE – gestartet  
*C<sup>3</sup> tech demo house CUBE – started* .....80

**DAS C<sup>3</sup>-PROJEKT**  
*THE C<sup>3</sup> PROJECT* ..... **82**

Das C<sup>3</sup>-Projekt – die Vorhaben 2017  
*The project C<sup>3</sup> – all projects until 2017* .....84

Das C<sup>3</sup>-Projekt in der Öffentlichkeit  
*The C<sup>3</sup> project in public*.....88

**LEHRE**  
TEACHING ..... 98

Lehrveranstaltungen des Instituts für Massivbau  
*Lectures at the Institute of concrete structures* ..... 100

Projektarbeiten | *Project works*..... 106

Diplom- und Bachelorarbeiten  
*Master's Thesis* .....112

*Master's thesis 2016/17* .....118

Brückenexkursion 2017 – Brückenvielfalt rund um die Ostsee ..... 122

Schülerpraktikum MANOS 2017 ..... 124

Wissenschaftliche Projektarbeit MANOS ..... 125

**OTTO-MOHR-LABORATORIUM**  
OTTO MOHR LABORATORY..... 126

Testen auf höchstem Niveau  
*Testing at the highest level*..... 128

Leistungen  
*Services*..... 130

Ausstattung  
*Equipment* ..... 132

Universalprüfmaschine 2500 kN statisch / 500 kN dynamisch  
*Universal testing machine 2500 kN static / 500 kN dynamic* ..... 136

Tragwerksuntersuchungen im Beyer-Bau  
*The 'Beyer-Bau' in the test* ..... 138

Materialtest bei einer Hyparschale  
*Material test at a hyper shell* ..... 140

Textile Bewehrung in der Lagerfuge von Mauerwerk  
*Textile reinforcement for masonry horizontal joints* ..... 142

(Probe-)Bühne frei?  
*(Rehearsal) Stage free?* ..... 144

Ein Wald aus Carbonbeton  
*A carbon concrete forest* ..... 146

**DAS INSTITUT** ..... 148

Das Lebenserhaltende ist die Vielfalt ..... 150

Dresdner Brückenbausymposium 2017 ..... 151

Treffen der Forscher\*innen des SPP 1542 in Meisdorf ..... 153

Projekttag – Vorsicht: Hochspannung! ..... 154

Lange Nacht voller Wissensdurst..... 155

Lauffreudige Bauingenieure bei der REWE Team Challenge ..... 156

SPP 1542 auf der IASS 2017 in Hamburg ..... 156

Klein, aber fein..... 157

Die 9. Carbon- und Textilbetontage in Dresden – ein voller Erfolg!..... 158

Carbonbeton zieht ein in das Deutsche Museum München ..... 160

Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier zu Besuch am Institut ..... 161

Festkolloquium zum 80. Geburtstag von Prof. Jürgen Stritzke ..... 162

Auf den Spuren von PRAKTIKA und Co.  
... eine etwas andere Weihnachtssfeier ..... 163

Promotionen ..... 164

Softwaresystem zur Planungsunterstützung im Straßenbrückenbau  
*Software system to support the planning process of road bridges* ..... 164

Einsatz von UHPC-Druckgehäusen zum Schutz vor extremen  
Umgebungsbedingungen der Tiefsee  
*Use of UHPC pressure housings to protect against extreme environmental  
conditions of the deep sea* ..... 166

Verbundmodellierung von Beton- und Spannstahl unter Querkraft  
*Modelling of the bond behaviour of reinforcing and prestressing steel  
under transverse tension*..... 168

Untersuchung des Verbundverhaltens von Stahlstäben in Beton  
bei hohen Belastungsraten  
*Investigating of the bond behaviour of steel bars in concrete  
under high loading rates* ..... 170

Das Institut in Zahlen und Fakten ..... 172

Preise und Ehrungen ..... 182

Publikationen ..... 184

Team 2017 ..... 190

Dank an unsere Förderer ..... 191

Beton meets Kultur ..... 192

Impressum ..... 193



## INKREMENTELL UND DISRUPTIV

Seit einiger Zeit gibt es in der europäischen und deutschen Forschungslandschaft zwei neue Begriffe: inkrementelle Innovation und disruptive Innovation.

Während unter inkrementellen Innovationen solche verstanden werden, die eine vorhandene Situation in kleinen Schritten verändern und deren Erforschung und Entwicklung nach Meinung zahlreicher Beobachter in gewissen Grenzen plan- und steuerbar sind, gehören die disruptiven Innovationen zu den offensichtlich nicht planbaren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Sie bringen eine ganz neue Qualität hervor. Wie das Zitat auf Seite 5 in vereinfachender, deswegen aber nicht falscher Art und Weise zeigt, braucht es kreative Geister, um aus dem Gewohnten auszuweichen und das Ungewohnte oder gänzlich Neue zu denken.

Nun wird trotz der Unplanbarkeit der so genannten disruptiven Innovationen gefragt, wie viele dieser Innovationen eine Gesellschaft benötigt oder gar verträgt. Dabei wird unerschwinglich suggeriert, dass es eine obere Grenze geben könnte.

Angesichts der auf dieser Erde existierenden Herausforderungen wie die Begrenzung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes oder die Bewältigung der Folgen der Bevölkerungsentwicklung, um nur zwei zu nennen, scheint es eher eine Untergrenze zu geben, denn wenn wir nicht schnell Antworten auf die drängenden Fragen finden, könnte es in nicht allzu ferner Zukunft für weitere Ideen und Innovationen zu spät sein.

Karl Marx hat in seinen Thesen über Feuerbach als 11. These geschrieben: „Die Philosophen haben die Welt nur verschieden interpretiert; es kommt aber darauf an, sie zu verändern.“ Während Marx damals Klassenunterschiede und Eigentumsverhältnisse im Blick hatte, könnte das Verlangen nach Veränderung heute wesentlich breiter und allgemeiner Anwendung finden: Ressourcenverbrauch, CO<sub>2</sub>-Ausstoß, Wirtschaftskreislauf und Warenströme, Definition von Wertschöpfung, etc. Hinzu kommen Fragen zu Wohnen und Arbeiten, Mobilität und medizinischer Versorgung. Das menschliche Leben und die Vielfalt der Natur auf dieser Erde sind gefährdet. Wir Wissenschaftler\*innen und Forscher\*innen sind gefordert, durch unsere Arbeit, unsere Gedanken und Erfindungen ein Mosaiksteinchen zur Lösung dieser großen Aufgaben beizutragen.

Um disruptive Innovationen für diese Aufgabe zu ermöglichen, braucht es kreative Menschen in einer freien Forschungslandschaft. Diese im Ansatz zu bieten – oder wenigstens den Versuch zu unternehmen, diese Freiheit zu schaffen – und damit gute Arbeitsbedingungen für kreative Forscher\*innen zu organisieren, ist das Grundinteresse am Institut für Massivbau.

Wir danken an dieser Stelle allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für ihre Ideen und ihr Engagement. Unser Dank gilt auch allen Kolleginnen und Kollegen anderer Wissenschaftseinrichtungen und der Unternehmen, mit denen wir eng zusammenarbeiten.

Viel Freude beim Lesen unseres Jahresberichts 2017.

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



# FORSCHUNG

*RESEARCH*



## 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 fünf 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 five 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*



Einrichtung eines Versuchs zur Druckuntersuchung von Carbonbeton | Preparing a compression test on a carbon reinforced concrete cube  
Photo: Sven Hofmann

narien 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 verschiedener 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 C<sup>3</sup>, im Forschungsverbund ROBEX 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.

*different reinforcements, 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>, the ROBEX alliance, 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.*



Ausstellungseröffnung in der Bereichsbibliothek DrePunct der SLUB, Dresden | Opening of the Willy Gehler exhibition at the DrePunct Library, SLUB Dresden | Photo: Sven Hofmann

## WILLY GEHLER – STAHLBETONPIONIER AUF ABWEGEN

### WILLY GEHLER – ON THE TRACKS OF A RC PIONEER

Der bis heute in der Bauingenieurcommunity kaum präsente Stahlbetonpionier Willy Gehler (1876–1953) ist aufgrund seiner politischen Verstrickungen – u. a. war Gehler Mitglied der NSDAP – auch nach 3 Jahren Grundlagenforschung weiterhin umstritten. Unumstritten sind dagegen seine fachlichen Errungenschaften im Bereich des Bauingenieurwesens, die innerhalb des Projektes aufgezeigt werden konnten. Um darauf und auf die Person Gehlers aufmerksam zu machen, standen im dritten Förderjahr vornehmlich Publikationen von Forschungsergebnissen im Vordergrund. Der Auftakt hierzu erfolgte im Rahmen eines Workshops zu Willy Gehler im April 2017, an dem v. a. Fachleute aus dem Bereich der Bautechnikgeschichte teilnahmen. Die Ergebnisse dieses Workshops, zu dem verschiedene Referenten eingeladen waren, sind in einem Tagungsband niedergelegt. Ergänzend hierzu wurde auch eine Ausstellung in der Bereichsbibliothek DrePunct der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden

*Willy Gehler (1876–1953) was a pioneer of reinforced concrete (RC) construction, but up to now, his work is barely known within the civil engineering community. Due to his political involvement as a member of the Nazi Party, among other previous political affiliations, he is still a controversial figure. As opposed to this, based on the findings of the current research project about him, there is no debate about his scientific achievements in the field of civil engineering, as our research's focus has primarily been on the publications of his research results, and the research's motivation was to draw attention to Gehler's work and his merits. It began in April 2017 with a workshop about Willy Gehler, which professionals of the history of construction technology attended. The results of this workshop are summarized in the conference proceedings. In addition to this, an exhibition was opened at the Departmental Library DrePunct of the Saxon Regional Library – State and University Library (SLUB). It was organized in collaboration*

eröffnet, die im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Technik- und Technikwissenschaftsgeschichte in einem studentischen Praxisseminar umgesetzt wurde. Ergänzt wird die Ausstellung durch eine Begleitbroschüre, die auch online einsehbar ist. Die Ausstellung steht noch bis März 2018 den Besuchern offen, ehe sie im Anschluss an der BTU Cottbus-Senftenberg zu sehen sein wird.

Die Komplexität der Persönlichkeit Gehlers war Schwerpunkt einer Präsentation auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Bautechnikgeschichte, in der Gehler als ein Wandler zwischen Industrie, Verwaltung und Wissenschaft beschrieben wird. So ist aus der Perspektive der Industrie vor allem seine praktische Tätigkeit beim damals aufstrebenden Betonbauunternehmen Dyckerhoff & Widmann zu nennen. Die Perspektive der Verwaltung vertritt er zum Berufseinstieg zunächst bei der Königlich Sächsischen Staatseisenbahn als Regierungsbauführer bzw. -meister. Seine umfangreichen Tätigkeiten in Verbindung mit dem Deutschen Institut für Normung und dem Deutschen Ausschuss für Eisenbeton, bei denen er langjähriges Mitglied war, sind ebenfalls zu nennen. Die Perspektive der Wissenschaft nimmt Gehler aber für die längste Zeit ein, sowohl als ordentlicher Professor der TH Dresden als auch als Leiter des Versuchs- und Materialprüfungsamtes Dresden. Es zeigte sich jedoch auch, dass Gehler über das Gebiet des Stahlbetons hinaus wegweisende Ansätze lieferte, sodass weitere Forschungsarbeit notwendig ist, um eine umfassende Darstellung dieses umtriebigen Ingenieurs zu liefern.



Portrait von Willy Gehler in der Ausstellung  
Portrait of Willy Gehler in the exhibition  
Photo: Sven Hofmann

*with the Chair for Technology and History of Science of Technology, as a part of a practical seminar with students. An accompanying brochure, which is also available online, is meant to provide information about the exhibition and findings. The exhibition will remain at TU Dresden until March 2018. Afterwards, the exhibition will be moved to the BTU Cottbus-Senftenberg.*

*The complexity of Gehler's personality and the inherent conflict between industry, administration, and science was the main focus of a presentation at the annual conference of the Association of Building History. From the industry's perspective, his practical work in the concrete building company 'Dyckerhoff & Widmann' which was inspiring back then, is particularly worth mentioning. He represented the government, from an administrative perspective, during his career years at the Royal Saxon State Railway. Of particular interests are his substantial contributions in connection with the German Institute for Standardization (DIN) and the German Committee for Reinforced Concrete (DAfStb), as a long-term member of such associations. Most of his time, Gehler took the perspective of science as a full professor of the TH Dresden, as well as director of the Testing and Material Office. Gehler provided pioneering ideas and methods beyond the field of reinforced concrete, which requires further research work to present a thorough image of the sedulous engineer.*

- ▶ **Titel | Title**  
Willy Gehler (1876–1953) – Spitzenforschung, politische Selbstmobilisierung und historische Rezeption eines bedeutenden Bauingenieurs und Hochschullehrers im „Jahrhundert der Extreme“  
*Willy Gehler (1876–1953) – cutting edge research, political self-mobilization and historical assessment of an important civil engineer and professor in the “century of extremes”*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- ▶ **Zeitraum | Period**  
11.2014 – 10.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock
- ▶ **Projektpartner | Project partner**  
Lehrstuhl für Technik- und Technikwissenschaftsgeschichte, TU Dresden



Betondruckgehäuse mit verklebter Saphirglasscheibe | Concrete pressure housing with a bonded sapphire glass layer  
Photo: Sebastian Wilhelm

## IN EISIGEN TIEFEN – BETON FÜR DIE MEERESFORSCHUNG

### IN ICY DEPTHS – CONCRETE FOR MARINE RESEARCH

Zum Jahresende 2017 wurde die Helmholtz Allianz ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments ([www.robex-allianz.de](http://www.robex-allianz.de)) nach fünf erfolgreichen Jahren abgeschlossen. In zwei sehr unterschiedlichen Teilprojekten wurden dabei Möglichkeiten für das Bauen auf dem Mond untersucht und Betondruckgehäuse aus ultrahochfestem Beton (UHPC – ultra-high performance concrete) für die Tiefsee entwickelt. Ziel hierbei ist es, verschiedene Anwendungen der Tiefseeforschung wie zum Beispiel autonome Unterwasserfahrzeuge in schwer zugänglichen Gebieten über lange Zeit mit Energie zu versorgen.

UHPC ist durch seine abgestimmte Korngrößenverteilung der Zuschlagstoffe, die Verwendung fein gemahlten Zements und die Zugabe von Mikrosilika als Füllstoff sehr gut für wasserdichte Strukturen geeignet. Neben der hohen Dichtigkeit des Materials zeichnet sich UHPC auch durch eine im Vergleich zu Normalbeton sehr hohe Druckfestigkeit von bis zu 250 MPa aus. Inner-

*At the end of 2017, the Helmholtz Alliance ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments ([www.robex-allianz.de](http://www.robex-allianz.de)) was completed after five successful years. At our institute, two very different subprojects were investigated within the project – possibilities for building on the moon and concrete pressure housings made of ultra-high performance concrete (UHPC) for the deep sea. The goal here was to supply with long-lasting energy sources various applications of deep-sea research, such as autonomous underwater vehicles in hard-to-reach areas.*

*UHPC is very well suited for waterproof structures due to its graded aggregate size distribution, the use of finely ground cement and the addition of micro-silica as filler. In addition to the high density of the material, UHPC is characterized by a very high compressive strength of up to 250 MPa compared to normal strength concrete. Within the project, different housing shapes and sealing systems have been developed, manufactured and*

halb des Projekts wurden unterschiedliche Gehäuseformen und Dichtungssysteme entwickelt, hergestellt und getestet. Neben einer Vielzahl an Kurzzeitdruckversuchen im Drucktank des Deutschen Forschungsinstituts für künstliche Intelligenz (DFKI) in Bremen konnten auch zwei Langzeitversuche im Arktischen Ozean in 2.500 m Tiefe bei -1 °C absolviert werden (2015/16 und 2016/17). Dabei konnte gezeigt werden, dass die Gehäuse aus UHPC ohne zusätzliche Beschichtung auch nach einem Jahr wasserdicht sind. In zahlreichen numerischen Simulationen unter Verwendung des nichtlinearen Materialgesetzes multiPlas in ANSYS konnten Parameterstudien für die Bemessung durchgeführt und mit den experimentell ermittelten Daten abgeglichen werden. Beispielsweise wurde der Einfluss einer mehraxialen Belastung auf UHPC an 10er Würfeln in der Triaxial-Prüfmaschine ermittelt und berücksichtigt. Anhand der gewonnenen Ergebnisse konnten Bemessungsvorschläge abgeleitet werden. Zum derzeitigen Stand ergibt sich somit ein praktikabler Einsatzbereich für zylindrische Betondruckgehäuse von 3.000 bis 3.800 m.

Im Teilprojekt „Bauen auf dem Mond“ wurden modulare Strukturen entwickelt und untersucht, die am Boden gefertigt und montiert und ohne Hebetchnik aufgerichtet werden können. Eine so errichtete Basis könnte in Zukunft als Forschungs- und Schutzkonstruktion oder als Ausgangspunkt für die Erkundung anderer Planeten, wie z. B. dem Mars, genutzt werden. Ziel ist es, den Beton für die einzelnen Segmente aus den Ressourcen des Mondes zu gewinnen.



3D-Druck einer selbstaufrichtenden Konstruktion aus modularen Elementen für den Einsatz auf dem Mond, fotografiert während der Demo-Mission im Sommer 2017 auf dem Ätna  
3D print of a self-erecting construction for a moon base made of modular elements, photographed during the demo-mission in summer 2017 on Mount Etna | Photo: Sebastian Wilhelm

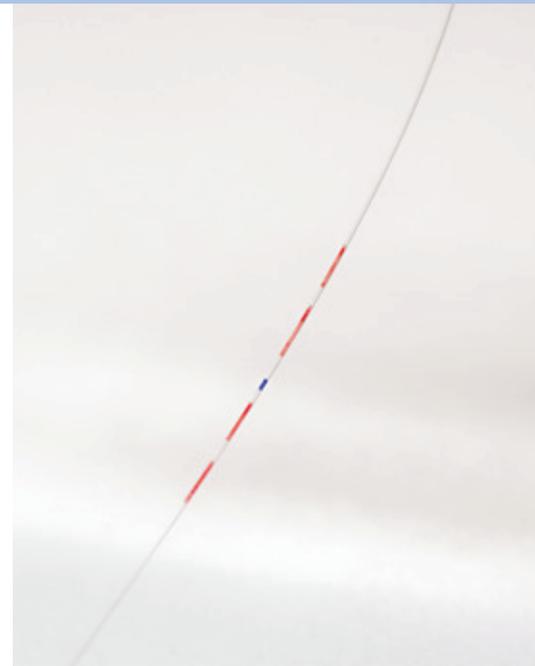
*tested. In addition to a large number of short-term pressure tests in the pressure tank of the German Research Institute for Artificial Intelligence (DFKI) in Bremen, two long-term experiments in the Arctic Ocean at 2,500 m depth at -1 °C were completed (2015/16 and 2016/17). It could be shown that the housings made of UHPC are watertight even after one year stay deep in the sea without additional coating. Numerous numerical simulations using the multiPlas nonlinear material law in ANSYS have enabled parameter design studies to be performed and compared with experimentally determined data. For example, the influence of a multi-axial load on UHPC cubes with 10 cm edge length was determined in a triaxial testing machine and considered in the calculation. Based on the results obtained, design guidelines could be derived. At the present state of knowledge, the practicable application field for cylindrical concrete pressure housings is up to 3,000 to 3,800 m.*

*In the subproject ‘building on the Moon,’ modular structures have been developed and studied which can be manufactured and assembled on the ground and erected without lifting technology. Such a base could be used in the future as a research and protection structure or as a starting point for the exploration of other planets such as Mars. The goal is to manufacture the concrete for the needed individual segments using the type of resources available on the moon.*

- ▶ **Titel | Title**  
TP Beton für den Einsatz unter Extrembedingungen im Verbundforschungsprojekt ROBEX – Robotische Exploration unter Extrembedingungen  
*Sub-project Concrete for application under extreme environments as part of the joint research project ROBEX – Robotic Exploration of Extreme Environments*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Helmholtz-Gemeinschaft / ROBEX
- ▶ **Zeitraum | Period**  
10.2012 – 12.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
18 Forschungseinrichtungen und Firmen in ganz Deutschland



Faseroptische Sensoren, eingebettet in einem Trägergerüst aus Messing-U-Profilen; die Lage der Messstellen ist durch die rot und blau eingefärbten Bereiche gekennzeichnet | Fibre optic sensors embedded in a support frame made of brass U-profiles; the location of the measuring points is indicated by the red and blue coloured areas | Photo: Sven Hofmann



Codierung der Messstelle auf einem faseroptischen Sensor | Coding of the test point on a fibre optical sensor | Photo: Sven Hofmann

## MIT FASERN DIE ANISOTROPIE ENTDECKEN

### DISCOVER ANISOTROPY WITH FIBRES

Kann Beton nach seiner Herstellung noch als nahezu isotrop betrachtet werden, so führen ab einem bestimmten Lastniveau (Mikro)Risse im Betongefüge zu einer Anisotropie, da sich die Rissufer entsprechend des vorherrschenden Spannungszustandes orientieren. Qualitativ wurde diese Anisotropie vielfach beobachtet, quantitative Aussagen über Steifigkeiten und Festigkeiten liegen jedoch kaum vor. Für eine realistische Modellierung des Betonverhaltens, wie sie Prof. Petryna (TU Berlin) mittels einer verzerrungs- und energiebasierten Formulierung des Werkstoffgesetzes anstrebt und bei der Evolutionsgleichungen und Versagensflächen überwiegend auf messtechnisch nachvollziehbaren Parametern basieren, ist die Kenntnis dieser richtungsabhängigen Eigenschaften erforderlich.

Zur Ermittlung der Parameter sind an unserem Institut Versuche geplant, die verschiedene Be- und Entlastungspfade im dreiaxialen Spannungsraum abbilden. Nach einer Vorschädigung werden bleibende Verformungen, die Steifigkeiten

*Concrete is almost an isotropic material after its production. But when it is loaded to a certain load level, (micro) cracks occur in the material. The crack openings are oriented along the controlling stress field. As a result, such cracking leads to anisotropy. Anisotropy has been many times analyzed qualitatively, but there are hardly any quantitative assessments of the associated stiffness and strength. Our project partner – Prof. Petryna from TU Berlin – wants to create a realistic model of the concrete's behaviour based on a strain or energy based formulation of the material law, where evolution laws and failure surfaces are mainly defined by physically measurable parameters. Therefore, knowledge about the anisotropic properties is necessary.*

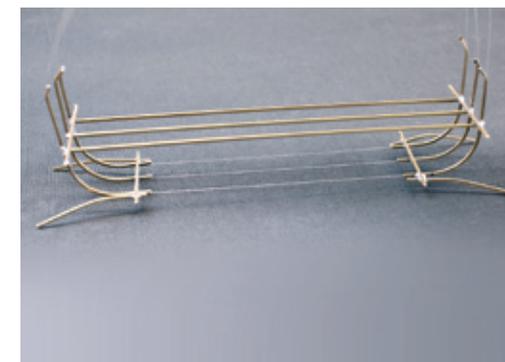
*To determine the needed parameters, several experiments were planned at the institute to map different loading and unloading paths of the triaxial stress. After the test piece was pre-damaged, permanent deformations, stiffness in all spatial directions, and the corresponding*

in allen Raumrichtungen und Festigkeiten unter ausgewählten Spannungsverhältnissen ermittelt. So werden u. a. bei einem einaxialen Druckversuch neben der Entlastungssteifigkeit und der plastischen Verformung in Belastungsrichtung anschließend auch die Steifigkeit und die Zugfestigkeit in Querrichtung bestimmt – um ein einfaches Beispiel zu nennen.

Essentiell für den Erfolg des Vorhabens ist deshalb eine exakte Dehnungsmessung auch im Bereich sehr geringer Dehnungen. Die Seitenflächen der Probewürfel werden aber gleichzeitig oder nacheinander durch die Lasteinleitungsmittel belastet und stehen somit 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 werden im Moment Faserart, Coating, Umlenkradius und Kleber variiert. Auch wird getestet, ob die FOS eventuell an der Messstelle freiliegend und ohne Trägergerüst einbetoniert werden können. Ein Vergleich mit etablierten Messmitteln wie Dehnmessstreifen und Fotogrammetrie soll zur Wahl einer optimalen Messkonfiguration führen. Kriterium dafür ist eine ausreichend genaue örtliche Auflösung der Dehnungen unter Druck- und Zugbeanspruchung sowie eine geringe Beeinflussung des Versagensmechanismus durch die eingebettete Faser und/oder das Trägergerüst.

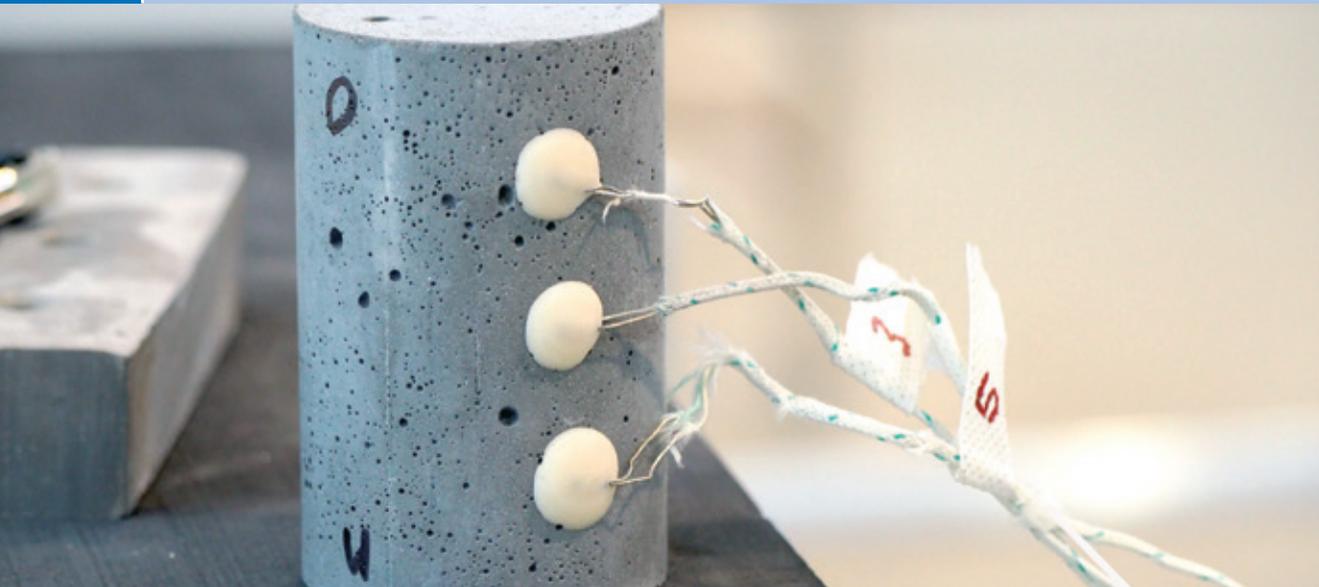
*strength under selected stress ratios were determined. For example, at a uniaxial pressure test, not only the stiffness after unloading and the plastic deformation along the stress direction were determined, but also the stiffness and tensile strength in the corresponding transverse direction.*

*Therefore, an exact strain measurement, even in areas with extremely low strain, is essential for the success of the research. Since the load is applied to all surfaces of a test cube, in all three directions, it is not possible to install measuring equipment on the cube surfaces. For this reason, it was decided to use fibre optical sensors. They can be used for continuous strain measurements and positioned within the concrete with the help of a supporting structure. Preliminary testing is being conducted for various type of fibre, coating, deflection radius and adhesive. Furthermore, testing is being conducted to determine if the fibre optical sensors can be encased in concrete without a supporting structure within the measurement area. An optimal measuring configuration should be found, similar to those used in conjunction with established measuring devices, like strain gauge and photogrammetry. Key criteria used in the optimization is the precision that can be achieved for the strain and tensile stress measured under pressure, as well as the small effect that the failure mechanism has on the fibre and supporting structure.*



Trägergerüst mit freiliegender Faser im Messbereich für Vorversuche an Mörtelprismen | Support frame with exposed fibre in the measurement range for preliminary tests on mortar prisms | Photo: Sven Hofmann

- ▶ **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
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**  
Dr.-Ing. Kerstin Speck
- ▶ **Projektpartner | Project partner**  
FG Statik und Dynamik, TU Berlin



Prüfzylinder für zyklische Belastung mit drei Wärmefühlern über die Probekörperhöhe verteilt | Specimen for test under cyclic loading with three thermocouples distributed over the sample's height | Photo: Melchior Deutscher

## LASTINDUZIERTER ERWÄRMUNG VON UHPC

### LOAD-INDUCED INCREASE OF TEMPERATURE IN UHPC

Die aktuellen Entwicklungen im Bauwesen orientieren sich an den Grundsätzen der ressourcenschonenden und filigranen Bauweise. Die erforderliche Steigerung der Materialeffizienz wird im Massivbau durch die Entwicklung von Hochleistungsbetonen erreicht. Durch die Reduzierung von Eigengewicht durch optimierten Materialeinsatz wird allerdings eine Schwingungsanfälligkeit bedingt. Maßgebend wird dies vor allem im Bereich der zyklisch beanspruchten Bauwerke wie Windkraftanlagen oder weitgespannten Brücken, die sehr hohen Lastwechselzahlen ausgesetzt sind. Für den optimalen Einsatz der Hochleistungsbetone ist daher die Kenntnis des Ermüdungsverhaltens erforderlich. Dieser Thematik widmet sich das DFG-Schwerpunktprogramm SPP 2020, in dem die Materialdegradation experimentell untersucht und numerisch beschrieben werden soll.

In unserem Teilprojekt „Lastinduzierte Temperaturfelder bei UHPC“ soll ein Beitrag zur Untersuchung des Schädigungsverlaufes von ultrahochfestem Beton (UHPC) geleistet werden. In bisherigen Untersuchungen an Hochleistungsbetonen unter hochfrequenter Druckbeanspruchung wurde eine Betonermüdung festgestellt, aller-

*The development of the construction industry moves towards resource-saving and filigree constructions. Ultra-high performance concrete (UHPC) was developed to reach a higher efficiency of this material. As a result, the structures will be leaner and lighter in the future. However, due to a reduction of dead weight through the optimized use of materials, structures are more susceptible to induced vibrations. This is particularly important in the area of cyclically stressed structures, such as long-span bridges and wind turbines, which are exposed to very high number of load cycles. In particular, a thorough understanding of the fatigue behaviour of UHPC is required. The Priority Programme SPP 2020, funded by DFG, addresses this topic. Within the SPP, the aim is to explore the material degradation of high-performance concretes and to develop a material model.*

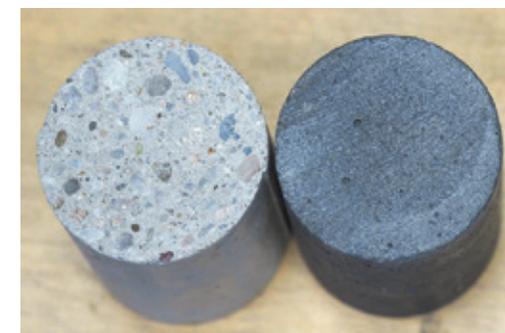
*The focus of the subproject "Load-induced increase of temperature in UHPC" is to investigate the increase in temperature of concrete specimens due to cyclic loading, which has been observed in some previous fatigue investigations. The thesis is that the*

dings in sehr unterschiedlichem Ausmaß. These ist, dass diese induzierten Temperaturfelder einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit haben. Das stark verdichtete Materialgefüge eines UHPC weist ein großes inneres Reibungspotential auf, was als wahrscheinliche Ursache für den Temperaturanstieg vermutet wird. Bisherige Erkenntnisse lassen vor allem das verwendete Größtkorn sowie die Frequenz und das Lastspiel der zyklischen Belastung als Haupteinflüsse auf den Temperaturanstieg erkennen.

Eine systematische Untersuchung der Parameter hinsichtlich der Höhe und der Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs sowie deren Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit stehen noch aus und sollen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführt werden. Dafür wurde unter Beachtung des Wissensstandes ein umfangreiches Prüfprogramm aufgestellt. Variiert werden dabei die Festigkeit des Betons, das Größtkorn, die Probengröße, Oberspannungen und Belastungsfrequenzen sowie das Betonalter. Ziel der Untersuchungen ist die Beschreibung der Temperaturentwicklung in Abhängigkeit der genannten Parameter sowie von deren Einfluss auf die Verformungen, die Rissbildung und das Betongefüge während des Ermüdungsprozesses. Die Erkenntnisse dienen dem Projektpartner an der TU Darmstadt im Weiteren zur Entwicklung eines Materialmodells, welches das Ermüdungsverhalten von UHPC bei hochfrequenter Druckbeanspruchung beschreibt.

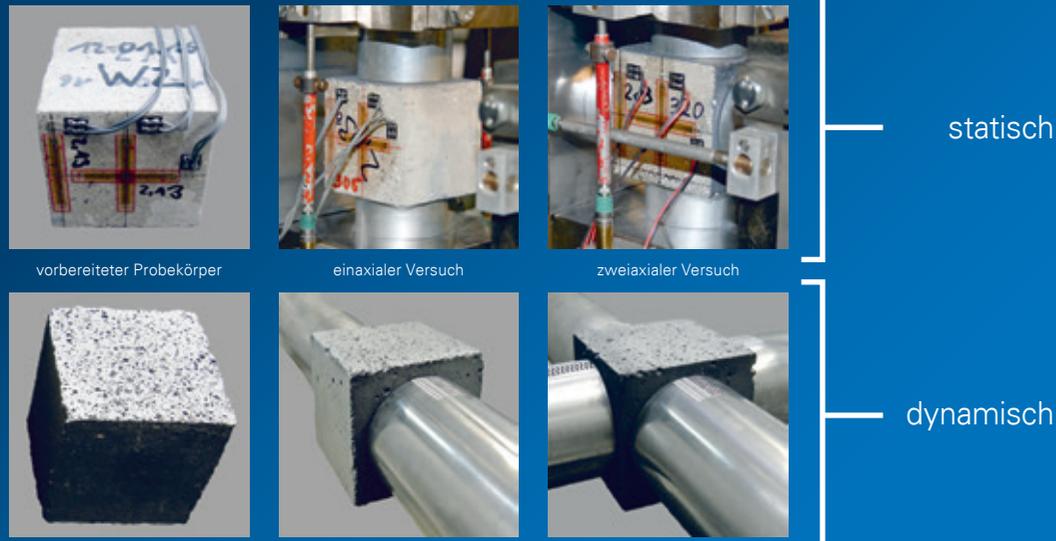
*induced temperature fields have a non-negligible influence on the damage process and the fatigue strength of UHPC. The significantly denser material composition, which causes greater internal friction, is assumed to be the reason for the phenomenon. The size and the speed of the temperature increase depending on the load frequency and regime as well as the largest grain.*

*Systematic experimental studies on the effect of the different parameters on the load-induced temperature fields and the degradation of the concrete material by fatigue loading are still pending, and will be completed within this project. The basis for the systematic investigations is the current state of knowledge. The strength of the concrete, the grain size, the specimen's geometry, the loading parameters (e.g., upper stresses and load frequency) as well as the concrete age will be varied. The goal of the investigation is to quantify the temperature development as a function of the different parameters. Furthermore, we want to describe the influence of the temperature fields on the strains, the cracking and the concrete microstructure during the fatigue process. The project partner at TU Darmstadt will develop a material model that describes the fatigue behaviour of UHPC at high-frequency compressive stresses.*



Prüfkörper mit unterschiedlicher Betonzusammensetzung | Specimens with different composition of the concrete | Photo: Melchior Deutscher

- ▶ **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
- ▶ **Leiterin | Project manager**  
Dr.-Ing. Silke Scheerer
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Melchior Deutscher



Von links nach rechts: vorbereitete Probekörper, ein- und zweiachsender Versuchsaufbau (verschiedene Prüfmaschinen) für statische Versuche (oben) und für dynamische (unten) | Left to right: prepared specimens, uni- and biaxial setups (different test facilities) for static (top) and dynamic (bottom) trials | Photo: Matthias Quast, Rainer Belger

## BETON SCHNELL BELASTET CONCRETE QUICKLY LOADED

Bauwerke von größerer gesellschaftlicher Bedeutung gehören zur sogenannten kritischen Infrastruktur, so zum Beispiel Einrichtungen des Gesundheitswesens, der Verkehrsinfrastruktur und der Energieversorgung. Vor allem diese Gebäude sind äußeren, natürlichen und anthropogenen Risiken ausgesetzt. In den meisten Fällen bildet hier eine Konstruktion aus Stahlbeton die schützende Hülle zwischen den Nutzern und den Einwirkungen. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, das Materialverhalten von Beton auch unter so außergewöhnlichen Lastfällen wie Anprall oder Explosion zu untersuchen.

In sehr ausführlichen Versuchsreihen wurde der Einfluss einer stoßartigen Belastung auf die ein- und zweiachsende Druckfestigkeit eines Betons der Festigkeitsklasse C20/25 untersucht. Die statischen Referenzversuche wurden in hydraulischen Prüfmaschinen mit einer Dehnrage von  $3 \cdot 10^{-5}$  1/s durchgeführt. Diese Belastungsgeschwindigkeit liegt im Bereich üblicher statischer Laborversuche. Die stoßartige Belastung erfolgte mit einer Dehnrage im Bereich von 75 bis 150 1/s, was dem

*Structures that play a major role in society belong to the so-called 'critical infrastructure'. Among them are health care facilities, transportation, and energy supply infrastructure. These structures are exposed to external natural and anthropogenic risks. In most cases, a reinforced concrete structure acts as a barrier to protect the users. Therefore, it is vital to study the material behaviour of concrete under extraordinarily load cases, such as impact or explosion.*

*The effect of an impact load on the uniaxial and biaxial compressive strength of a concrete type C20/25 was extensively investigated in various series of tests. The static reference tests were carried out in hydraulic testing machines with a strain rate of about  $3 \cdot 10^{-5}$  1/s. This loading rate is in the range of conventional static laboratory tests. The impact load occurred at a strain rate in the range of 75 to 150 1/s, which roughly corresponds to the load sustained by an aircraft during a crash. These dynamic experiments were carried out using the classic experimental principle of the split-Hopkinson bar, in which*

Lastfall eines Flugzeuganpralls entspricht. Diese dynamischen Versuche wurden mit Hilfe des klassischen Versuchsprinzips des Split-Hopkinson-Bars durchgeführt, bei dem die Betonprobe mit Hilfe einer Stoßwelle belastet und zerstört wird. Für die verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten wurden sowohl einaxiale Versuche als auch zweiachsende Versuche mit verschiedenen Spannungsverhältnissen durchgeführt.

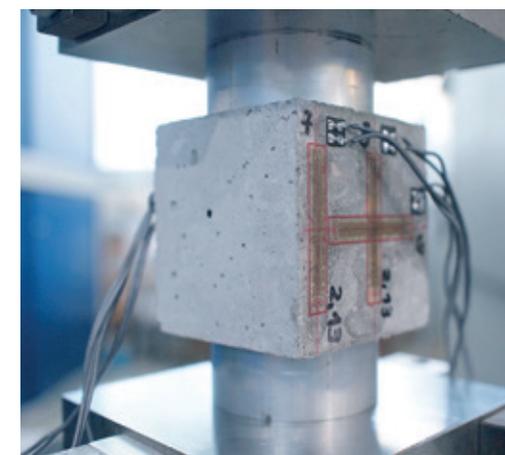
Anhand der einzelnen Versuchsergebnisse wurden vergleichende Berechnungen angestellt. Daraus können die Einflüsse der dynamischen Belastung auf den einaxialen Fall und hinsichtlich verschiedener zweiachsender Spannungszustände abgeleitet werden. Andererseits kann auch der Einfluss des Spannungsverhältnisses bei einer bestimmten Belastungsgeschwindigkeit ermittelt werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die druckfestigkeitssteigernden Effekte einer zweiachsenden und einer stoßartigen Belastung teilweise überlagern, wobei im untersuchten Geschwindigkeitsbereich der Einfluss der dynamischen Festigkeitssteigerung gegenüber dem Einfluss der Mehraxialität deutlich überwiegt.

*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501483 gefördert.*

*the concrete sample is loaded and destroyed by means of a shock wave.*

*For the different loading rates, both uniaxial tests and biaxial tests with different stress ratios were conducted. Comparative calculations were made by the individual test results. From this, the influences of the dynamic load on the uniaxial case and various biaxial stress states can be derived. On the other hand, the influence of the stress ratio can be determined at a certain load rate. In summary, it can be stated that increasing the compressive strength of concrete affects both, the biaxial stress state and the response to an impact load; the increase of the dynamic strength has a clear effect on the multi-axial behaviour of the concrete sample within the examined velocity range.*

*The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project No. 1501483) on the basis of a decision of the German Parliament.*



Probekörper im einaxialen statischen Versuchsaufbau | Specimen in uniaxial static test setup | Photo: Matthias Quast

- ▶ **Titel | Title**  
Zweiachsende Betondruckfestigkeit unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten  
*Biaxial compressive strength of concrete under high loading rates*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- ▶ **Zeitraum | Period**  
10.2014 – 12.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Matthias Quast



Messung der Wellenlaufzeit mittels Ultraschall | Measuring of the wave transit time with ultrasonic | Photo: Sven Hofmann

## WELLEN IM BETON WAVES IN CONCRETE

Flugzeuganprall, Erdbeben und Explosionen – solche außergewöhnlichen Beanspruchungen sind entscheidend für die Bemessung und Konstruktion von Gebäuden der kritischen Infrastruktur, wie beispielsweise Kraftwerke oder Flughäfen. Um die Sicherheit dieser Bauwerke zu gewährleisten und beurteilen zu können, ist das Verständnis des Material- und Schädigungsverhaltens von Beton unter schneller, dynamischer Einwirkung von entscheidender Bedeutung.

Beton weist unter dynamischer Beanspruchung höhere Festigkeiten als im quasi-statischen Fall auf. Dieses Phänomen ist seit über 100 Jahren bekannt und wird als sogenannter Dehnrateneffekt bezeichnet. Neben Trägheitseffekten aufgrund der geschwindigkeitsabhängigen Wachstumsrate der Mikrorisse gilt das Porenwasser als weitere Ursache für diese Festigkeitssteigerung. Das viskose Verhalten des freien Wassers zwischen den Rissoberflächen erzeugt Kapillarkräfte, welche dem Risswachstum entgegenwirken. Zudem beeinflussen die Poren und deren Wassergehalt maßgeblich die Ausbreitung der Belastungswelle.

*Plane impact, earthquakes, and explosions – such extraordinary loads are critical to the design and construction of buildings, for example power plants or airports. To ensure and assess the safety of these structures, understanding of the material and damage behaviour of concrete under rapid, dynamic impact is crucial.*

*Concrete has higher strengths under dynamic stress than in the quasi-static case. This phenomenon has been known for over 100 years, as the so-called 'strain rate effect'. In addition to inertial effects due to the rate-dependent growth rate of the microcracks, the pore water is considered as another cause of this increase in strength. The viscous behaviour of the free water between the crack surfaces creates capillary forces that counteract crack growth. Also, the pores and their water content have a significant influence on the propagation of the impact wave.*

*To describe the wave propagation at these dis-*

*continuities, artificial pores are to be introduced into concrete specimens and loaded dynamically in the split-Hopkinson bar. Number, size, position, and water content of the artificially generated pores are to be varied. To reduce the influence of other discontinuities, such as aggregate's grain sizes and air pores, a very fine-grained, well-compacted concrete is used.*

*Also, special attention must be paid to the measuring technology and especially its arrangement. Since the stress wave passes through the specimen within a few microseconds, a high sampling rate of the strain gauges is required. The partial transmission, reflection, and superimposition of the wave play a role as well. The position of the strain gauges thus determines what part of the wave is measured. In combination with numerical simulation, the experimental results are verified to gain insights into the influence of water-filled pores on the behaviour of concrete under impact load.*

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

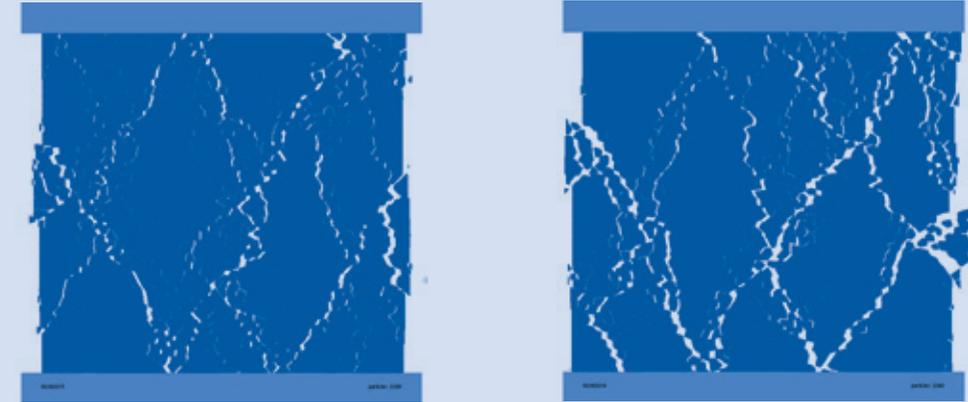
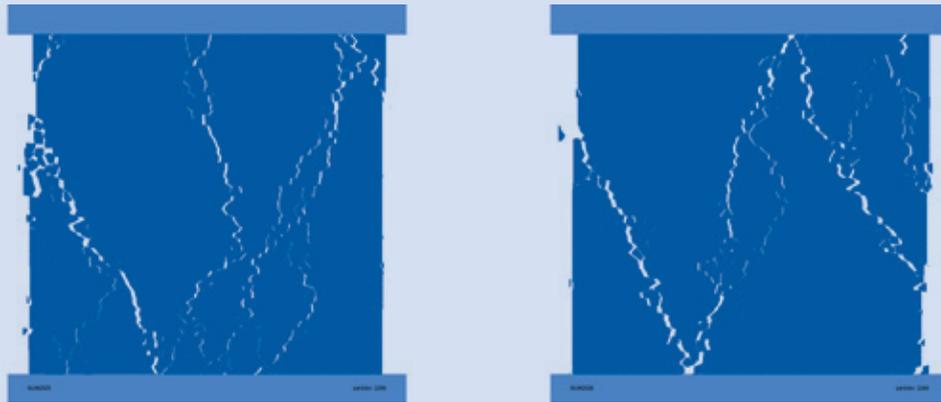
*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501553 gefördert.*

*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.*



Mit Wasser gefüllter Schlauch im Split-Hopkinson-Bar | Photo: 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
- ▶ **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



Rissmuster von Betonprobekörpern unter geringerer Belastungsgeschwindigkeit | Crack patterns of concrete specimens under lower loading velocities | Graphics: Birgit Beckmann

Rissmuster von Betonprobekörpern unter höherer Belastungsgeschwindigkeit | Crack patterns of concrete specimens under higher loading velocities | Graphics: Birgit Beckmann

## DISKRETE-ELEMENTE-SIMULATION VON BETONVERSAGEN

### DISCRETE ELEMENT SIMULATION OF CONCRETE FAILURE

Das Versagensverhalten von Beton wird in diesem Forschungsprojekt in einer numerischen Simulation auf Grundlage der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) untersucht. Dabei geht es vor allem darum, den Versagensprozess und das Bruchverhalten einschließlich der dazugehörigen Rissentwicklung zu untersuchen. Eine diskrete Simulation ist hierfür besonders geeignet, da Risse inhärent in der Methode enthalten sind. In der Simulation wird dabei der Betonprobekörper durch ein Ensemble von einzelnen Partikeln repräsentiert. Ein diskreter Modellierungsansatz unterscheidet sich von einem kontinuumsbasierten Ansatz dahingehend grundlegend, dass die Bewegungsgleichungen der einzelnen Partikel kinematisch unabhängig sind und dass Diskontinuitäten eine inhärente Eigenschaft der Simulationsmethode sind.

In der numerischen Simulation werden die Betonprobekörper durch Einbeziehung einer Zufallsfunktion so generiert, dass sie hinsichtlich ihrer konkreten Positionen der einzelnen Partikel statistische Abweichungen zeigen. Dies entspricht im realen Laborexperiment verschie-

*The failure behaviour of concrete is investigated using a numerical simulation based on discrete element method (DEM) in this project. The aim is particularly to analyse the failure and fracture including the crack evolution rather than the load bearing behaviour within safe static loading ranges. For this purpose, a discrete simulation is especially suitable since cracks are an inherent part of the simulation method. In the simulation, the concrete specimen is represented by an ensemble of single particles. A discrete approach fundamentally differs from continuous approaches to that effect that equations of motion of the single particles are kinematically independent and that discontinuities are an inherent property of the method.*

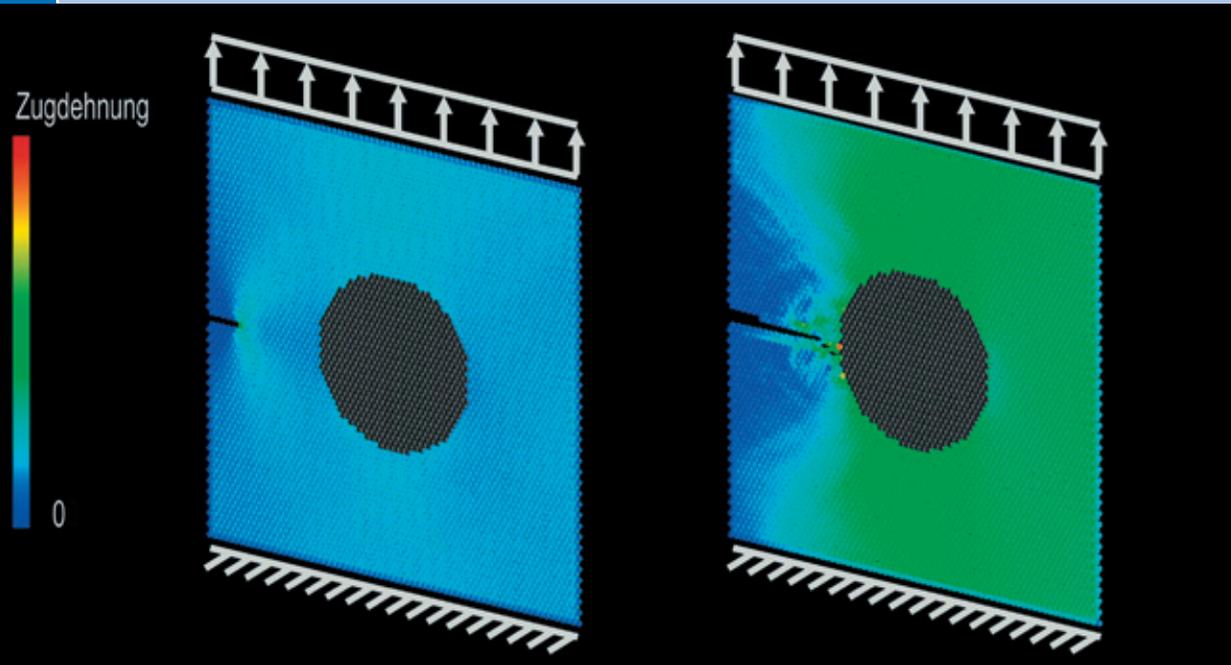
*In the numerical simulation, the concrete specimens are generated in that way that they differ regarding statistically varying positions of the single particles. This corresponds to different specimens of the same manufacturing charge in real laboratory experiments, since particular positions of aggregate pieces and matrix underlie statistic variations in laboratory experiments, too.*

denen Probekörpern derselben Betoncharge; denn auch hier unterliegen die konkreten Positionen der einzelnen Zuschlagbestandteile und der Matrix statistischen Variationen.

In der Simulation werden verschiedene Partikelgenerierungen mit denselben sonstigen Parametern berechnet. Dies entspricht wieder verschiedenen Probekörpern derselben Betoniercharge im Laborexperiment. Darüber hinaus werden in der Simulation auch exakt dieselben Probekörper mehrfach virtuell beansprucht – einmal unter langsamerer und einmal unter schnellerer Belastungsgeschwindigkeit. Die Möglichkeit, ein und denselben Probekörper mehrfach und unter verschiedenen Bedingungen bis zum Bruch belasten zu können, ist ein Vorteil der numerischen Simulation gegenüber dem Laborexperiment. In den Bildern werden zwei wesentliche Ergebnisse deutlich. Zum einen ist ersichtlich, dass sich die Bruchbilder von verschiedenen Repräsentationen derselben Charge prinzipiell ähneln, sich aber in den Details der konkreten Risspositionen unterscheiden. Dies ist genauso wie im Laborexperiment, wo die Risse an zwei Proben auch nie exakt an denselben Positionen entstehen. Zum anderen wird in den Bildern sichtbar, dass die Probekörper unter höherer Belastungsgeschwindigkeit Rissbilder zeigen, die einander ähnlicher sind als bei geringeren Belastungsgeschwindigkeiten und beispielsweise auch eine stärkere Verzweigung aufweisen.

*In the simulation, different particle generations with the same further parameters are calculated, similarly to different specimens of the same charge in real experiments. Furthermore, exactly the same particle ensembles are calculated until ultimate load and failure several times – under lower and under higher loading velocities. The opportunity to analyse one and the same specimen under different loading conditions is an advantage of the simulation versus the laboratory experiment. Two relevant results can be seen in the figures. Firstly, it is shown that the crack patterns of different representations of the same charge are principally similar but differ in the details of their particular crack positions. This is the same as in the laboratory experiments, where the cracks of two specimens are never exactly identical. Secondly, the figures show that the similarity of the crack patterns increases with increasing loading velocities and also that branching of the cracks is higher.*

- ▶ **Titel | Title**  
Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen  
*Simulation of concrete failure with discrete elements*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG – Zukunftskonzept der TU Dresden)
- ▶ **Zeitraum | Period**  
10.2013 – 10.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**  
Dr.-Ing. Birgit Beckmann



Zuschlagkorn in Mörtelmatrix – Zugversuch bei moderater Belastungsgeschwindigkeit: Risswachstum von der Kerbe hin zum Korn ...  
Virtual aggregate inside of cementitious matrix – tensile test at low strain rate; the crack propagates, beginning from the notch ...  
Graphic: Dirk Reischl

## EIN EFFEKT, DER KEINER SEIN SOLL – UND DER MANN MIT DEN ZWEI UHREN

### THE STRAIN RATE EFFECT – STRAIN, STRESS OR JUST INERTIA?

Postuliert, experimentell bestätigt, dann wieder zum bloßen Mythos erklärt – der sogenannte Dehnrateneffekt ist Streitthema sowohl unter Theoretikern als auch unter praktisch tätigen Ingenieuren. Gemeint ist die vermeintliche oder tatsächliche Festigkeitssteigerung von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten, wie sie in Anprall- und Impaktsituationen auftreten.

Strittig sind dabei weniger die jeweiligen Versuchsanordnungen und Messergebnisse als vielmehr deren Interpretation und Zuordnung zu verschiedenen Erklärungsmustern. So stellen einige Forscher den Effekt – weil angeblich einzig auf Trägheitseffekten beruhend – gänzlich in Frage. Andere erkennen zumindest einen Teil des Effektes als materiell an. Eine der gängigsten Erklärungen sieht im Zerschlagen des Zuschlagmaterials bei höheren Dehnraten einen wesentlichen Faktor zur Beschreibung des Phänomens.

*Postulated and confirmed by experiments, then again simply called a myth – the so-called strain rate effect is a permanent subject of the argument amongst theorists as well as practitioners in the field of concrete's material behaviour. This terminus technicus is used to describe the actual or supposed increase of material strength at high strain rates that appear in situations of shock and impact – one may think of natural events like earthquakes or rock fall, of high-mass accidents, but also of the disastrous effect of explosions and projectile motion.*

*It is not the individual experimental set-up or the raw experimental data that frequently raise questions, but the interpretation of the experimental results and the different ways to explain data by different phenomena. Some researchers challenge the effect as a sheer effect of inertia, others accept it as being partially substantial.*

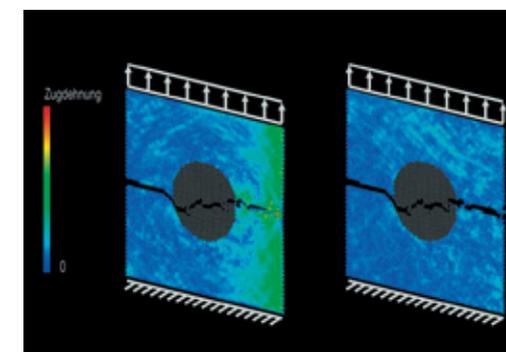
Impaktsituationen zeichnen sich durch extreme Kurzzeitigkeit aus, was frühere Experimente zum dynamischen Materialverhalten sehr schwierig gestaltete. Inzwischen stehen mit Dehnmessstreifen auf Halbleiterbasis und Piezo-Beschleunigungsaufnehmern geeignete Instrumente zur zeitlichen Auflösung der das Material durchlaufenden Stoßwellen zur Verfügung. Allerdings stellt diese Auflösung den Experimentator vor ein neues Problem: Da die Messtechnik an verschiedenen Stellen des Probekörpers appliziert wird, die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit im Material aber begrenzt ist, misst die Technik nun doppelt und dreifach, was früher nur gemittelt über größere Bereiche erfasst werden konnte. In gewisser Weise geht es dem Forscher also wie dem Mann mit den zwei Uhren – er kennt zwei Uhrzeiten, aber welche ist die richtige?

Numerische Simulationen können helfen, die vielfältigen Effekte von Wellenausbreitung, Reflexion und Schädigung im Material sichtbar und damit verständlicher zu machen. Sie sollen das Laborexperiment nicht ersetzen, sondern sinnvoll ergänzen und bei der Interpretation der experimentellen Ergebnisse von Nutzen sein. Die Methode der diskreten Elemente (DEM) scheint besonders geeignet, Effekte wie Stoßwellenausbreitung und Schädigung im numerischen Experiment zu untersuchen. Da sie fast völlig auf den Newton'schen Bewegungsgleichungen beruht, sind Trägheitseffekte integraler Bestandteil der Simulationsergebnisse – und können entsprechend qualifiziert, quantifiziert oder auch ganz herausgerechnet werden.

*One common explanation makes the increasing number of crushed aggregates at high strain rates responsible for the phenomenon called strain rate effect.*

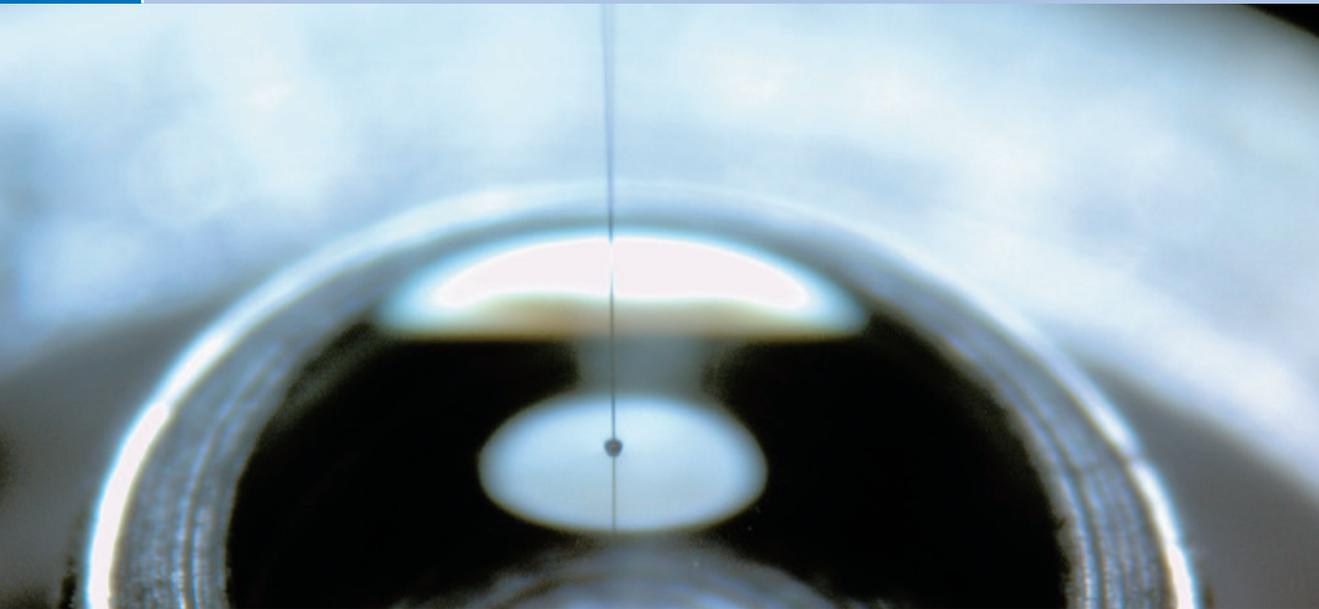
*Situations of shock and impact are characterized by a high degree of suddenness, which, in the past, made it a great challenge to investigate dynamic material behaviour. Nowadays semiconductor-based strain gauges and piezo-electric accelerometers are available that allow to study the spatial and temporal aspects of wave propagation at high resolution. Now again, the researcher is confronted by another problem: Since high-resolution gauges are applied at different points of the respective specimen, different information is obtained twice at the same time – an effect which is called time lag. It is the old conundrum of the man who owns two watches: He'll never know how late it is.*

*Numerical simulations can help to make the numerous effects of wave propagation and crack evolution visible and therefore easier to understand. They are not intended to replace, but to accompany experiments in a useful and very practical manner that allows the interpretation and extrapolation of experimental data. The discrete element method (DEM) seems to be extremely suitable to deal with several effects of shock wave propagation and material behaviour at high strain rates. Since almost completely based on Newton's laws of motion, inertial effects are intrinsic elements of the computational method which can be estimated in qualitative and quantitative manner – or completely neglected.*



... durch das Korn hindurch und weiter bis zum Rand.  
... and splits the aggregate into halves.  
Graphic: Dirk Reischl

- ▶ **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 – 04.2019 (Phase 3)
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Math. Dirk Reischl



In einem Matrixtropfen eingebettete Einzelfaser | Single fibre embedded in a drop of the matrix | Photo: Alma Rothe, IPF Dresden

## VERBUNDMODELLIERUNG BEI IMPAKT

### BOND MODEL FOR IMPACT LOADING

Dieses Projekt ist Teil des DFG-Graduiertenkollegs GRK 2250/1 „Impaktsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite“. Dazu gehören insgesamt 6 experimentell ausgerichtete Projekte, 4 numerische und ein übergeordnetes, die an verschiedenen Instituten und Fakultäten der TU Dresden und am IPF Dresden bearbeitet werden. Ziel dieses Teilprojekts ist es, ein Modell zu erstellen, mit dem das Verhalten einer Faserbetonstruktur unter Stoßbelastung auf der Grundlage der Verbundeigenschaften zwischen Faser und Betonbestandteilen simuliert werden kann.

Die heterogene Struktur des Betons wird in einem mehrstufigen System beschrieben, um die unterschiedlichen Auswirkungen von Rissfortpflanzung und Rissbildung möglichst exakt zu berücksichtigen. Wir konzentrieren uns bei der Modellierung auf die Meso-Ebene. Hier ist eine Größenordnung von 10 mm eine typische lineare Dimension für das Modell. Darüber hinaus werden im mesoskaligen Modell grobe Zuschlagstoffe, Zementmörtel und Fasern neben den Grenzflächen zwischen Mörtel und Zuschlagstoff sowie zwischen Mörtel und Faserstoff mit ihren Materialeigenschaften differenziert modelliert.

*This project is 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 capable of simulating the behaviour of a fibre reinforced concrete structure under impact load based on bonding characteristics between fibre and concrete ingredients.*

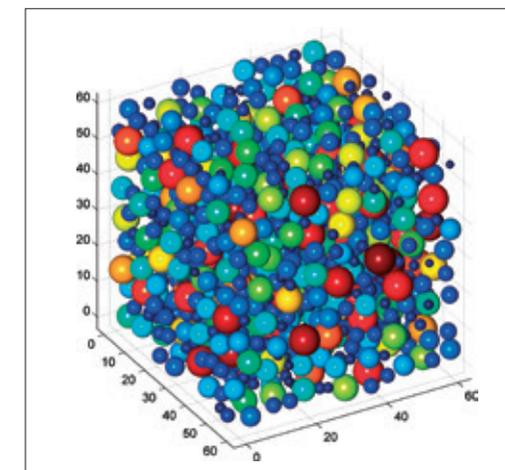
*The heterogeneous structure of concrete is described in terms of a multi-level system. To take different effects of crack propagation and crack arresting into consideration, different levels have been introduced. Since we are interested to know more about the bond-slip behaviour, we need to focus on specific level of modelling. Mesoscopic level is one of these levels with a typical linear dimension of model in an order of magnitude of 10 mm. Moreover, in the mesoscale model, coarse aggregates, cementitious mortar, and fibres besides the interfacial zones between mortar and aggregate and between mortar and fibre are distinctively modelled with their material properties.*

Frühere Studien haben bewiesen, dass 2D-Modelle mit kreisförmigen Aggregaten zuverlässige Simulationen der Ergebnisse von Tests an Betonproben unter statischen und stoßartigen Belastungen liefern und gleichzeitig den Modellierungsaufwand erheblich vereinfachen sowie die Simulationszeit im Vergleich zu einem 3D-Modell verkürzen. Zu diesem Zweck wird zunächst ein repräsentatives 2D-Volumenelement mit den genannten Komponenten simuliert, während die groben Aggregate als kreisförmig mit zufällig verteilter Größe und Lage angenommen werden. Für statische Analysen wurde die hauseigene Software „CaeFem“ genutzt, die Ergebnisse wurden mit Hilfe der Software DIANA validiert. Inzwischen wurden zudem mehrere Sensitivitätsanalysen zu verschiedenen Diskretisierungsmethoden durchgeführt, wobei die Ergebnisse der regulären und irregulären Mesh-Methode übereinstimmen.

Bisher wurde das Materialverhalten aller Komponenten als linear angenommen, jedoch sollte das nichtlineare Verhalten im Weiteren berücksichtigt werden, um das Verhalten des Modells realistischer zu gestalten. Begonnen wird mit der Einführung eines nichtlinearen Verbundgesetzes zwischen Fasern und Beton. Die Eingangsdaten für das Verbundmaterial stammen aus der Simulation von Einzelfaser-Auszugversuchen, wie sie am IPF durchgeführt und mit DIANA modelliert wurden.

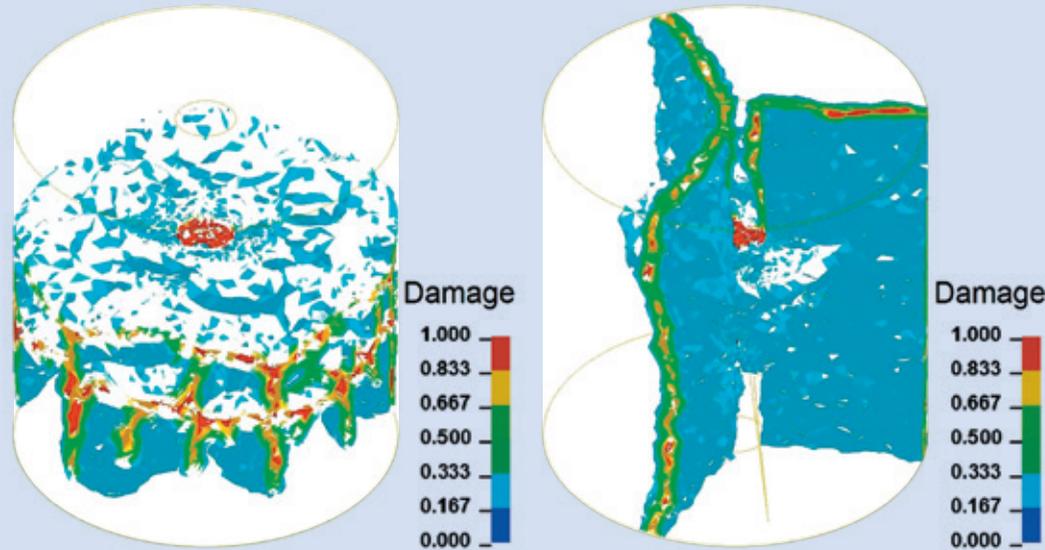
*Previous studies have proven that 2D models with circular aggregates yield reliable simulations of responses of concrete specimens under static and impact loads, while greatly simplify the modeling effort and reduce simulation time as compared to a 3D model. To this aim, we start to simulate a 2D representative volume element with the mentioned components, while the coarse aggregates are assumed to have a circular shape with randomly distributed size and location. A static analysis using the in-house software "CaeFem" has been performed, and the results have been validated using the software DIANA. Meanwhile, several sensitivity analyses have been performed regarding different discretization methods, and results were in good agreement with each other, for both the regular mesh and irregular mesh method.*

*In the first phase of this project, the material behaviour of all components was assumed to have a linear behaviour, however nonlinear behaviour of structural elements should be considered in further steps to make the model behave more realistically. We started to introduce a nonlinear material behaviour to represent the bond-law between fibres and concrete. Subsequently, programs were further developed to solve the problems with new conditions. Input data for the bond material was derived from simulation of single glass fibre pull-out tests which have been performed in Leibniz Institute and modeled with DIANA software.*



3D-Mesoskalemmodell mit zufälliger Größe und Anordnung der Aggregate | 3D mesoscale model with random size and location of aggregates | Graphic: Tino Kühn

- ▶ **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 – 04.2020
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**  
Alaleh Shehni M.Sc.
- ▶ **Co-Betreuung | Co-mentoring**  
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden (IPF) e.V.



Modellierung der Schädigung bei 50 mm/s (links) bzw. bei 50.000 mm/s (rechts) | Modelling of damage for loading velocities of 50 mm/s (left) resp. 50,000 mm/s (right) | Graphics: Evmorfia Panteki

## VERBUND UNTER IMPAKT

### BOND UNDER IMPACT

Die Leistungsfähigkeit eines Verbundwerkstoffs wie Stahlbeton hängt stark von den Verbundeigenschaften zwischen der Betonmatrix und der Stahlbewehrung ab. Bei der Untersuchung des Verbundverhaltens ist zu beachten, dass es sich nicht um eine generische Materialeigenschaft handelt, sondern um eine Kombination verschiedener Parameter wie z. B. den Materialeigenschaften von Beton und Stahl, der spezifischen Oberfläche der Stahlbewehrung sowie der Größe und Geometrie der untersuchten Probe. Obwohl der Verbund zwischen Stahl und Beton seit über 100 Jahren untersucht wird, tauchen immer noch Fragen auf. Eine dieser Fragen betrifft den Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit auf die Verbundeigenschaften.

Während des gesamten Projekts untersuchten wir das Verbundverhalten unter Belastungsraten, die zwischen quasi-statisch und hoch dynamisch variieren. Um die erforderlichen Belastungsgeschwindigkeiten aufzubringen, wurden herkömmliche Universalprüfmaschinen sowie ein Fallturm und ein Split-Hopkinson-Bar verwendet. Überwiegend

*The overall performance of a composite material such as reinforced concrete is highly dependent on the bond properties between the concrete matrix and the steel reinforcement. When studying the bond behaviour, it is important to consider that it is not the result of a generic material property, but a combination of several factors such as the material properties of concrete and steel, the specific surface area of the steel reinforcement and the size and geometry of the specimen under investigation. Even though the bond characteristics have been studied for over more than 100 years, questions still arise. One of these questions regards the influence of loading rate on the bond properties.*

*Throughout the project, we studied the bond behaviour under loading rates varying between quasi-static and high dynamic. To achieve the required loading rates, conventional universal testing machines, as well as a drop tower and a split-Hopkinson bar, were used. For the analysis of the measured data, we used wave propagation theory in elastic solids. Steel bars with a diameter*

wurde Stahl mit einem Durchmesser von 10 mm untersucht, aber wir konnten auch zeigen, dass das entwickelte Prüfverfahren auch für größere Bewehrungsstahldurchmesser von 16 mm geeignet ist.

Für die Analyse der gemessenen Daten wurde die Wellenausbreitungstheorie in elastischen Körpern angewendet. Der Trägheitseinfluss wurde aus den Messdaten durch Berücksichtigung des dynamischen Gleichgewichts eliminiert. Wir kamen zu dem Schluss, dass höhere Belastungsraten die gemessene Verbundfestigkeit um bis zu 25 % erhöhen. Der Versagensmodus war durch Abscheren der Betonkonsolen zwischen den Rippen des Bewehrungsstahls gekennzeichnet. Dieser Versagensmodus wurde bei allen Parameterkombinationen beobachtet.

Wir verglichen auch die Pull-out- und die Push-in-Belastungsvarianten und kamen zu dem Schluss, dass die Push-in-Belastung jeweils höhere Verbundfestigkeiten im Vergleich zur Pull-out-Belastung ergab. Mit einer numerischen Modellierung wurde das Verhalten des Verbunds unter noch höheren Belastungsraten vorhergesagt. Das numerische Modell enthielt keine phänomenologischen Abhängigkeiten der Materialeigenschaften von der Belastungsraten und zeigte gute Übereinstimmungen mit den experimentellen Ergebnissen.

*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501486 gefördert.*



Probekörper vor dem Versuch im Fallturm  
Specimen before impact test in the drop tower  
Photo: Petr Máca

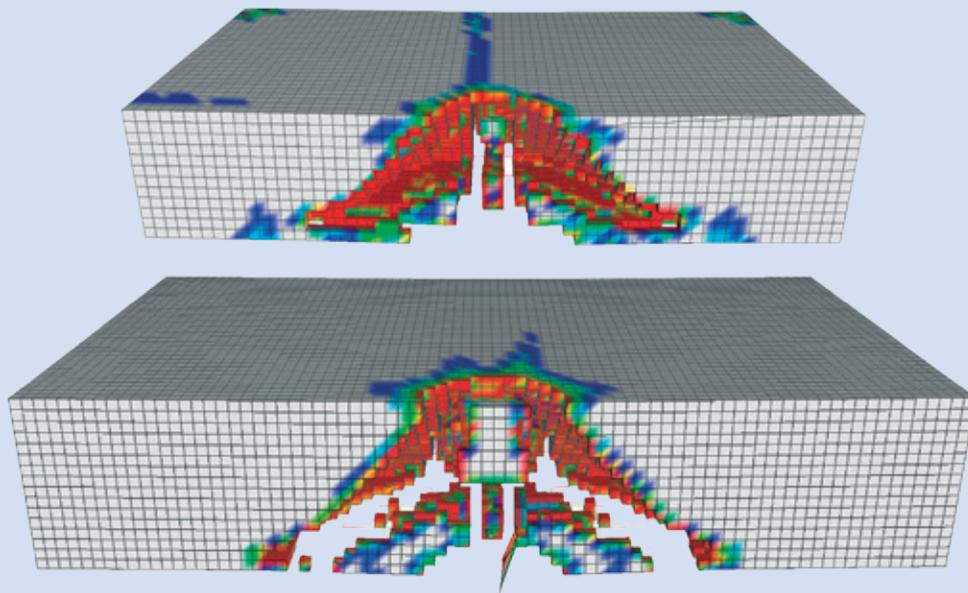
*of 10 mm was predominantly used, but we were also able to show that the newly proposed testing method is suitable for larger reinforcement bar diameters of 16 mm.*

*The inertia effect was eliminated from the experimental results by considering the dynamic equilibrium. We concluded that higher loading rates increase the measured bond strength by up to 25%. The failure mode was characterized by shearing-off of the concrete lugs between the ribs. Throughout the experimental work, we did not observe any change in the failure mode.*

*We also compared pull-out and push-in loading modes and concluded that the push-in type of loading always produced higher bond strengths in comparison to the pull-out one. We used numerical modeling to predict bond behaviour under even higher loading rates. The numerical model didn't contain any phenomenological dependence of material properties on the loading rate, and it was in good agreement with the experimental results.*

*The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project no. 1501486) on the basis of a decision by the German Bundestag.*

- ▶ **Titel | Title**  
Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten  
*Bond between concrete and steel under high loading rates*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- ▶ **Zeitraum | Period**  
10.2014 – 12.2017
- ▶ **Leiter | Project managers**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
- ▶ **Bearbeiter\*in | Contributor**  
M.Eng. Petr Máca Ph.D., Dipl.-Ing. Evmorfia Panteki



Numerische Untersuchung zu Maßstabeffekten; hier: Platten mit einer Kantenlänge von 1,5 m (oben) und 2,0 m (unten) bei maßstablicher Beanspruchung | Numerical study on scale effects; here: slabs with an edge length of 1.5 m (above) and 2.0 m (below) under full scale load  
Graphic: Tino Kühn

## IMPAKTVERSUCHE IN DER DRITTEN RUNDE

### IMPACT TESTS IN THE THIRD ROUND

Bewehrter Beton ist das bevorzugte Material für den Bau von Kraftwerken, sowohl für den Neubau als auch für eventuell geplante nachträgliche Ummantelungen. Trotz Jahrzehnten intensiver Forschung gibt es noch offene Fragen zum komplexen Materialverhalten bei hochdynamischer Belastung speziell im zivilen Bereich. In den zwei bisherigen Projektphasen zu diesem Thema wurde ein grundlegendes experimentelles Verständnis für Beanspruchungen bei Impaktereignissen entwickelt. In der dritten Phase werden nun die lokalen Effekte vorerst rein numerisch evaluiert und darauf aufbauend die geplanten Versuche im Vorfeld optimiert. Schließlich fließen alle Erkenntnisse in einem Großversuch zusammen.

Im aktuellen Fokus stehen Untersuchungen zur hinreichend genauen numerischen Abbildung des Verbundverhaltens zwischen Bewehrungsstahl und Betonmatrix, die Skalierbarkeit der Experimente auf reale Bauteilgeometrien sowie die Optimierung einer beanspruchungsgerechten Bewehrungsanordnung. Die Modellierung der Kopplung zwischen Bewehrung und Betonmatrix

*Reinforced concrete is the preferred material for the design of power plants, both for new buildings as well as for any planned subsequent protections. Despite decades of intensive research, there are still unanswered questions about the complex material behaviour under highly dynamic loading, especially in the civil sector. In the two previous project rounds on this topic, a fundamental experimental understanding of stresses in impact events has been developed. In the third round, the local effects will now be numerically evaluated, and based on those, the planned experiments will be optimized in advance. After that, all findings will flow together in a large-scale experiment.*

*The current focus is on investigations of a sufficiently accurate numerical mapping of the bond behaviour between reinforcing steel and concrete matrix, the scalability of the experiments on real component's geometries as well as the optimization of the arrangement of a load-bearing reinforcement. The modelling of the coupling between reinforcement and concrete*

stellt auf dieser makroskopischen Skalierungsebene eine besondere Herausforderung dar. Nur durch eine diskrete Modellierung der Bewehrung können genügend Informationen über die auftretenden Schädigungsmechanismen erhalten werden. Momentan erfolgt diese Modellierung durch starre Kopplung der jeweiligen Knoten, was zu leichten Verfälschungen der Ergebnisse speziell bei der Integration von Bügelbewehrungen führen kann. Durch Parameterstudien mit verschiedenen Abbildungsvarianten kann gezeigt werden, dass diese Methode zwar das globale Bauteilverhalten gut abbildet, allerdings lokale Effekte unzureichend berücksichtigt werden. Beispielsweise lässt sich eine quer zur Bewehrungsachse verlaufende Beanspruchung nicht wirklich berücksichtigen.

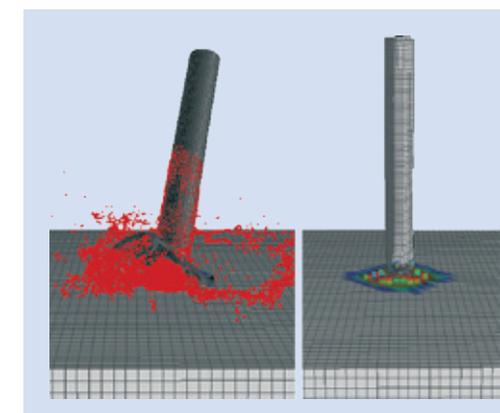
Es kann weiterhin der Einfluss von flüssigkeitsgefüllten oder Hohlkörperimpaktoren mit ihren variablen Steifigkeiten verdeutlicht werden. Diese provozieren ein deutlich anderes Bauteilverhalten als die bisher untersuchten massiven Starrkörper. Es wurde gezeigt, dass durch eine entsprechende Kopplung von Finite-Elemente- und SPH-Methoden (SPH = smoothed-particle hydrodynamics) plausible Effekte und Kenngrößen rein numerisch erzeugt werden können.

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.

*matrix poses a particular challenge at this macroscopic scaling level. Only by discrete modelling of the reinforcement, sufficient information about the occurring damage mechanisms can be obtained. Currently, this modelling is done by rigid coupling of the respective nodes, which can lead to slight distortions of the results, especially in the integration of stirrup reinforcements. It can be shown by parameter studies with different imaging variants that although this method maps the global component behaviour well, local effects are insufficiently taken into account. For example, a stress running transversely to the axis of the reinforcement cannot really be taken into account.*

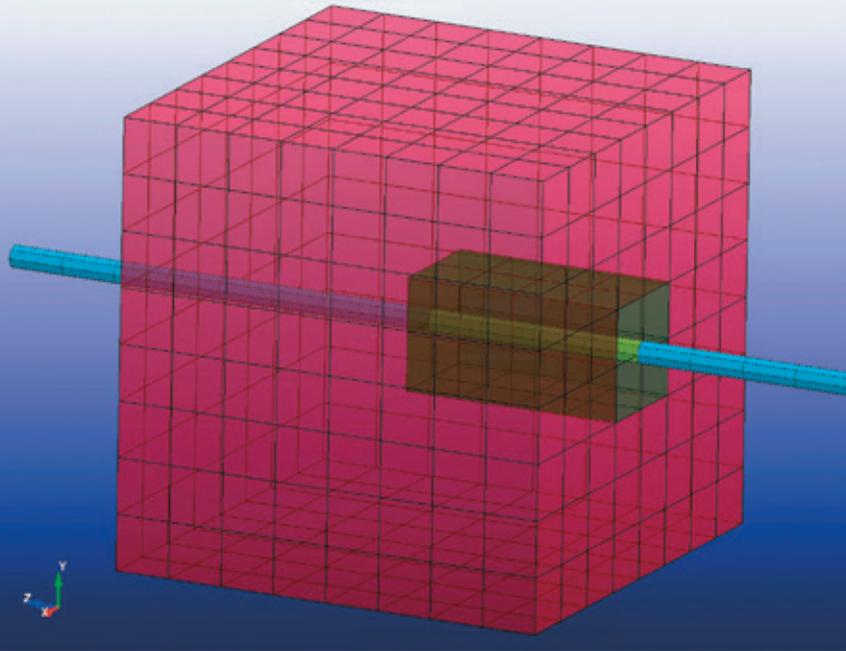
*Furthermore, the influence of liquid-filled or hollow body impactors with their variable stiffnesses can be clarified. These provoke a significantly different component behaviour than the solid rigid bodies investigated so far. It has been shown that plausible effects and parameters can be generated purely numerically by appropriate coupling of finite element and smoothed-particle hydrodynamics (SPH) methods.*

*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.*



Untersuchungen mit verschiedenen Impaktorvarianten, links: flüssigkeitsgefüllter Impaktor, rechts: hohler Impaktor | Investigations with different impactor variants, left: liquid-filled impactor, right: hollow impactor | Graphic: Tino Kühn

- ▶ **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  
(experimenteller Teil)
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Tino Kühn M.Sc.
- ▶ **Projektpartner | Project partner**  
BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



Verbundkörpermodell mit zwei unterschiedlich definierten Betonelementen (Rot ohne und Grün mit Verbundbedingung zum Stahl)  
 Model of a pull-out specimen with two differently defined concrete elements (red without and green with bond condition to the steel)  
 Graphic: Tilo Senckpiel

## EINSCHLÄGIGE VERBUNDMODELLE

### BOND MODELING FOR IMPACT LOAD

Wie in dem vorhergehenden Bericht „Impaktversuche in der dritten Runde“ bereits erwähnt, sind numerische Untersuchungen durchgeführt worden, um die Möglichkeiten der Abbildung des Verbundverhaltens zwischen dem Bewehrungsstahl und der Betonmatrix genauer zu berücksichtigen. Hierfür sind innerhalb des Projekts in einem separaten Arbeitspaket mithilfe einer Finite-Elemente-Simulation virtuelle Ausziehversuche durchgeführt worden. Im dazugehörigen FE-Modell war der virtuelle Probekörper in der Form gestaltet, wie er für die experimentelle Prüfung des Verbundverhaltens für gerippten und profilierten Bewehrungsstahl nach DIN EN 10080 normiert ist. Hierbei wird ein in einem Betonwürfel eingefügter Stab mit einer Zugkraft beaufschlagt. Das Versuchsergebnis ist eine Zugkraft-Schlupf-Beziehung, wobei der Schlupf die relative Verschiebung zwischen Stahl und Beton ist. Die Ergebnisse aus den Simulationen wurden mit denen aus experimentellen Tests bzw. mit Daten aus der Literatur verglichen.

*As already mentioned in the report 'Impact tests in the third round', numerical investigations have been carried to investigate the modeling options for the bond behaviour between reinforcing steel and the concrete matrix. For this purpose, virtual pull-out tests were carried out within the project using a finite element simulation. In such an FE model, the virtual test specimen was modeled according to DIN EN 10080 guidelines for the standardized experimental testing of the bond behaviour of ribbed and profiled reinforcement steel. Accordingly, a bar embedded in a concrete cube was subjected to a tensile force. The test result is a tensile force-slip relationship, where the slip is the relative displacement between steel and concrete. The results of the simulations were compared with those from experimental tests and literature.*

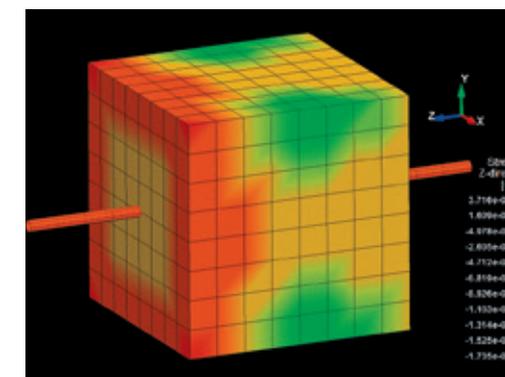
*Various models have been implemented to take account of the bond mechanisms. In the first computer model, the connection between the transverse and bending reinforcement (model*

*as beam elements) to the concrete (model as volume elements) was implemented using fixed node connections, as it is usual in the reinforced concrete simulation. However, this type of modeling neglects the slippage that occurs in reality. To increase the accuracy of the simulation and to replicate the slippage of the reinforcement when using beam elements, alternative composite models were taken into account. These have been examined in more detail about their suitability, accuracy, and feasibility in parameter studies. The usual procedure for composite modeling was compared with the use of spring elements and the application of so-called constraints (additional conditions). Good results were achieved with the latter. In addition to the realistic depiction of slip, this option offers an additional advantage: The finite element mesh of the beam elements can be defined independently of the mesh of the solid elements.*

*as beam elements) to the concrete (model as volume elements) was implemented using fixed node connections, as it is usual in the reinforced concrete simulation. However, this type of modeling neglects the slippage that occurs in reality. To increase the accuracy of the simulation and to replicate the slippage of the reinforcement when using beam elements, alternative composite models were taken into account. These have been examined in more detail about their suitability, accuracy, and feasibility in parameter studies. The usual procedure for composite modeling was compared with the use of spring elements and the application of so-called constraints (additional conditions). Good results were achieved with the latter. In addition to the realistic depiction of slip, this option offers an additional advantage: The finite element mesh of the beam elements can be defined independently of the mesh of the solid elements.*

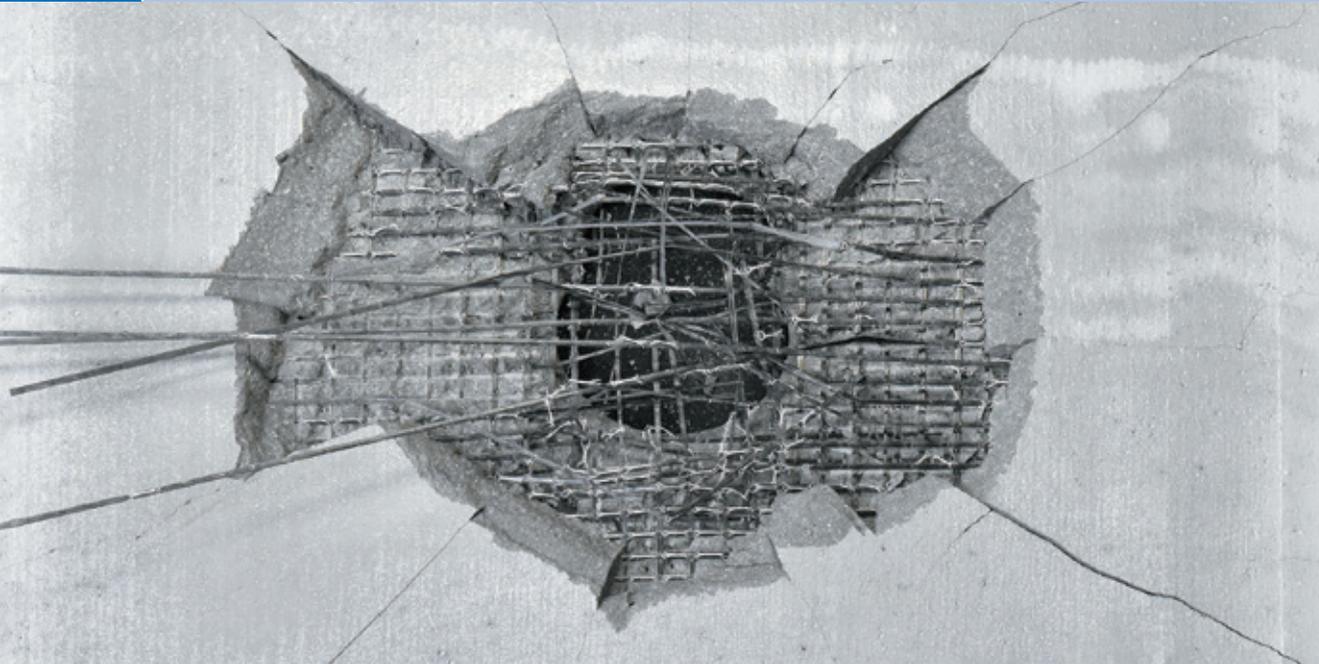
*The presented project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi, project no. 1501541) by a decision by the German Bundestag*

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.



Spannungen in Z-Richtung am modellierten Verbundkörper. Der Probekörper ist an der linken senkrechten Fläche virtuell unverschieblich aufgelagert, der Stab wird nach links ausgezogen.  
 Stresses in Z-direction on the modelled composite body. The specimen is virtually fixed on the left vertical surface and the bar is pulled out to the left. | Graphic: Tilo Senckpiel

- ▶ **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. habil. Ulrich Häußler-Combe  
 (numerischer Teil)
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
 Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel
- ▶ **Projektpartner | Project partner**  
 BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



Rückseite einer mit 2 Lagen Carbondotextil bewehrten TRC-Platte nach einem Impakttest mit ca. 4500 Joule; die Platte wurde perforiert | Rear side of a tested plate made of carbon reinforced (2 layers of strengthening fabric) concrete after impact testing with a impactor energy of 4500 Joule; the plate has perforated | Photo: Laura Sandra Di Stefano

## DURCHSCHLAGENDE VERSUCHE MIT TEXTILBETON

### PENETRATING EXPERIMENTS WITH TRC

Ziel des AiF-Projektes ist es, den derzeit ausschließlich für statische Verstärkungsaufgaben verwendeten Textilbeton auch für die Verstärkung von Bauteilen gegen außergewöhnliche Belastungen zu verwenden. Die außergewöhnliche Belastungssituation, die hierbei betrachtet werden soll, ist der Anprall bzw. der Impakt auf Stahlbetonbauteile.

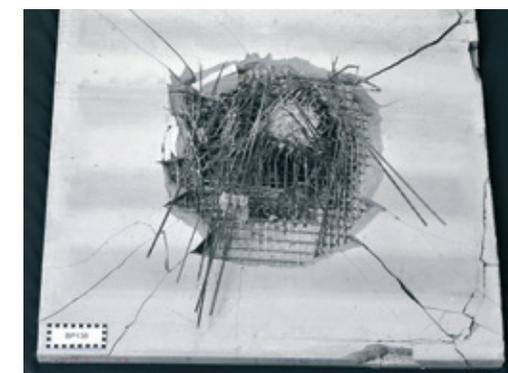
Um die grundsätzliche Leistungsfähigkeit textiler Verstärkungsschichten zu untersuchen, wurde eine große Anzahl an Impaktexperimenten im Fallturm des Otto-Mohr-Laboratoriums in der beschleunigten Konfiguration durchgeführt. Die hierfür verwendeten Probekörper wurden mit einer definierten Menge an Verstärkungsmaterial präpariert. Hierbei handelte es sich um unterschiedlich gefertigte Carbongelege in unterschiedlicher Lagenzahl. Zudem wurden die Garnstärken sowie die Maschenweiten variiert. Die verwendete Betonmatrix blieb bei allen Versuchen gleich. In einem eigens entworfenen

*The AiF Project aims to use textile reinforced concrete (TRC) for the strengthening of structural elements exposed to extraordinary load cases. Until now, TRC has been mainly used for static strengthening tasks. The extraordinary load case for which we want to use textile reinforced concrete is a scenario in which a structure is subjected to a sudden impact load.*

*To investigate the strengthening efficiency of textile reinforced concrete, many impact experiments were conducted at the Otto Mohr Laboratory. For these experiments, the accelerated drop tower facility was used. The tested specimens were provided with a defined amount of strengthening material or strengthening textiles. In the experiments, different textiles made of carbon were used. Furthermore, the number of textile layers, the yarn's fineness and therefore the yarn's strength, as well as the mesh size of the fabrics were varied. The concrete matrix which was used to embed the*

Versuchsstand wurde eine systematische Untersuchung der verschiedenen Verstärkungsmaterialien durchgeführt. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse kann nun die gezielte Entwicklung eines Verstärkungsmaterials vorangetrieben werden, das beim Lastfall Impakt besonders leistungsfähig ist.

Ein wesentlicher Punkt für die Entwicklung solcher Verstärkungsstrukturen ist das grundlegende Verständnis des Materialverhaltens alleine und des Verhaltens des gesamten Bauteils. Vor allem die Interaktion zwischen Verstärkungsmaterial und Feinbetonmatrix ist für die Wirkungsweise ein entscheidender Faktor. Im Jahr 2017 lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung bereits verfügbarer Verstärkungsmaterialien. Hierfür wurden jeweils dünne Textilbetonbauteile betrachtet, um die Wirkung des Verstärkungsmaterials im Beton zu erforschen. Für das folgende Jahr 2018 sind Versuche geplant, in denen diese Materialien als Verstärkungsschicht bei großformatigen Bauteilen eingesetzt werden sollen, um die Erkenntnisse aus den kleinteiligen Materialuntersuchungen zu validieren und einen Zusammenhang zu den Eigenschaften der verstärkten Struktur herstellen zu können. Um diese komplexe Aufgabenstellung und vor allem die Entwicklung neuer Verstärkungsmaterialien im Team voranzubringen, wird das Projekt gemeinsam mit dem Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden bearbeitet.



Rückseite einer mit 4 Lagen Carbondotextil bewehrten TRC-Platte nach einem Impakttest mit ca. 4500 Joule; der Impaktor konnte gestoppt werden | Rear side of a tested plate made of carbon reinforced (4 layers of strengthening fabric) concrete after impact testing with a impactor energy of 4500 Joule; the impactor has stopped inside the plate | Photo: Laura Sandra Di Stefano

*textile fabric remains the same for all tests. The experiments were performed in a special designed experimental setup which allowed a systematically experimental investigation of the different parameter combinations. Based on the acquired knowledge, the development of new strengthening materials, or textiles, which can efficiently resist impact loads, will be advanced.*

*An essential part of the development of such strengthening structures is both the basic knowledge about the material and its structural behaviour. Especially, the interaction between concrete matrix and textile is a deciding factor for the efficiency of the strengthening materials to be developed. In 2017, the research focus was on the investigation of existing strengthening materials. In 2018, the research focus shall be the investigation of large size reinforced concrete plates which were strengthened with TRC layers. These tests are important to validate the knowledge from the small-sized specimen. Taking into account the small and large scale tests, it shall be possible to infer the behaviour of the reinforced structure. To manage this complex task and to develop new strengthening textiles, the project is done in cooperation with the Institute of Textile Machinery and High-Performance Material Technology of TU Dresden.*

- ▶ **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 partner**  
Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden



Bruchstück eines Probekörpers, der aus Beton mit Stahl- und PP-Fasern hergestellt wurde, nach Impactbelastung in der beschleunigten Fallanlage | Fragments of a specimen made of fibre reinforced concrete (PP fibres and short steel fibres) after impact testing at the accelerated drop tower facility | Photo: Marcus Hering



Bruchstück eines Probekörpers, der aus Beton mit Kurzstahlfasern (an den Enden gerade bzw. mit Haken) hergestellt wurde, nach Impactbelastung in der beschleunigten Fallanlage | Fragments of a specimen made of fibre reinforced concrete (short straight and hooked steel fibres) after impact testing at the accelerated drop tower facility | Photo: Marcus Hering

## STÖSSE ABFANGEN MAL ANDERS

### STOPPING IMPACT LOADS

Seit langem werden Stahlfasern in unterschiedlichen Formen und Längen zur Verstärkung von Betonbauteilen genutzt. Der Grund hierfür ist, dass Beton, vor allem aber hoch- und ultrahochfeste Betone, sehr spröde versagt. Der Versagensvorgang wird nun durch die Zugabe von Stahlfasern wesentlich duktiler. Der nächste Schritt in der aktuellen Forschung ist es, andere Fasermaterialien, z. B. Kunststoffe, für diesen Zweck zu verwenden. Bei rein statischen Lasten haben diese neuen Materialien durch ihre Kriechneigung keinen positiven Effekt. Anders ist dies aber bei dynamischen Belastungen wie z. B. Stoßvorgängen. Da solche Belastungen nur Bruchteile von Sekunden andauern, sind die negativen Kriecheneigenschaften von Kunststoffen vernachlässigbar und es ergibt sich ein sehr großes Anwendungsfeld. Grundlegend haben diese Materialien bereits ihre sehr gute Eignung bei Impactszenerarien bewiesen, nämlich in Form von Steinschlagnetzen aus Kunststoffen. Die Verwendung derartiger Materialien als (Kurz-) Faserbewehrung in zementbasierten Matrices – sogenannten Strain-Hardening Cement-Based

*For a long time, steel fibres have been used in different shapes and lengths to reinforce concrete. This material is known as (steel) fibre reinforced concrete (FRC). Steel fibres are used because plain concrete, especially high- and ultrahigh-performance concrete, fails in an extremely brittle manner. Adding steel fibres makes the failure much more ductile. The next step in the research will focus on the use of other fibre materials, e.g. polymer fibres, as reinforcing the material. These new reinforcing materials are not so good for static loading conditions because they creep. Nevertheless, they work very well under dynamic load conditions, e.g., impact loads. Such impact loads have a duration of just fractions of a second. In this case, the negative creep behaviour is negligible, and many applications are possible. A proven example is, e.g. nets made out of polymers to trap falling rocks. The use of polymers as (short) fibres in cementitious matrixes, known as Strain-Hardening Cement-Based Composites (SHCC), is still relatively new.*

Composites (SHCC) – ist jedoch ein relativ neuer Ansatz.

Allerdings handelt es sich hierbei um ein sehr komplexes Themengebiet, weshalb an der TU Dresden ein DFG-Graduiertenkolleg initiiert wurde, in dem aktuell 13 Kollegiaten von unterschiedlichen Instituten und Fachrichtungen zusammen forschen. Das hier vorgestellte Projekt befasst sich mit der Verstärkung der impaktabgewandten Bauteilseite mit mineralisch gebundenen Kompositen. Bisher wurden Tastversuche mit Matrices durchgeführt, denen Kurzfasern aus Stahl und Polypropylen (PP) beigemischt waren. Hierbei wurden unterschiedliche Fasergehalte und Faserformen verwendet. Dass es sich dabei um eigenschaftsbestimmende Modifikationen der Betonmatrix handelt, zeigte sich bereits bei der Herstellung der Probekörper. So wurden mit Mischungen aus Stahlfasern noch sehr gut fließfähige Betone hergestellt. Bei Zugabe des gleichen Volumens PP-Fasern wurde der Beton jedoch extrem steif und war infolgedessen nur schwer verarbeitbar. Im Impactexperiment in der Fallanlage in beschleunigte Konfiguration zeigten die Faserbetonmischungen ein sehr gutes Verhalten in Bezug auf die Reduzierung von absplitternden Betonteilen.

2018 sollen die ersten Versuche mit den sich derzeit entwickelten Beton-Faser-Gemischen auf Material- und auf Bauteilebene durchgeführt werden, um deren Leistungsfähigkeit im Impactfall zu überprüfen, was die Grundlage für die weitere Forschung sein wird.

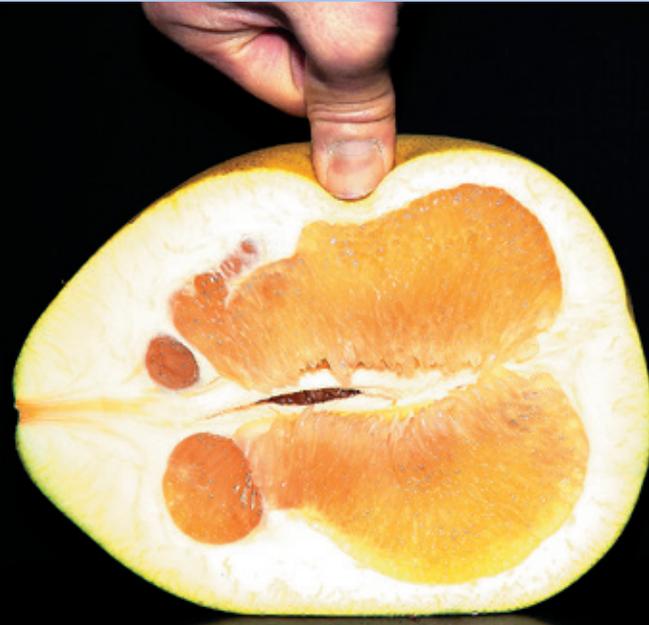


Kurzstahlfasern an den Enden mit Haken | short hooked steel fibres | Photo: Sven Hofmann

*This field of science is extremely complex, and it is comprised of a large number of topics. Due to this, a Research Training Group funded by DFG was founded at TU Dresden in 2017. Here, 13 Ph.D. students out of different institutes and different disciplines work together. The project deals with the strengthening of the rear side of structures with cementitious-based composites. Until now, there were some preliminary experiments with cement based matrixes and short fibres out of steel and polypropylene (PP). Fibre contents and fibre shapes were varied. The modification of the mixture also changes its properties. That was visible during specimen fabrication. Good workable concrete was produced when adding short steel fibres. The same volume of polypropylene fibres resulted in a concrete that was extremely stiff and extremely difficult to process. The experiments were conducted at the accelerated drop tower facility of the Otto-Mohr-Laboratory. In this impact experiments, the FRC plates showed a potential to prevent spalling.*

*In 2018, the first experiments with new fibre materials shall be conducted to investigate the efficiency of these materials under impact loads. These investigations shall be done at the material and structural level. In this way, a good basis for further research will be created.*

- ▶ **Titel | Title**  
TP A5: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impact auf der impaktabgewandten Seite als Teilprojekt des Graduiertenkollegs GRK 2250/1 – Impaktssicherheit 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 – 04.2020
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Marcus Hering
- ▶ **Co-Betreuung | Co-mentoring**  
Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, TU Dresden



Das elastische schaumartige Material der Schale schützt das Innenleben einer Frucht | An elastic foamy material of the fruit's peel protects the inside of the fruit | Photo: Sven Hofmann

## VON DER NATUR INSPIRIERTE STOSSFESTE TRAGSTRUKTUREN

### BIO-INSPIRED IMPACT-RESISTANT STRUCTURES

Das Ziel dieses Projektes ist es, den Widerstand von ebenen Stahlbetonelementen gegenüber einer Stoßbelastungen mit Hilfe einer energieabsorbierenden Verstärkungsschicht auf der belasteten Seite zu erhöhen.

Bei herkömmlichen Herangehensweisen spielen hauptsächlich die Kapazität der Strukturen, Energie aufzunehmen, oder ihre Trägheit eine wichtige Rolle bei der Dissipation der Energie eines Impaktors. Zum Schutz gegen Impaktbelastungen werden oft Materialien mit hoher Dichte oder Steifigkeit verwendet, um das Energieabsorptionspotential zu erhöhen. Dies führt aber im Gegenzug i. d. R. dazu, dass ein Gebäude mit hoher Stoßfestigkeit relativ groß und schwer wird.

In Abhängigkeit von der Belastungsintensität und der Dehnrage können aber alternativ auch Materialien oder Strukturen mit spezifischen Eigenschaften verwendet werden, um bauliche

*This project aims to increase the resistance of reinforced concrete (RC) elements against impact load using an energy-absorbing strengthening layer on the impacted side. In conventional approaches, the strain energy capacity of a structure, or its inertia, plays an important role to dissipate the energy of an impactor. Current methods of protecting structures against impact loading increase the energy absorbing potential of the elements, by using materials with high density or rigidity, which in turn increases not only a structure's impact resistance but also its size and weight.*

*However, depending on the load intensity and strain rate some alternative materials or structures with specific properties can be utilized to protect the buildings against impact without a drastic increase in its weight. Therefore, it is necessary to investigate approaches that, in addition to energy dissipation, can fulfill the other requirements such as the lowest*

Strukturen bei einer Stoßbelastung zu schützen, ohne dass damit in jedem Fall eine drastische Erhöhung des Eigengewichts einhergeht. Bekannt ist beispielsweise die Anwendung von schaumstoffartigen Materialien oder leichten wabenartigen Strukturen. Zudem ist es notwendig, Ansätze zu untersuchen, die neben der Energiedissipation auch die anderen Voraussetzungen wie möglichst geringes Eigengewicht, Anpassbarkeit an unterschiedliche Geometrien, Kosten- und Ressourceneffizienz usw. erfüllen können. In verschiedenen Bereichen der Wissenschaft, in der Natur oder Industrie, z. B. Automobil- oder Verpackungsindustrie sind Vorbilder zu finden, denn dort haben sich bereits viele verschiedene Lösungen oder Mechanismen für Dämpfungselemente bewährt.

Eine systematische Untersuchung und vertiefte Analyse dieser Lösungen ist die Grundlage für die Entwicklung einer stoßabsorbierenden Schicht, die für die Anwendung bei Stahlbetonstrukturen geeignet ist. Die Leistungsfähigkeit der Dämpfungsschicht wird in Experimenten verifiziert, die durch numerische Simulationen begleitet werden.

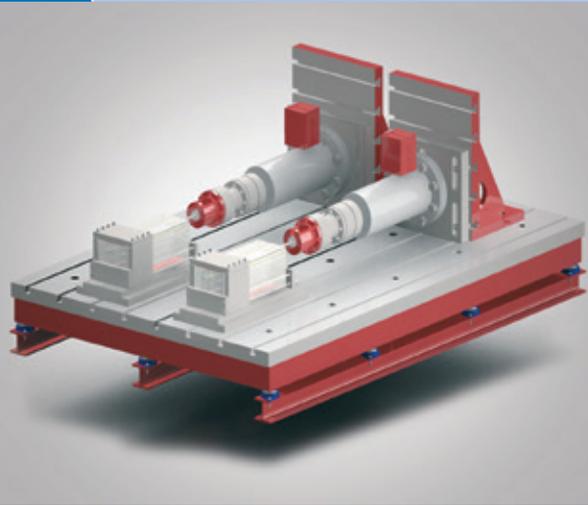
*possible dead weight, adaptability to different geometries, cost and resource efficiency, and so on. For example, applications of foam-like materials or light honeycomb-like structures are known solutions. In different fields of science, in nature or industry, e.g., automotive or packaging industry, there are many different solutions established for damping elements or mechanisms. A systematic investigation and in-depth analysis of these approaches is the basis for developing impact-resistant layers which are suitable for use in reinforced concrete structures.*

*In a first step, the solutions found are evaluated regarding their efficiency for dynamic load scenarios and their applicability to energy-absorbing strengthening layers for RC structures to identify the most appropriate approaches. In a second step, the most promising solutions will be adapted for reinforced concrete elements and experimentally investigated, accompanied by numerical simulations.*

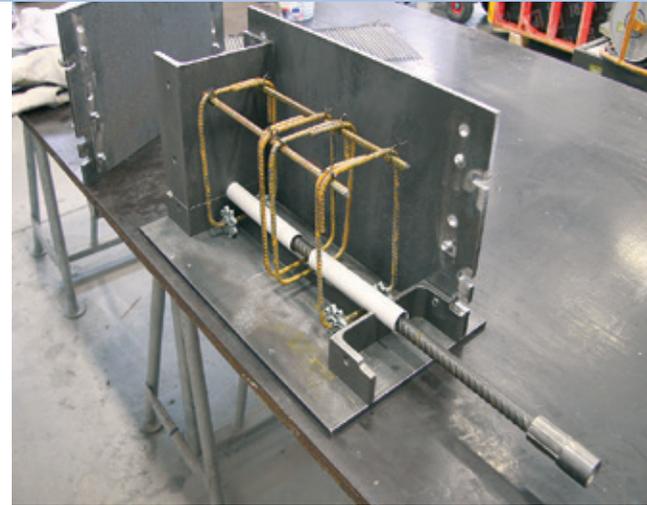


Dämpfung durch viel Material bei einer Schutzkonstruktion  
Damping by a lot of material in a protective construction  
Photo: Silke Scheerer

- ▶ **Titel | Title**  
TP A6: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impakt auf der impaktzugewandten Seite als Teilprojekt des Graduiertenkollegs GRK 2250/1 – Impaktssicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite  
*TP A6: Strengthening of plane RC elements against impact on the impacted 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 – 04.2020
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Saeid Zabih Moghaddam M.Sc.
- ▶ **Co-Betreuung | Co-mentoring**  
Lehrstuhl für Betriebliche Umweltökonomie, TU Dresden



Modell des Versuchsstands | Model of the test setup  
Graphic: Tino Kühn



Vorbereitung eines Probekörpers für einen Beam-End-Versuch  
Preparation of a specimen for a beam-end test  
Photo: Marc Koschemann

## VERBUND BEI HOHEN LASTWECHSELZAHLEN BOND UNDER HIGH CYCLIC LOADING

Mit der fortschreitenden Erforschung und Weiterentwicklung von Hochleistungsbetonen erschließen sich diesem Baustoff zunehmend neue Einsatzfelder im Ingenieur- und Hochbau. Dadurch ergeben sich natürlich auch neue Fragestellungen. Dabei gilt es zum Beispiel auch, die Gebrauchs- und Tragfähigkeit nicht nur unter vorwiegend ruhenden Einwirkungen zu bewerten, sondern auch eine sichere Vorhersage für eine zyklische Beanspruchung mit sehr großen Lastwechselzahlen geben zu können. Beispielhaft dafür stehen Windenergieanlagen, welche in ihrer Betriebszeit mit bis zu  $N = 10^9$  Lastwechseln beansprucht werden.

Das aktuelle Verbundforschungsvorhaben WinConFat setzt sich zum Ziel, die Materialermüdung von Windenergieanlagen aus Stahl- und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung zu erforschen. Neben Untersuchungen von Beton und Bewehrungsstahl durch Verbundpartner beschäftigen sich die am Institut für Massivbau zu bearbeitenden Teilvorhaben mit dem grundsätzlichen Verbundverhalten beider Baustoffe im hochzyklischen Ermüdungsbereich ( $N > 2 \cdot 10^6$ ) sowie dem Einfluss von Betonfestigkeit und Belastungsfrequenz und -geschwindigkeit auf den Verbund.

*Due to the progressive research and innovation within the scientific community, high performance concrete plays an important role as a construction material in structural engineering. Its behaviour needs to be accurately predicted, not only at ultimate limit state and serviceability under static loading, but also under high cyclic loading. Examples are wind exposed structures such as wind power plants, which have to withstand up to  $10^9$  load reversal cycles during service life.*

*The goal of the actual joint research project WinConFat is to investigate 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 through 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. The role of the concrete's compressive strength, the loading frequency, and loading rate is investigated as well. It is intended to execute about 110 experimental tests with various type of concrete, varying from normal up to ultra-high performance concrete and two different specimen types.*

Dafür ist geplant, an vier normal- bis ultrahochfesten Betonen ca. 110 statische und zyklische Versuche an zwei Probekörpertypen durchzuführen. Dies sind der für Verbundversuche bekannte Ausziehkörper nach RILEM sowie der Beam-End-Test, welcher bisher vermehrt im angloamerikanischen Raum Verwendung fand. Die Belastung wird in Abhängigkeit von der statischen Verbundfestigkeit als Zugschwellbeanspruchung im Frequenzbereich von 5 bis 20 Hz aufgebracht. Dabei soll die Frage geklärt werden, wie Ergebnisse aus hochfrequenten Laborversuchen auf die reale Beanspruchung von Windenergieanlagen übertragen werden können.

Für die experimentellen Untersuchungen wurde ein Versuchsstand entwickelt, welcher die gleichzeitige Prüfung von zwei Proben ermöglicht. Je Betonage werden in der Regel vier Probekörper hergestellt, wobei zwei als statische Referenz und zwei für die zyklischen Versuche vorgesehen sind. Unter Verwendung der aufgezeichneten Verbundspannungs-Schlupf- sowie Schlupf-Lastwechsel-Beziehungen soll der Schädigungsfortschritt im Verbundbereich erkannt und sichtbar gemacht werden. Durch Verwendung eines definierten Unterspannungs- und verschiedenen Oberspannungsniveaus werden unterschiedliche Spannungsspiele untersucht. Deren Bezug zu den ertragbaren Lastwechseln bis zum Versagen soll eine Beurteilung der Lebensdauer ermöglichen.



Versuchsstand mit zwei Probekörpern  
Test setup with two specimens | Photo: Marc Koschemann

*These are on the one hand the well-known pull-out test by RILEM and on the other hand, the beam-end test, which is more often used in North America. Depending on the static bond strength, the tensile cyclic loading will be applied with a frequency varying from 5 up to 20 Hz. The intention is to find a methodology to transfer the results of high cycle laboratory tests to mimic the real strain experienced by a windmill-powered plant.*

*To operate the experimental studies, a test setup has been developed, which allows the simultaneous testing of two specimens. For every series, four specimens will be casted, in which two will be used as static reference and two for the cyclic tests.*

*It is intended to detect and show the progress of deterioration by using the recorded bond stress-slip-relation and the slip ratio for a given number of load cycles. By working with a defined lower stress level and different upper stress levels, diverse stress cycles will be investigated. Their relation to the bearable number of load cycles until failure shall offer an appraisal for design life.*

- ▶ **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 | WinConFat
- ▶ **Zeitraum | Period**  
11.2016 – 10.2019
- ▶ **Teilprojektleiter | Subproject manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
Dipl.-Ing. Marc Koschemann, Tino Kühn M.Sc.
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
6 Forschungseinrichtungen und 3 assoziierte Partner



Schalung der Referenzstütze (links) im Vergleich zur optimierten Stützenform (rechts) | Formwork of the reference column (left) in comparison to the optimized shape (right) | Photo: Angela Schmidt

## LEICHTE(R) STÜTZEN COLUMNS LIGHT

Druckglieder entsprechend ihrer Beanspruchung zu entwerfen und herzustellen und somit in Zukunft diese tragenden Elemente nicht nur materialsparender, sondern auch tragfähiger ausführen zu können, waren die wesentlichen Ziele für die Bearbeitung dieses Projektes.

Nachdem in den vorangegangenen Jahren theoretische und experimentelle Untersuchungen an planmäßig zentrisch gedrückten Stützen erfolgreich durchgeführt werden konnten, wurden darauf aufbauend in einer zweiten Phase exzentrisch belastete Druckglieder betrachtet. Solche treten in typischen Hochbauten vor allem als Randstützen in Rahmentragwerken auf. Die höchste Beanspruchung der Stützen entsteht dabei an den Übergangsstellen zur Decke, an denen systembedingt die größten Biegemomente vorherrschen. Aus dieser Überlegung lässt sich bereits schlussfolgern, dass eine günstige Stützenform am Kopf- und Fußpunkt einer Aufweitung bedarf, während im mittleren Teil eine Verjüngung erfolgen kann. Die genaue Form wurde durch eine iterative Berechnungsmethode gefunden, bei der

*The main aim of the project was the design and construction of compression members according to the expected loads. This method leads to the design of a load-bearing element which is sustainable and reduces the material used.*

*Theoretical and experimental investigations on centrally loaded columns were successfully carried out in recent years. Building on these experiences, eccentrically loaded columns were considered in a second step. For typical building constructions, such loading on columns occur at the edges of framework structures. The highest stress arises at the connecting point between ceiling and column because the largest bending moments occur in this area. Based on these considerations, it can be concluded that to achieve an optimized shape, a larger cross-section is necessary at the column's bottom and top, while tapering is possible in the middle area. The exact column's shape was attained by an iterative calculation method, where a cross-section analysis was undertaken at different height levels. To achieve uniform stress of the column*

in unterschiedlichen Höhen der Stütze die jeweiligen Querschnittsnachweise geführt wurden. Um eine gleichmäßige Ausnutzung der Stütze über die gesamte Länge zu erreichen, wurden die Querschnittsabmessungen in jeder betrachteten Ebene so angepasst, dass sich eine volle Auslastung auf der Betondruckseite ergibt. Bei einer konstant gewählten Bewehrungsmenge ist es hingegen nicht möglich, dass in der gesamten Stütze der Stahl ins Fließen gelangt, da in den Bereichen mit geringer bzw. keiner Biegung auch keine Zugspannungen entstehen. Die Bewehrungswahl erfolgte deshalb so, dass das Fließniveau des Stahls mindestens in 50 % des Bauteils erreicht wird.

Beispielhaft wurde eine mit dieser Methode ermittelte Stützenform experimentell auf ihr Tragverhalten untersucht. Dazu wurde ein Versuchsstand entwickelt, mit dem die erforderliche Belastungssituation in der Stütze erreicht wird. Zum Vergleich wurde neben der optimierten Form auch stets eine konstante Referenzstütze mit gleichem Volumen getestet. Eine Laststeigerung von ca. 70 % konnte für die optimierte Geometrie anhand von drei Versuchen nachgewiesen und somit das Berechnungsverfahren verifiziert werden. Zudem bestätigten Dehnungsmessungen eine nahezu gleichmäßige Ausnutzung des Betons über die Stützenhöhe.

Würde der Vergleich nicht auf der Last-, sondern auf der Volumenebene stattfinden, dann könnte eine optimierte Geometrie bei gleicher Belastung mit der halben Betonmenge ausgeführt werden.

*along its length, the cross-sectional dimensions at each level considered were adapted in a way that the allowable concrete strains were fully utilized. However, given a constant amount of reinforcement, it was not possible to reach the steel yield strength along the whole column, because, in areas with low or no bending, the tensile stresses are also very low. Instead, reaching the yield strength in at least 50 % of the structural element was the criterion used to choose the reinforcement.*

*To demonstrate the methodology, the experimental load-bearing behaviour of a column, designed according to the proposed method, was investigated. Accordingly, an experimental setup was developed, which introduced the assumed loading in the column. For comparison purposes, a reference column with a constant cross section was also tested. On the basis of three tests, a load bearing capacity increase of approximately 70 % was achieved for the optimized geometry, and in this manner, the calculation method was also proved. Furthermore, strain measurements confirmed an almost uniform concrete strain distribution along the column height.*

*If the comparison is not undertaken by an equal volume but the loading, an optimized geometry can be made only with one-half of the concrete amount, but with the same stability.*

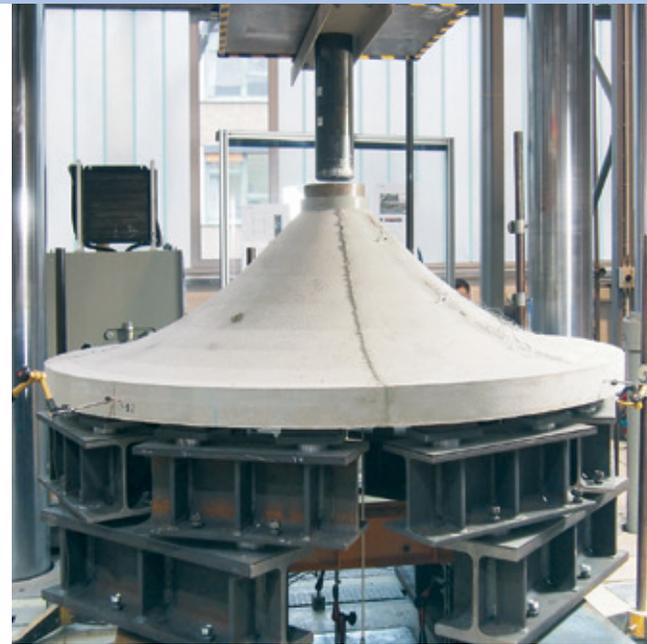


Stützenverformung unter exzentrischer Lasteinleitung  
Deformation of the column under eccentrically load transfer  
Photo: Thomas Häntzschel

- ▶ **Titel | Title**  
Querschnittsadaption 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 – 09.2018 (2. Periode)
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**  
Dipl.-Ing. Angela Schmidt



Prüfaufbau für Durchstanzuntersuchungen geschichteter Deckenplatten | Experimental setup to study punching shear failure of layered ceiling slabs | Photo: Kristina Farwig



Prüfaufbau für Durchstanzuntersuchungen gevouteter Deckenplatten | Experimental setup to study punching shear failure of haunched ceiling slabs | Photo: Kristina Farwig

## VON DER STÜTZE ZUR DECKE FROM THE COLUMN TO THE CEILING SLAB

Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Betonen können in Bereichen hoher Biegebeanspruchung eingesetzt werden und zu einer Verringerung des Eigengewichtes sowie zu einer effizienteren Materialausnutzung führen. Diese Aussage wurde im Laufe der ersten und zweiten Phase eines Teilprojektes im Rahmen des SPP 1542 bestätigt. Dabei kam in den oberen und unteren Deckschichten ein Beton der Festigkeitsklasse C20/25 zum Einsatz, während in der Kernschicht ein geringfester Porenleichtbeton den Abtrag der Querkräfte sicherte. Ist es jedoch auch möglich, im Stützbereich Porenleichtbeton einzusetzen und somit auch dort Gewicht einzusparen? Und kann das Material durch eine Anpassung der Form des Decken-Stützen-Anschlusses effizienter ausgenutzt werden? Diese Fragen galt es in den letzten Schritten der zweiten Projektphase zu klären. Dafür wurden zunächst rotationssymmetrische Plattenausschnitte numerisch und analytisch hinsichtlich ihrer Durchstanztragfähigkeit untersucht und in der Folge die Materialverteilung im Querschnitt sowie die Form des Anschlusses variiert. Die Va-

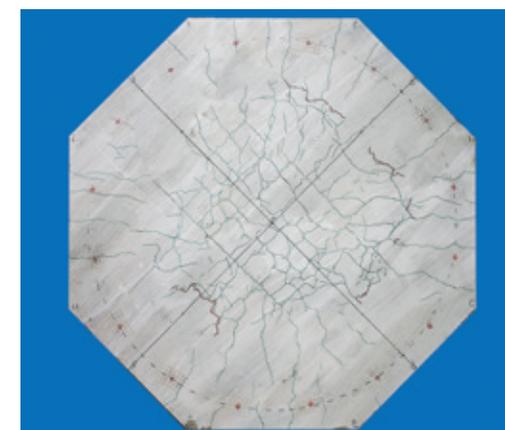
*Lightweight ceiling structures made of layered concretes can be used in areas subjected to high bending moments both to reduce the self-weight of the structure and to efficiently use the materials. This thesis has been confirmed in the first and second stage of a subproject in the SPP 1542. In the upper and lower cover layers normal concrete C20/25 was used, while the core layer contained light-weight concrete to ensure the transfer of the shear forces. Questions of interest are: Is it also possible to use light-weight concrete in the support area of the slab to reduce the dead load even more? Could the material be used more efficiently if the shape of the connection of the column to the ceiling slab is adjusted? These questions will be clarified in the last steps of the project. For this, axially symmetric parts of a simple-supported flat ceiling slab have been analytically and numerically analyzed to determine the punching shear resistance of the slab. The material distribution in the section of the slab, as well as the shape at the support area, were subsequently varied. The different design variations, which*

rianten, die einerseits eine Gewichtseinsparung sowie andererseits eine verbesserte Materialausnutzung bei höherer Tragfähigkeit aufwiesen, sollten anschließend experimentell überprüft werden.

Der Versuchsaufbau ermöglichte eine realitätsnahe Abbildung des komplexen Beanspruchungszustandes. Der Plattenausschnitt wird auf 16 Punkten gelenkig gelagert und zentrisch belastet. Die in der Biegezugzone der Betonplatte vorhandene Netzbewehrung wurde im Rahmen der Vorbemessung so festgelegt, dass ein Durchstanzversagen vor einem duktilen Biegeversagen eintritt. Neben den ebenen Referenzplatten prüften wir volumengleiche, geschichtete Platten. Die hoch beanspruchte Druckzone wurde durch den Einsatz eines etwas höherfester Normalbetons C35/45 in den Deckschichten geringfügig verstärkt. Der Referenzbeton C20/25 wird in der Kernschicht im Bereich der Kraftübertragung belassen und in gering beanspruchten Bereichen durch Porenleichtbeton ersetzt. In einer weiteren Versuchsreihe variierten wir schließlich die Form der Plattenunterseite, um eine Traglaststeigerung bei konstantem Volumen zu erzielen. Bei gleichem Traglastniveau kann somit deutlich an Material eingespart werden. Erste Versuchsergebnisse bestätigen die rechnerisch gestützte Annahme, dass bei den geschichteten Bauteilen ca. 30 % Eigengewicht eingespart werden kann, wenn die Materialien kraftflussgerecht im Bauteil eingesetzt werden.

*show on the one hand the lower weight and on the other hand the higher load capacity through the more efficient use of materials, should be verified experimentally.*

*The experimental setup allowed a realistic depiction of the stress conditions in the slab. The slab was simply supported at sixteen bearing points, while the force was applied in the centre of the slab. The orthogonally placed reinforcement in the bending tension zone of the slab was designed in a way that a punching shear failure occurs before a ductile bending failure. Beside the flat reference slabs, we have tested layered slabs with an equal volume. For the highly stressed compression zone, a concrete C35/45 with a somewhat higher strength in the cover layers was used. In the load transfer area, the reference concrete C20/25 was used, where other areas supporting low loads were filled with light-weight concrete. In the second series of tests, the shape at the bottom side of the slab was optimized to increase the punching load capacity, keeping the same volume as that of the reference slab. As a result, it was possible to sustain the same load, while significantly reducing the material quantities. First results confirm the analytical assumption of reducing the dead load of layered slabs by approximately thirty percent when the form of the material layers follows the direction of the forces.*



Typisches Rissbild an der Unterseite der geprüften Referenzplatte | Typical crack formation of a tested reference slab, view of the bottom side | Photo: Thomas Häntzschel

- ▶ **Titel | Title**  
Leichte Deckentragwerke aus geschichteten Hochleistungsbetonen  
*Lightweight ceiling structures made of layered high-performance concretes*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Deutsche Forschungsgemeinschaft (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
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**  
Dipl.-Ing. Kristina Farwig



Deckenelement im Prüfstand des Otto-Mohr-Laboratoriums | Test stand at Otto Mohr Laboratory with an optimized ceiling element  
Photo: Sebastian May

## RESSOURCENSPPARENDES DECKENBAUTEIL AUS CARBONBETON

### ECONOMICALLY CEILING ELEMENT MADE OF CARBON CONCRETE

Im Rahmen eines Institutsprojektes entwickeln, erforschen und prüfen wir materialeffiziente Deckenelemente aus Carbonbeton für den herkömmlichen Hochbau. Durch die Reduzierung der benötigten Betondeckung auf ein Minimum – für Carbonbewehrung notwendig zur Sicherstellung der Verbundkraftübertragung – können Carbonbetonbauteile gegenüber dem konventionellen Stahlbetonbau, wo eine viel größere Betondeckung zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion gebraucht wird, mit deutlich geringeren Bauteildicken hergestellt werden.

Durch die Kombination von höherfesten Betonen – welche im Rahmen des Verbundprojekts C3-B2 entwickelt wurden – und der hochfesten Carbonbewehrung können formoptimierte Bauteile deutlich effizienter und ressourcensparender gebaut werden. Dies wurde bereits anhand eines Carbonbetonträgers im Vorhaben C3-B2 gezeigt, bei dem eine Reduzierung der benötigten Betonmenge um

*Within the frame of an institute's project, we develop, research, and test material efficient ceiling elements made of carbon concrete for conventional structural engineering. By reducing the concrete cover to the minimum required to ensure the transmission of the bond forces of the carbon reinforcement, components can be manufactured with a significant reduction in thickness, as compared to that of conventional reinforced concrete construction, in which a much larger concrete cover is needed to protect the reinforcement from corrosion.*

*By combining high strength concrete, developed within the context of the common research project C3-B2, and high-strength carbon reinforcement, shape-optimized components are built in a more efficient and economic manner. This has already been demonstrated by a carbon concrete beam in project C3-B2, where the required amount of concrete has been reduced*

50 % gegenüber einem herkömmlichen Stahlbetonträger erzielt werden konnte.

Nun wurden leichte Carbonbeton-Deckenelemente hergestellt und erfolgreich auf ihre Tragfähigkeit getestet. Bei dem Deckenelement werden die vertikalen Belastungen 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 Zugstäbe aufgenommen. Bei einer unsymmetrischen Belastung des Druckbogens wird die Beanspruchung über Biegung aufgenommen. Das neu entwickelte Deckenelement wiegt mit 400 kg ungefähr 1,0 t weniger als ein Stahlbetonvollquerschnitt mit gleichen Außenabmessungen. Somit konnte mit dem Konstruktionsprinzip 70 % an Beton gespart werden. Die Herstellung des auch optisch ansprechenden Deckenelements konnte nur mit der flexiblen und hochfesten Textilbewehrung aus Carbon erfolgen.

Mit der Bauteilprüfung im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden konnte, wie bereits rechnerisch vorab ermittelt, bewiesen werden, dass alle Anforderungen an das Bauteil in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit eingehalten sind. Aktuell befindet sich noch ein Deckenelement im Dauerstandversuch. Hierbei wird über sechs Monate eine konstante Last auf das Bauteil aufgebracht und so das Langzeitverhalten des Verbundwerkstoffes geprüft. Nach dem Dauerlastversuch wird im Frühjahr 2018 die Resttragfähigkeit des Deckenelements geprüft werden.



Bogenschalung mit Stab- und Mattenbewehrung aus Carbon  
Formwork for the arch with carbon textile and carbon rebars  
Photo: Sebastian May

by 50% compared to conventional reinforced concrete.

Now, lightweight carbon concrete ceiling elements have been manufactured and successfully tested to verify their load-bearing capacity. In a ceiling element, vertical loads are carried by a combination of a compression arch with a tensile tie, which consists of a simply curved shell with a wall thickness of just 4.5 cm. The horizontal thrust of the arch is entered in the laterally arranged webs. In case of asymmetrical loading of the compression arch, the load is carried by bending. The only 400 kg heavy, newly developed ceiling construction weighs approximately 1.0 t less than an equally dimensioned reinforced concrete slab with a full cross-section. Thus, 70% of concrete could be saved with this design principle. The visually appealing ceiling element could only be produced by using flexible and high-strength textile carbon reinforcement.

The element testing in the Otto Mohr Laboratory proved that all requirements for the component at the ultimate and serviceability limit states are kept. One ceiling element is still in the long-term test, where a constant load is applied to the component over six months, so that the component's long-term behaviour is checked. After the long-term test, the residual load capacity of the ceiling element will be tested in spring 2018.

- ▶ **Titel | Title**  
Entwicklung leichter Deckenelemente aus Carbonbeton  
*Development of lightweight ceiling elements made of carbon concrete composite*
- ▶ **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



Maschinelle Herstellung der Schlaufen in Schussrichtung | Mechanical production of the loops in the weft direction | Photo: Kerstin Speck

## MASCHINELL HERGESTELLTES SCHLAUFENTEXTIL

### MACHINE MANUFACTURED LOOP TEXTILES

Die Leistungsfähigkeit von Carbonbeton wird durch den Einsatz von Garnen mit größeren Garnquerschnittsflächen, den Carbon Fiber Heavy Tows (CFHT) mit Feinheiten von mehreren Tausend tex, deutlich gesteigert. Beim Ersetzen von mehreren Lagen eines Textilgeleges mit geringeren Feinheiten durch eine Lage CFHT gleicher Tragfähigkeit lassen sich die Herstellungskosten verringern und der Aufwand bei der Verarbeitung auf der Baustelle wird reduziert. Die Erhöhung der Anzahl der Filamente in einem Garn führt jedoch zur Verringerung des Verhältnisses von Oberfläche zu Querschnittsfläche bei gleichzeitiger Steigerung der übertragbaren Garnzugkraft. Dies bedingt größere erforderliche Endverankerungs- und Übergreifungslängen. Eine mechanische Verankerung der zugbeanspruchten Garne über Formschluss soll eine effizientere Kraftübertragung ermöglichen.

Daher sollen formschlüssige Verankerungselemente durch eine modifizierte Garnanord-

*The performance of carbon textile reinforced concrete can be significantly increased by using yarns with a higher cross-sectional area, the so-called carbon fibre heavy tows (CFHT) with a fineness of several thousand tex. By replacing several layers of textile grids with lower fineness with one CFHT layer with the same load carrying capacity, the manufacturing costs and the installation effort at the building site can be reduced. However, properties of the bond between textile grids and concrete matrix limit the application of CFHT reinforcements. The high amount of filaments in one yarn results in a smaller surface in comparison to its cross section. Considering also that a high tensile force needs to be transmitted, significant larger anchorage and overlapping lengths are necessary. Mechanical anchorages allow the reinforcement to transfer tensile forces through the round closure area of the loops in a very efficient way.*

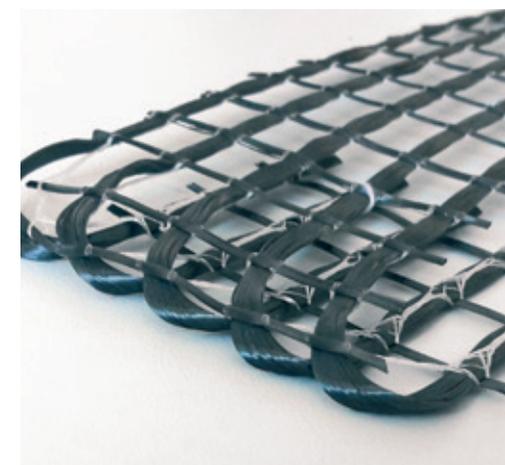
*In the modified textile production process, form-*

*locked anchorage elements will be mechanically integrated into the edges of textile carbon fabrics. An approach was to bend the whole edge of the textile. This method is conceivable in warp and weft direction, and it can be freely adapted at the building site. Because of its stiffness, the textile must be formed before manually soaking it. In comparison with straight yarn ends, the anchorage strength can be doubled with this process.*

Eine vielversprechendere Lösung sind dagegen Verankerungsschlaufen in Schussrichtung (Querichtung) eines Textils, die bereits in den textilen Herstellungsprozess integriert werden. In Vorversuchen mit händisch gefertigten Textilien hat sich ein Schlaufendurchmesser als optimal herausgestellt, der dem Dreifachen des Garnabstands entspricht. Bei der Übertragung in den textilen Herstellungsprozess lag die Herausforderung in der Ausbildung und Tränkung formtreuer Schlaufen, da sich herkömmliche maschinelle Herstellungs- und Tränkungsmaßnahmen als ungeeignet erwiesen. Nach einem Optimierungsprozess stehen jetzt maschinell gefertigte Textilien für die abschließenden Dauerstand- und Hochtemperaturversuche zur Verfügung.

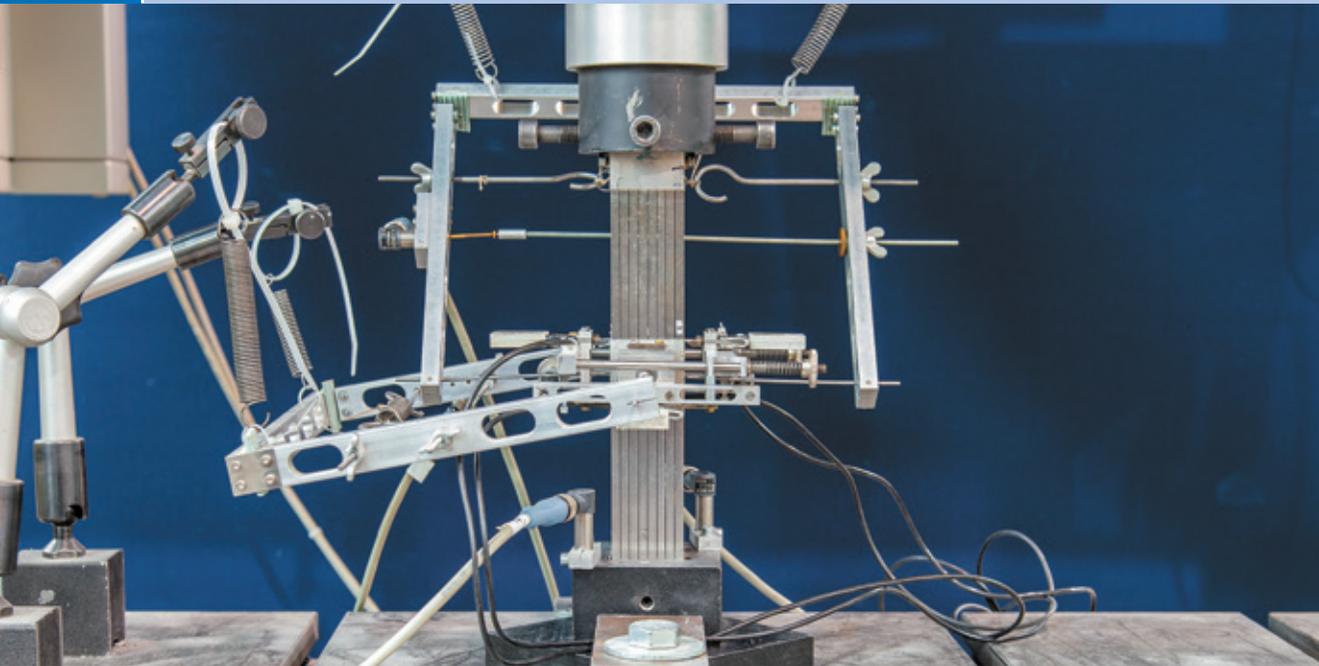
*Due to the manual soaking, however, the total longitudinal force capacity of the carbon fibres cannot be activated. By a specific alignment of the heavy tows, it is possible to get an optimized form-locked connection element. A promising solution are anchorage loops in the weft direction of a textile grid, which are integrated into the manufacturing process. In pre-tests with manually manufactured textiles, the ideal loop diameter turned out to be triple the distance between the yarns. The challenge in transferring the manual manufacturing process into machine manufacturing lies in the forming and soaking of the loops to achieve an accurate shape. Conventional machine manufacturing and soaking processes turned out to be unsuitable. After the optimization process, machine manufactured textiles are now available for subsequent long-term and high-temperature tests.*

*locked anchorage elements will be mechanically integrated into the edges of textile carbon fabrics. An approach was to bend the whole edge of the textile. This method is conceivable in warp and weft direction, and it can be freely adapted at the building site. Because of its stiffness, the textile must be formed before manually soaking it. In comparison with straight yarn ends, the anchorage strength can be doubled with this process.*



Umgeschlagener Rand eines CFHT-Geleges  
Turned up edge of a CFHT grid | Photo: Kerstin Speck

- ▶ **Titel | Title**  
Materialeffiziente und praxiserorientierte 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 – 06.2018
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**  
Dr.-Ing. Kerstin Speck
- ▶ **Projektpartner | Project partner**  
Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden



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

## TEXTILBETON UNTER DRUCK

### TRC UNDER COMPRESSION

Mit der fortschreitenden Entwicklung und Verbreitung des innovativen und ressourcensparenden Verbundwerkstoffs Textilbeton (TRC) bzw. Carbonbeton ergeben sich immer neue Anwendungsgebiete. Damit verbunden ist die Nachfrage nach Bemessungsmodellen oder Materialmodellen für computergestützte Berechnungen und Normung. Grundlage für solche Modelle ist das vollständige Ergründen des Tragverhaltens von Carbonbeton. Für das Verhalten unter Normalkraft-, Biege-, Querkraft- oder Torsionsbeanspruchung sind bereits erste Modelle entwickelt worden. Dahingegen ist über das Tragverhalten von Carbonbeton unter Druckbeanspruchung noch wenig bekannt. Dieses spezifische Materialverhalten ist vor allem für die Bemessung der Druckstreben bei querkraftbeanspruchten Balken, der bewehrten Druckzone im Biegebalken, von Bereichen mit Teilflächenpressung oder von Stützen von Bedeutung.

Um das Verhalten von Carbonbeton unter einaxialem Druck grundlegend untersuchen zu können, wurde eine breite Palette an Versuchen

*The progressive development and distribution of the innovative and resource-saving composite material textile reinforced concrete (TRC) lead to many new areas of application. As a result, there is a high demand for design models, material models for computational calculations or standardization. The base for these models is a complete understanding of the load bearing behaviour of TRC. For the behaviour under tension, bending, shear or torsion, models have been developed. However, the behaviour of TRC under compression is quite unknown. This specific material property is important for the design of compression struts in beam webs (shear forces), of compression zones in bending beams, of sections with a partial area under pressure, or columns.*

*To investigate the behaviour of TRC under uniaxial compression a wide range of tests was conducted. Unreinforced and reinforced fine-grained concrete cubes (40 × 40 × 40 mm<sup>3</sup>) were used as test specimens. The test program includes many different parameters that may*

durchgeführt. 40 × 40 × 40 mm<sup>3</sup> große unbewehrte und bewehrte Feinbetonwürfel dienen als Versuchskörper. Das aufgestellte Versuchsprogramm umfasste eine breite Palette von Einflussparametern, bei welchen die Ausrichtung der Textilien zur Druckrichtung eine wichtige Rolle spielte. Die Versuche an unbewehrten und bewehrten Proben aus dem Vorjahr, wobei der Fokus auf handlaminierten Proben lag, wurden um gegossene textilbewehrte Proben erweitert. Damit konnten neben Parametern wie Maschenweite, Maschenabstand, Garnstärke weitere Einflüsse untersucht werden. Die neuen Ergebnisse wurden hinsichtlich der Herstellungsart und der Betonfestigkeit verglichen. In einer letzten Versuchsreihe beschäftigten wir uns mit dem Einfluss unterschiedlicher Tränkungen der Textilien, im Speziellen wurden hierbei flexible und starre Tränkungssysteme verglichen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen konnten bereits erste allgemeine Aussagen abgeleitet werden. Zur letztendlichen Klärung des Tragverhaltens und zum besseren Verständnis der Mechanismen stehen noch numerische Simulationen aus, bspw. um den Spannungsfluss in den Probekörpern bei verschiedenen Winkeln zwischen Bewehrungsebene und Druckbelastung visualisieren zu können. In Anlehnung an Modellvorstellungen für geklüftete Gesteine soll ein Modell für Carbonbeton gefunden werden, um die Festigkeiten bei speziellen Neigungen der Textilien vorherzusagen zu können.

*affect the behaviour of TRC. In particular, the inclination of the textile plane compared to the loading direction is of great importance. The tests on unreinforced and reinforced specimens manufactured by hand-lamination and conducted in 2016 were extended with tests on textile reinforced cubes manufactured by casting. Therefore, it was possible to investigate new parameters, like the manufacturing process, by comparing the new results to the existing data. With the last test series, the influence of the impregnation of the textiles was investigated. In particular, a flexible and a stiff coating system were compared.*

*From the test data, the first general conclusions were formulated. Furthermore, numerical simulations were performed to get a better understanding of the load bearing behaviour and the material mechanics of TRC, and the analytical data were compared to the experimental data. For example, the stress flow inside specimens with varying inclination angles between the textiles and the loading direction could be visualized and analyzed. One way to find a model to predict the strength of TRC under compression with different inclined textiles would be the adaption of special models of fractured rocks.*



Bruchbild eines schräg bewehrten Textilbetonwürfels  
Fracture pattern of a TRC cube with inclined reinforcement layers  
Photo: Jakob Bochmann

- ▶ **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



Erster Test im Wellenbecken an der BTU Cottbus-Senftenberg | First feasibility test in a wave pool at BTU Cottbus-Senftenberg  
Photo: Egbert Müller

## AUTARTEC® – ZEIT, INS WASSER ZU GEHEN! AUTARTEC® – LET'S GO SWIMMING

Das Projekt autartec® befindet sich in seinem dritten und zugleich auch letzten Forschungsjahr und die einzelnen Technologien sind so weit entwickelt und optimiert, dass einer ersten Installation in einem Demonstratorgebäude (geplant für 2018) nichts mehr im Wege steht. Für das Verbundprojekt 1 bedeutet dies, dass neben den Wand- und Treppenelementen ein kleinmaßstäblicher Probeponton aus Carbonbeton konzipiert, produziert und auf seine Tauglichkeit geprüft wurde. Das Demonstratorgebäude selbst wird auf einem Stahlponton ruhen, der Nachweis der Machbarkeit eines Carbonbetonpontons erfolgte im Hinblick auf eine später mögliche Modifikation des Systems.

Ähnlich wie bei den zuvor entwickelten Elementen sollte auch beim Ponton das Konstruktionsprinzip „Platte mit Steg“ Anwendung finden. Neben der statischen Tragfähigkeit ist bei einem Ponton die Schwimmstabilität ein entscheidender Punkt, was beim Entwurf berücksichtigt werden musste. Der Schwerpunkt des Pontons soll unterhalb der Wasseroberfläche liegen, damit ein

*Three years of research and development have gone by, and it's time to start building the autartec® house demonstrator. Every single technology module is developed and optimized and will be ready to be installed in 2018. Within the frame of the common research project 1, a small-scaled pontoon was designed and produced. Its suitability was checked based on the knowledge gained during the development of the wall and stair elements. This first step is meant to show the feasibility of a carbon reinforced concrete pontoon, which could be implemented in the future as a variation of the system, yet the autartec® house will be still built of pontoons made of steel.*

*The wall and stair elements were designed using a "slab with web stiffeners" construction concept. Good results were reached, e.g., for the load bearing behaviour, and therefore this construction concept was applied to build the pontoon. Besides the load bearing resistance of the pontoon, the floating stability is really important and has to be considered during the*

stabilen Schwimmverhalten vorliegt. Der kleinmaßstäbliche Ponton ist für die Aufnahme eines circa 300 kg schweren Technologiedemonstrators gedacht. Der Ponton besitzt eine quadratische Grundfläche mit 1,25 m Seitenlänge und eine Höhe von 0,625 m bei einer konstanten Querschnittsdicke von 2,5 cm. Ohne die Masse des Technologiedemonstrators taucht der Ponton ca. 20 cm tief ein. Der Schwerpunkt des Volumenkörpers, welcher auf Grund seiner Symmetrie im Rohzustand auf etwa der halben Höhe liegt, befände sich somit oberhalb der Wasserkante. Wird der Ponton mit dem Technologiedemonstrator beschwert, sinkt er ganze 40 cm ins Wasser ein und der Schwerpunkt gelangt unter die Wasseroberfläche.

In der jetzigen Ausführung des Demonstrationspontons wurde aus herstellungstechnischen Gründen auf die Ausbildung der aussteifenden Stege verzichtet, da zuerst die prinzipiell mögliche Produktion gezeigt werden sollte. Das Besondere an diesem Carbonbeton-Prototypen ist, dass er in einem Guss, also ohne Arbeitsfugen, hergestellt wurde. Dazu wurde eine Spezialschalung aus Holz konzipiert, die schon nach einer sehr kurzen Erhärtungszeit entfernt werden konnte, um Rissen infolge der Schwindneigung des Feinbetons vorzubeugen. Das Ergebnis ist, wie auf den Bildern zu erkennen, sehr zufriedenstellend. Die Schwimmstabilität wurde am Institut für Bauingenieurwesen an der BTU Cottbus-Senftenberg von Prof. Stopp und seinem Team untersucht, denen an dieser Stelle noch besonders gedankt werden soll.



Prototyp eines Pontons aus Carbonbeton | Prototype of a carbon reinforced concrete pontoon | Photo: Egbert Müller

*design. To guarantee the floating stability, the centre of gravity of the pontoon should primarily be beneath the surface of the water. The small scaled pontoon is designed to carry a technology module with a weight of 300 kg. The cross section of the bottom slab has a square shape, with a side length of 1.25 m, the depth is 0.625 m, and the thickness is only 2.5 cm. Therefore, the centre of gravity of the pontoon is located at about half of its depth due to geometrical symmetry. Without the weight of the technology module, the pontoon immerses only 20 cm. Taking into account the weight of the technology module, the pontoon dives 40 cm into the water, and the centre of gravity of the pontoon is below the water's surface.*

*Due to the technology available to produce this first small pontoon, the stiffer webs were not included. Also, the pontoon was produced without any construction joints. To produce a pontoon without any joints, a special formwork, made of wood, was necessary. This formwork was removed very soon to prevent damage due to the concrete's shrinkage. The results of the first test pontoon were very satisfactory, as it can be seen in the pictures. The floating stability was tested at the laboratory of Prof. Stopp at BTU Cottbus-Senftenberg, and we would like to take this opportunity to express our gratitude to all of them.*

- ▶ **Titel | Title**  
Wachstums Kern 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  
*'Wachstums Kern' 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) / Wachstums Kern autartec®; Projektträger: FZ Jülich GmbH
- ▶ **Zeitraum | Period**  
09.2012 – 08.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.H. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Egbert Müller
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
AIB GmbH, Bautzen | bendl HTS, Sebnitz | BWB, Sebnitz | DZT, Dresden | Rupp Betonherzeugnisse



Einbauteil zur Längsverbinding von dünnen Carbonbetonelementen | Built-in part for the longitudinal connection of thin elements out of carbon reinforced concrete | Photo: Juliane Wagner

## EINBAUTEILE FÜR CARBONBETON

### BUILT-IN PARTS FOR CARBON REINFORCED CONCRETE

Das Verbundvorhaben C3-V1.1 „Entwicklung von Herstell- und Verarbeitungsprozessen von Carbonbeton“ im Verbundforschungsvorhaben C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite hat sich die Optimierung von Herstellprozessen von Carbonbeton zum Ziel gesetzt. Neben einer wirtschaftlichen Herstellung und definierten, hochwertigen Oberflächenqualitäten steht auch die Automatisierung der Herstellung von Carbonbetonbauteilen im Betonfertigteilwerk im Vordergrund. Zugehörig hierzu ist auch die Entwicklung von Ein- und Anbauteilen für Carbonbetonfertigteile.

Da in der Carbonbetonbauweise dünnere und filigranere Bauteile angestrebt werden, als man es aus dem Stahlbetonbau gewohnt ist – minimale Bauteildicken von 3 cm sind das Ziel –, sind bekannte und bewährte Ein- und Anbauteillösungen nicht mehr ohne Weiteres verwendbar. Im Vorhaben wurden sowohl Einbauteile zur parallelen Verbindung von Bauteilen als auch für Längs- und Übereckverbindungen entwickelt. Die bisher bekannten Lösungen hierfür erforderten Wandstärken von mindestens 5 cm. Neben den mechani-

*The joint research project C3-V1.1 „Development of manufacturing and workmanship processes of carbon reinforced concrete“ aims to streamline the manufacturing processes of carbon reinforced concrete. To achieve this, an economical manufacturing process, a finished product with high quality standards, as well as the automation of the manufacturing process of carbon reinforced concrete structures in precast factories needs to be accomplished. Therefore, built-in pre-cast carbon reinforced concrete structural elements have to be developed.*

*Building with carbon reinforced concrete means thinner structures than structures made out of steel reinforced concrete. The new components have a thickness of 3 cm; the minimum thickness of an element to be produced with the current technology is 5 cm. Thus, known solutions for built-in parts cannot be used anymore. Within the project, built-in parts for the parallel connection of carbon reinforced concrete elements were developed as well as for the longitudinal connection, with connections at*

schen Aspekten mussten bei der Entwicklung der Einbauteile auch bauphysikalische und herstellungsbedingte Aspekte berücksichtigt werden. Wärmebrücken sollten vermieden und eine reibungslose Herstellung im Fertigteilwerk musste garantiert werden.

Nach der Optimierung der Einbauteile bezüglich deren Anwendbarkeit im Fertigteilwerk wird nun deren Tragfähigkeit im Hinblick auf verschiedene Beanspruchungsrichtungen untersucht. Neben Längszug- und -druckversuchen sollen auch Querkzugversuche an den sowohl flächig als auch stirnseitig eingebauten Einbauteilen durchgeführt werden. Hierfür werden diese in Probekörper, bestehend aus einem mit Epoxidharz beschichteten Carbongelege und einer hochfesten Betonmischung, einbetoniert. Da die Belastung von Einbauteilen im Fertigteilwerk schon bereits am ersten Tag nach der Herstellung erfolgen kann, werden ausgewählte Tragfähigkeitsuntersuchungen bereits nach einem Tag statt nach den üblichen 28 Tagen nach der Herstellung durchgeführt.

Anhand der Ergebnisse der Tragfähigkeitsuntersuchungen kann letztendlich eine Aussage über die Anwendbarkeit der Einbauteile in dünnen Carbonbetonbauteilen getroffen werden. Bei Bedarf können weitere Optimierungen vorgenommen werden. Ziel des Projektes ist die Errichtung eines Demonstratorbauteils unter realen Fertigungsbedingungen.



Zugversuch an einem Einbauteil zur parallelen Verbindung von Carbonbetonbauteilen | Tensile test on a built-in part for the parallel connection of carbon reinforced concrete elements | Photo: Juliane Wagner

*right angles. When developing the built-in parts, mechanical, physical and manufacturing aspects have to be taken into consideration. Thermal bridges should be avoided and a flawless manufacturing process at the precast factory has to be guaranteed.*

*After optimization of the built-in parts to make them suitable for construction process at a precast factory, their load-bearing capacity in different loading directions has to be investigated. Longitudinal tension and pressure tests as well as transverse tension tests will be executed on built-in parts which could be placed either on the side or throughout the surface of concrete specimens. These specimens are made out of a carbon textile with epoxy resin embedded in a high-strength concrete. Since in precast factories built-in parts could be loaded at an age of one day, some mechanical tests will be executed one day after being set in concrete instead of after the usual 28 days.*

*Based on the results of the load bearing tests, it would be possible to determine the applicability of the built-in parts in thin carbon reinforced concrete elements. If necessary, further optimization could be done. It is the projects goal to erect a demonstrator under real manufacturing conditions.*

- ▶ **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
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**  
Dipl.-Ing. Juliane Wagner
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
15 Partner, davon 7 aus der Forschung und 8 Firmen



Bauteilversuch zum Nachweis der Eignung der Nachweis- und Prüfkonzepte | Large-scale test to demonstrate the suitability of the developed verification and testing methods | Photo: Robert Zobel

## VORBEREITUNG EINES REGELWERKS ZUM BAUEN MIT CARBONBETON

### PREPARATION A STANDARD FOR BUILDING WITH CARBON CONCRETE

Die meisten der bereits umgesetzten Bauvorhaben mit Textil- bzw. Carbonbeton erfolgten unter Verwendung einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE). Neben den ZiE gibt es bereits einzelne allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) für verschiedene Textilbetonanwendungen, z. B. für Biegeverstärkungen, Fassadenplatten und auch bereits für Sandwich-Wandelemente. Ein allgemeingültiges Regelwerk für Textil- bzw. Carbonbeton gibt es bis heute jedoch nicht. Für eine breitere Anwendung und allgemeinere Akzeptanz des Werkstoffs Carbonbeton bei Bauherrn, Tragwerksplanern und bauausführenden Firmen ist eine solche Richtlinie jedoch elementar. Globales Ziel dieses Vorhabens ist es daher, Forschungsergebnisse in technische Regeln umzusetzen und damit ein Regelwerk für Carbonbeton vorzubereiten.

In Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis wurden zu Beginn Arbeitspapiere für eine normative Regelung erstellt. Die über das gesamte Vorhaben fortführend bearbeitbaren Arbeitspapiere umfassen u. a. Regeln für die Bemessung von Neubauteilen und Verstärkungen, Anforderungen an Bewehrung und Beton sowie die

*Most of the building projects with textile or carbon concrete were built by the use of approvals for the individual case. Besides such approvals, there are already some general type approvals for various applications of textile reinforced concrete, for example for strengthening measures of structural elements under bending, for facade panels or sandwich wall elements. A general standard for carbon concrete does not exist nowadays. For wider use and acceptance of the construction material carbon reinforced concrete by building owners, structural engineers, and contractors such a standard is crucial. The main aim of this research project is, therefore, to transform research results into technical rules and to prepare a standard for carbon concrete accordingly.*

*At first, working documents for normative regulations were drawn up in cooperation between science and praxis. The working documents include, for example, rules for the design of building elements and strengthening, requirements on concrete and reinforcement and construction. In the working documents, a preferred stress-strain*

Bauausführung. In den Arbeitspapieren sind u. a. eine präferierte Spannungs-Dehnungs-Linie des Textils für die Bemessung, einzelne Ingenieurmodelle, Herstellungstoleranzen für sehr dünne Bauteile aus Carbonbeton sowie Prüfverfahren für die Kennwertermittlung angegeben.

Zur Ermittlung der Verbundkennwerte als Eingangsgröße für die Auslegung von Verankerungslängen wurden bspw. drei Verfahren – einseitiger Textilauszugversuch (SPO), beidseitiger Textilauszugversuch (DPO) und Garnauszugversuch (YPO) – verglichen. Der Vergleich zeigte, dass es aufgrund der stark streuenden Materialeigenschaften nicht das eine, für alle Fälle anwendbare Prüfverfahren gibt. Es wurden daher Anwendungsgrenzen sowie Randbedingungen für diese Verfahren festgelegt. Des Weiteren wurde das Verbundverhalten von Carbonstäben experimentell untersucht.

Weiterhin wurde der Einfluss einer fiktiven Vorbelastung eines zu verstärkenden Querschnitts auf die Biegebemessung untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die vor der Verstärkungsmaßnahme eingepprägten Dehnungen einen Einfluss auf die Dehnungsebene und somit auf die Versagensart sowie u. U. auf die erforderliche Querschnittsfläche der Bewehrung haben.

Prinzipiell möchten wir mit diesem Vorhaben einen maßgeblichen Beitrag für die Etablierung von Carbonbeton leisten, damit in Zukunft die Anwendung von Carbonbeton im Bauwesen zur Normalität wird.



Kennwertermittlung Verbund | Determination of bond characteristics | Photos: Robert Zobel



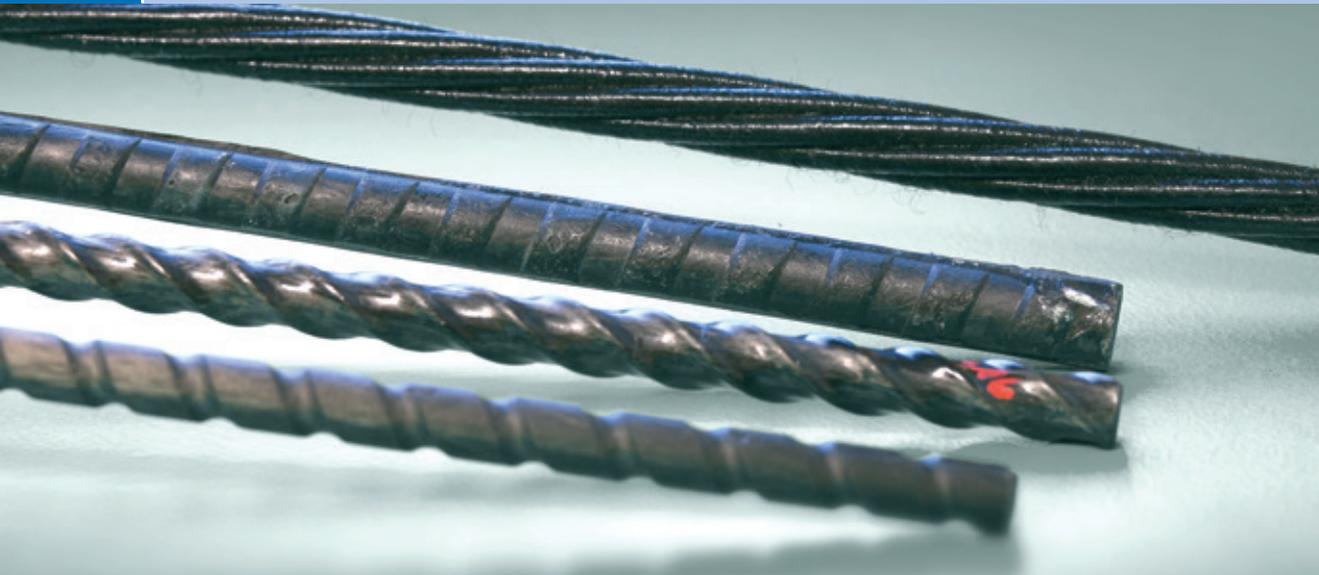
Kennwertermittlung an einer Betonprobe | Determination of characteristic properties on a concrete sample

*relation for the textile reinforcement, some engineering models, manufacturing tolerances for very thin building elements made of carbon concrete, or uniform test methods to determine material parameters is specified. To calculate the characteristic bond values for the design of anchorage lengths three test methods – single pull out test (SPO), double pull out test (DPO), and yarn pull out test (YPO) – were compared. As a result of strongly scattering material properties, the comparison shows that there is no single test method for all applicable cases. Therefore, boundary conditions for the three test methods were defined. The bond behaviour of carbon bars was also analyzed.*

*Furthermore, the influence of a fictitious preload on a structural member that should be strengthened for bending was investigated. It was found that the strains resulting from the preloading have an influence on the strain plane of the strengthened building element and thus on the type of failure, and possibly on the required cross-section area of the reinforcement.*

*The project goal is to make a major contribution to the establishment of carbon reinforced concrete so that the use of carbon concrete in construction will become a matter of course in the future.*

- ▶ **Titel | Title**  
TP C3-V1.2-1-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-V1.2-1-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 approvals
- ▶ **Förderer | Funding**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite
- ▶ **Zeitraum | Period**  
01.2016 – 04.2018
- ▶ **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\*in | Contributors**  
Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Jörg Weselek
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
17 Partner, davon 7 aus der Forschung, 2 Verbände und 8 Firmen



Verschiedene Oberflächenprofilierungen von Carbonstäben | Different surface profiling of carbon fibre rebars | Photo: Sven Hofmann

# ÜBER DEN VERBUND VON CARBONSTÄBEN MIT BETON

## ABOUT THE BOND AMONG CARBON RODS AND CONCRETE

Das Verbundverhalten zwischen Beton und Stahl ist heute bereits umfassend erforscht. Dagegen befinden wir uns bei der Erforschung des Verbundmechanismus zwischen Carbonstäben und Beton noch am Anfang. Da das Verbundverhalten maßgeblich die Verformungseigenschaften und das Tragverhalten eines Verbundwerkstoffs bestimmt, muss dieses aber auch für Carbonstäbe bekannt sein.

Das Verbundverhalten von Stahlbetonbauteilen beruht auf den drei Wirkungsmechanismen Haft-, Scher- und Reibungsverbund. Selbiges trifft nach heutigem Erkenntnisstand auch auf das Verbundverhalten zwischen Carbonstäben und Beton zu. Werden jedoch die Versagensmodi verglichen, so können beim Carbonbeton zusätzliche Einflüsse auftreten, die einen signifikanten Einfluss auf die maximalen Verbundwerte besitzen. Im Gegensatz zum Verbund zwischen Beton und Stahl ist bei Carbonbetonbauteilen nicht zwangsläufig der Beton die schwächste Komponente im Verbundwerkstoff. Neben den bekannten Mechanismen Abscheren der Betonkonsolen und dem plötzli-

*Nowadays the bond behaviour between concrete and steel has been extensively investigated. In contrast to that, the investigation of the mechanism regarding the bond between carbon rods and concrete is still at its beginning. Since the bond behaviour has a decisive influence on the deformation properties and the load-bearing behaviour of a composite, it needs to be understood for carbon rods, too.*

*The reinforced concrete component's bond behaviour is based on three mechanisms of action between steel and concrete matrix: adhesive, shearing and friction bond. According to current knowledge, the bond behaviour of carbon rods and concrete is related to the same mechanisms. But the comparison of the failure modes shows the appearance of additional effects, which affect the maximum bond strength significantly. Besides the known mechanisms, shearing of the concrete console, sudden blasting of the surrounding concrete, failure caused by shearing of the reinforcement ribs, failure by removing the inner rod core from*

chen Absprengen des umgebenden Betons können zusätzlich noch Versagen infolge Abscheren der Bewehrungsrippen, Versagen durch Ablösen des inneren Stabkerns von der äußeren Schicht des Bewehrungselements sowie ein kombiniertes Versagen von Beton und Carbonstab auftreten. Dabei hängen die Verbundfestigkeit und die Versagensart maßgeblich von den verwendeten Einzelkomponenten Faser und Matrix der Carbonstäbe, von deren Herstellungsverfahren sowie von der Oberflächengeometrie der Profilierung ab. Somit kann das Versagen nicht mehr vereinfacht durch Stabauszug oder Spaltbruch beschrieben werden, wie es bei Stahlbetonbauteilen üblich ist.

Im Rahmen des C<sup>3</sup>-Projektes V1.2 wurden Carbonstäbe mit unterschiedlichen Profilierungsvarianten im Auszugversuch getestet. Die Versuchsreihe diente dem Ziel, aus der Menge an verfügbaren Carbonstäben die Vielversprechendsten für weitergehende Untersuchungen zu ermitteln. Mit Hilfe dieser Versuchsreihe konnten erste Erkenntnisse zum Verbundverhalten zwischen Carbonstäben und Beton erlangt sowie eine Sondierung der zurzeit auf dem Markt vorhandenen bzw. von den Projektpartnern neu entwickelten Profilierungsvarianten durchgeführt werden. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die maximalen Verbundspannungen stark vom Herstellungsverfahren, der Oberflächengeometrie sowie der Matrix der Stäbe abhängen.



Mögliches Versagen von Carbonstäben in Beton, hier war das Abscheren der Kunststoffprofilierung maßgebend. Possible failure mode of rebars made of carbon fibres, here failure of the lugs of the rebar | Photo: Alexander Schumann

*the outer layer of the reinforcement element, and the combined failure of concrete and carbon rod can also occur.*

*In contrast to the behaviour observed for the bond between steel and concrete, in carbon concrete components the concrete is not necessarily the weakest component in this composite material. The bond strength and the mode of failure depend significantly on the individual components fibre and matrix of the carbon rods, their manufacturing, and the profiling's surface geometry. Thus, the failure could not be described in a simplified way by rod extract or cleavage fracture as it is common in reinforced concrete structures.*

*In the context of the C<sup>3</sup> project V1.2, carbon rods with different profiles were tested in a pull-out configuration. The test series had the aim to identify and select the best performing ones, to be used in further investigations. Based on this test series, first conclusions about the bond behaviour between carbon rods and concrete could be made, for the various profile types, which are currently available on the market or have been newly developed by project partners. Furthermore, it could be shown, that the maximum bond strength depends strongly on the manufacturing, surface geometry as well as the rod's matrix.*

- ▶ **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 approvals*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite
- ▶ **Zeitraum | Period**  
01.2016–04.2018
- ▶ **Leiter Teilvorhaben | Subproject managers**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
- ▶ **Bearbeiter\*in | Contributors**  
Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Jörg Weselek
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
17 Partner, davon 7 aus der Forschung, 2 Verbände und 8 Firmen



Abbruch eines Demonstrators aus Carbonbeton | Demolition of a demonstrator made of carbon concrete  
Photo: Jan Kortmann (Institute of Construction Management, TU Dresden)

## ABBRECHEN KOMMT VOR DEM BAUEN

### DEMOLITION FIRST, BUILDING SECOND

In dem Projekt betrachten wir die komplette Wertstoffkette im Lebenszyklus eines Bauteiles aus Carbonbeton. Dabei werden die Phasen Herstellung, Nutzung, Umbau und Modernisierung sowie Abbruch, Rückbau und Recycling von Großbauteilen aus Carbonbeton untersucht. Einzelne kleinere Versuche wurden dazu bereits 2016 erfolgreich durchgeführt. Nun galt es 2017, die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse an großformatigen Versuchskörpern zu überprüfen. Hierfür wurden zwei raumabschließende Gebäude aus Carbonbeton vorgefertigt und errichtet. Es wurden nur 8 cm dicke Fertigteile als schlanke tragende und nicht tragende Wände und zwei Doppel-Pi-Platten als Decke mit einer lediglich 6 cm starken Druckplatte verwendet. Die „kleinen“ Carbonbeton-Häuschen hatten die Abmaße 5,0 m x 2,5 m x 2,7 m (Länge x Breite x Höhe). Als Bewehrungen dienten flächige Matten und erstmals auch Stäbe aus Carbon. Beide Bewehrungshersteller sind erfolgreich auf dem deutschen und internationalen Markt tätig und wichtige Partner im gesamten C<sup>3</sup>-Projekt.

*In this project, we are dealing with the total material chain life cycle of components made of carbon concrete. Both materials, carbon, and concrete, as well as the resulting composite – carbon reinforced concrete – are considered. Furthermore, the production, use, conversion, and modernization, as well as the demolition and reuse of large components are examined. Individual small-scale tests were successfully carried out in 2016. In 2017, the goal was to verify the results of prior research on large-scale specimens. So, two space-enclosing buildings made of carbon concrete were prefabricated and built. The precast components used for bearing and non-bearing walls were just 8 cm thick. The slab thickness of the 2 double tee beams was just 6 cm. These 'small' carbon concrete cabins had a footprint of 5.0 m x 2.5 m and a height of 2.7 m. 2D textiles and rods made of carbon fibres served as reinforcement. Both reinforcement manufacturers are important partners in the entire C<sup>3</sup> project. To demolish both cabins, concrete drilling, separation techniques and dismantling work*

An beiden Versuchshäusern wurden Betonbohr- und -trenntechniken sowie Demontagerbeiten durchgeführt, welche im Zuge des Umbaus von Gebäuden oder zum Ende der Nutzungsdauer entstehen können. Diese Arbeiten können aber auch bereits in der Herstellungsphase als auch in der Nutzungsphase, z. B. bei Änderungswünschen des Planers oder Nutzers, notwendig werden. Bei den Versuchen zum Abbruchverhalten konnten wir feststellen, dass der Baustoff Carbonbeton – trotz seiner hervorragenden Verbundeigenschaften – sehr gut in die Ausgangsmaterialien Carbon und Beton trennbar ist. Weitere Versuche zur Kennwertermittlung und Weiterverwendung von zurückgewonnenen Carbonfasern werden aktuell durchgeführt.

Zur Überprüfung der bekannten Bemessungsansätze von Großbauteilen mit Carbonbeton wurde ein Deckenelement im Otto-Mohr-Laboratorium auf seine Tragfähigkeit geprüft. Diese Ergebnisse sind für parallel laufende C<sup>3</sup>-Projekte wichtig. Die rechnerische Versagenslast wich dabei gerade einmal 3 % von der experimentell bestimmten Bruchlast ab. Aktuell wird ein modulares Deckenelement für den Hochbau aus Carbonbeton geplant und bemessen, wobei die Möglichkeit einzuplanen ist, dass bei einer späteren Erhöhung der Nutzlast eine nachträgliche externe Carbonvorspannung aufgebracht werden kann, damit weiterhin alle erforderlichen Nachweise eingehalten werden. Die entwickelte Vorspanntechnik aus dem C<sup>3</sup>-Projekt V4.2 Vorgespannter Carbonbeton wird hierbei angewendet.

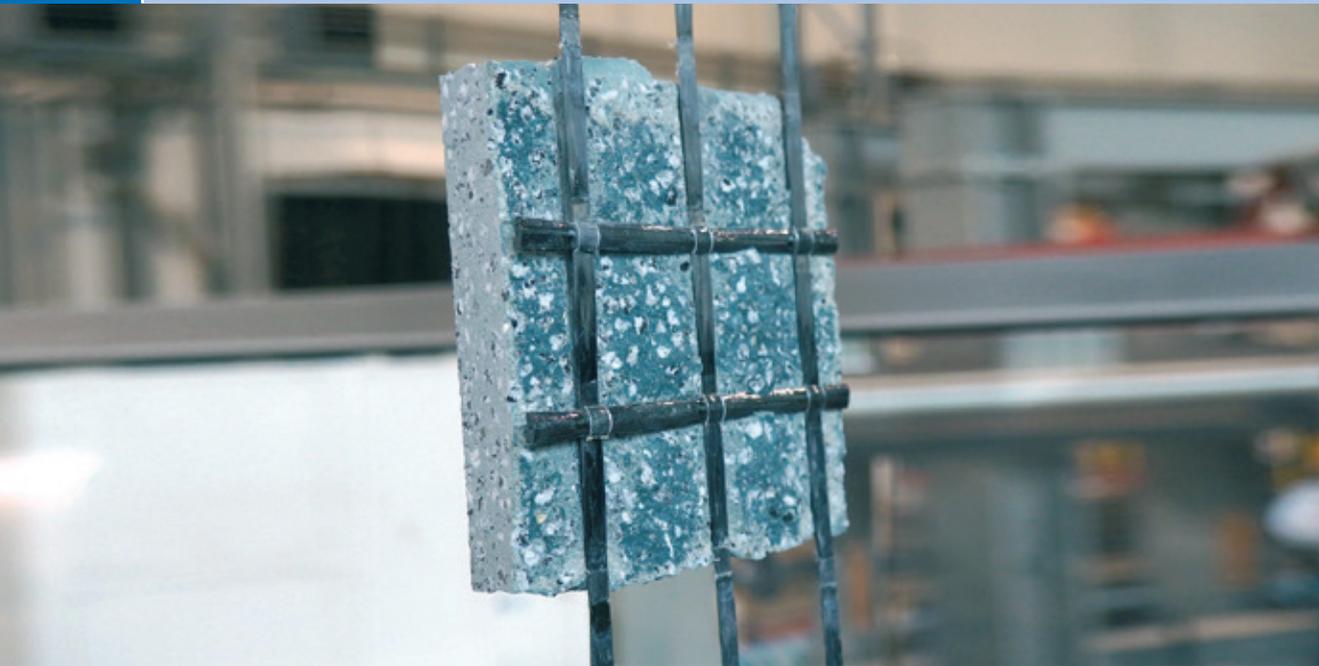
*were carried out, all of which may be required while renovating the buildings or at the end of their service life. But such type of activities may be required during production, as well as during construction as well, e.g., in the case changes are requested by the planner or the user. In the demolition tests, we could determine that the material carbon concrete – despite its excellent compound properties – could be very well separated into the two raw materials: reinforcement and concrete. Further tests for characterization and reuse of the recovered carbon fibres are being carried out.*

*The design methodology proposed for large components made of carbon concrete was corroborated by testing a ceiling element in the Otto Mohr Laboratory. As a result, the elements' load bearing capacity was determined, as such results are important for other C<sup>3</sup> projects. The calculated failure load differed by just 3% from the experimentally determined ultimate load. Currently, a modular ceiling component made of carbon concrete is being planned and its load bearing capacity is calculated. The design assumes that the element may be strengthened in the future, using an external post-tensioned carbon reinforcement, as it may be required if the applied external load were going to increase. The prestressing technique for carbon rods developed within the C<sup>3</sup> project V4.2 was used.*



4-Punkt-Biegetest einer Pi-Platte aus Carbonbeton  
4-point bending test of a ripped slab made of carbon concrete | Photo: Sebastian May

- ▶ **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: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite
- ▶ **Zeitraum | Period**  
03.2016 – 06.2018
- ▶ **Leiter Teilvorhaben | Subproject 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



Das Textil hält, selbst wenn der Beton schon längst versagt hat | Textile outlives concrete by far | Photo: Juliane Wagner

## WIE LANGE HÄLT CARBONBETON? LONG LIVE CARBON CONCRETE!

Mit Carbonbeton wird eine gegenüber Stahlbeton deutlich längere Lebensdauer angestrebt. Grundlage für die zuverlässige Gewährleistung dieser Lebensdauer in den verschiedensten Anwendungsfällen sind umfassende Kenntnisse zum Verhalten von Carbonbeton unter statischer und nicht vorwiegend ruhender Dauerbeanspruchung. Um diese Kenntnisse zu erlangen, müssen zunächst Verfahren entwickelt und getestet werden, die die Prognose des Tragverhaltens von Carbonbeton unter Dauerbeanspruchung ermöglichen.

In angrenzenden Werkstoffbereichen wie Stahlbeton und (ansatzweise) Textilbeton, aber auch für Faserverbundkunststoffe bestehen zwar bereits verschiedene Ansätze für Prüfkonzepte und Ingenieurmodelle für die Prognose des Dauerstand- und Ermüdungsverhaltens, deren Übertragbarkeit auf Carbonbeton muss jedoch erst noch geprüft werden. Im Vorhaben C3-V2.1 des Projekts C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite sind dafür Dauerversuche sowohl unter ruhender als auch unter nicht vorwiegend ruhender,

*By using carbon reinforced concrete, the aim is to achieve a significantly longer service life compared to that of reinforced concrete. The basis to guarantee the service life of carbon reinforced concrete for a wide variety of applications is the extensive knowledge of the behaviour of carbon reinforced concrete under long-term and fatigue loading. In order to gain this knowledge, at first, methods for predicting the load-bearing behaviour of carbon concrete under continuous load must be developed and tested.*

*There are various approaches regarding test concepts and engineering models for the prediction of long-term and fatigue behaviour of similar materials such as reinforced concrete and (partially) textile reinforced concrete but also for fibre reinforced plastics. The feasibility of transferring such knowledge to carbon reinforced concrete has still to be tested. Within the joint research project C3-V2.1, in the frame of the project C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite, long-term tests are planned for both static and*

zyklischer Dauerbelastung geplant, mit denen das Materialverhalten von Carbonbeton in geeigneten kleinteiligen Versuchen für unterschiedliche Belastungszeiträume und Schwingspielzahlen unter verschiedenen, definierten Lastniveaus und maßgebenden Expositionen untersucht werden kann. Angestrebt ist es, Ansätze für die Prognose des Materialverhaltens aufzustellen und mithilfe dieser Versuchsergebnisse zu validieren.

Anhand von Bauteilversuchen unter ausgewählten Randbedingungen soll anschließend die Übertragbarkeit des in den kleinteiligen Versuchen nachgewiesenen Materialverhaltens unter Dauerbelastung auf große Bauteile überprüft werden. Dafür wird, soweit verfügbar, auf bestehende Ingenieurmodelle für das Tragverhalten von Carbonbetonbauteilen zurückgegriffen (die nach heutigem Stand der Technik zumeist auf Kurzzeitversuchen beruhen), deren Übertragbarkeit auf das Bauteilverhalten unter zyklischer bzw. statischer Dauerbelastung zu prüfen ist. Dieses Vorgehen soll es schließlich ermöglichen, beispielhaft für verschiedene Materialkombinationen – untersucht werden sowohl Carbonstäbe als auch zwei verschiedene Textilvarianten – die Lebensdauer für Anwendungsfelder in den Bereichen Verstärkungen und Neubauteile im Innen- und Außenbereich zu prognostizieren, die materialtechnischen Anwendungsgrenzen aufzuzeigen und so für Carbonbeton den Weg in die Zukunft zu bahnen.

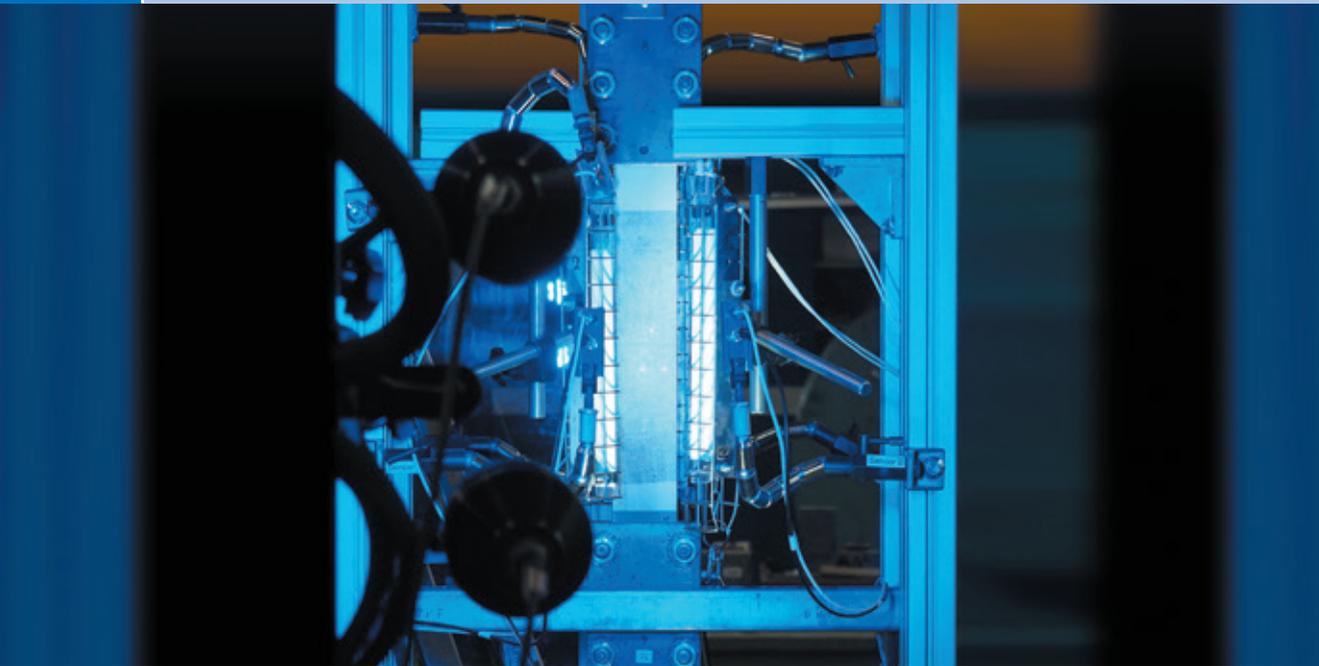


Vorversuche zum Dauerverbund | Preliminary long-term bond tests  
Photo: Elisabeth Schütze

*not predominantly static, cyclic long-term loads. It is expected that with these test series, the material behaviour of carbon reinforced concrete can be examined in suitable small-scale tests for different loading periods and numbers of load cycles respectively, as well as under various, defined load levels and critical exposures. The aim is to establish methods for the prediction of material behaviour and to validate them using these test results.*

*With tests on building components, under selected conditions, the applicability of the known material behaviour, proven in the small-scale tests, to structural components is then to be validated. Where available, this is based on existing engineering models for the structural behaviour of carbon reinforced concrete components, which currently are mostly based on short-term tests. The transferability of these models to the structural behaviour under cyclic or static long-term loads is to be tested. This approach should finally allow the prediction of the service life for indoor and outdoor applications in the area of strengthening, and new components for different material combinations, as examples carbon rods and two different textiles, and establish the material's application limits. Thus, the path to the future is opened for carbon reinforced concrete.*

- ▶ **Titel | Title**  
TP C3-V2.1-1-a: Ermüdungsverhalten von Carbonbeton sowie carbonbetonverstärkte Bauteile unter statischer und zyklischer Dauerlast im Verbundvorhaben C3-V2.1: Dauerstandverhalten von Carbonbeton  
*TP C3-V2.1-1-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
- ▶ **Bearbeiterinnen | Contributors**  
Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze, Dipl.-Ing. Juliane Wagner
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
7 Partner, davon 4 aus der Forschung und 3 Firmen



Dehnkörperprüfung bei erhöhter Temperatur | Tensile test on a specimen exposed to temperature | Photo: Elisabeth Schütze

## WAS PASSIERT, WENN ES BRENNT?

### WHAT HAPPENS WHEN IT BURNS?

Hinsichtlich eines größeren Anwendungsbereiches von Carbonbeton im Hochbau ist eine Untersuchung des Materialverhaltens unter Hochtemperatur- und Brandbeanspruchung dringend erforderlich. Die Ermittlung der Kenngrößen zur Herleitung einer Heißbemessung ist eine weitere Grundlage zur Marktfähigkeit von Carbonbeton.

Die grundlegenden Anforderungen, die an das Material hinsichtlich des Brandschutzes gestellt werden, sind in verschiedenen nationalen und europäischen Vorschriften dargelegt. Diese Anforderungen wurden zu Projektbeginn zusammengetragen und daraus die erforderlichen Prüfungen abgeleitet. Die Prüfungen zur Bestimmung der Baustoffklasse und Feuerwiderstandsklasse werden bei der MFPA Leipzig GmbH im Rahmen des Projektes durchgeführt.

Weiterhin ist ein Schwerpunkt die experimentelle Bestimmung von Kennwerten für Carbonbeton mit textiler Bewehrung unter Hochtemperaturbeanspruchung. Hierfür sind für die einzelnen textilen Gelege, die unterschiedliche Eigenschaften

*An investigation of the material behaviour of carbon reinforced concrete exposed to high temperatures and fire is required to open up a larger scope of application in building industry. The determination of the parameters for a concept of the structural fire design for carbon reinforced concrete is another basis for the marketability of the composite.*

*The basic material requirements which are related to fire safety are set out in various national and European regulations. These requirements were compiled at the beginning of the project. The necessary tests were derived from these. The tests for determining the fire classes and fire resistance classification are carried out at MFPA Leipzig GmbH as part of the project.*

*Another focus is the experimental characterization of carbon reinforced concrete with textile reinforcement exposed to high temperature. For this purpose suitable experimental setups are to be developed for the several textile reinforcements which have different properties. The*

ten aufweisen, geeignete Versuchsaufbauten zu entwickeln. Die Untersuchungen beinhalten das Zug- und Verbundverhalten unter Hochtemperatur. Aufbauend auf den Prüfeempfehlungen des Basisvorhabens C3-B3 werden die Versuche für die Hochtemperaturbeanspruchung angepasst. Gerade bei textilen Gelegen mit einer Tränkung auf Epoxidharzbasis gibt es noch Optimierungspotenzial. Es ist bei diesen Gelegen möglich, die Zugfestigkeit an einem Faserstrang oder einem Dehnkörper zu prüfen. Da die dafür verwendete Probekörpergeometrie von der für Probekörper mit Styrol-Butadien-Tränkung (SBR) abweicht, muss der Versuchsstand angepasst werden. Ein weiterer Grund für die Modifikation ist, dass bei der Prüfung am Faserstrang die Steuerung der Temperatur eine Herausforderung darstellt, da sich die beiderseitig angebrachten Strahler gegenseitig beeinflussen. Die in C3-B3 empfohlenen Versuche zur Prüfung der Verbundfestigkeit sind bei Hochtemperaturbeanspruchung ebenfalls nur für SBR-getränkte Textilien anwendbar. Für Textilien mit einer Tränkung auf Epoxidharzbasis ist ein geeigneter Versuchsaufbau zu entwickeln.

Aus den experimentell bestimmten Kennwerten können dann Beiwerte ermittelt werden, die einen Abfall der Festigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur berücksichtigen und somit Eingang in die praktische Anwendung, z. B. bei der Bemessung, finden. Eine Übertragbarkeit des Sicherheitskonzeptes aus dem Eurocode 2 auf die ermittelten Kennwerte bildet den finalen Schritt der Untersuchungen.

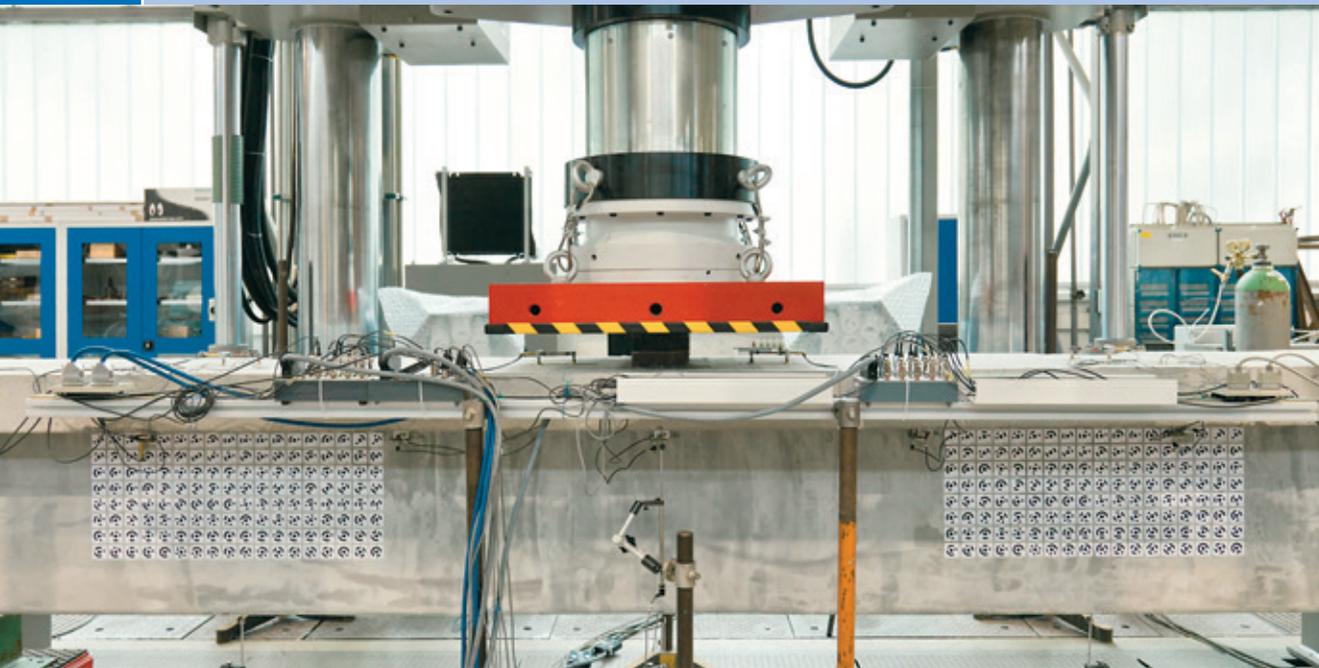


Ein möglicher Verbundprobekörper im Test  
Possible bond test | Photo: Karoline Holz

*investigations include the tensile and the bond behaviour when the sample is exposed to high temperatures. Based on the test recommendations of the basic project C3-B3, the high-temperature tests are adjusted. There is still room for improvement, especially in the case of textile reinforcement with an impregnation based on epoxy resin. For these materials, it is possible to test the tensile strength on a single fibre strand or on the composite. The specimen's geometry had to be changed compared to that for specimens made with textile reinforcement with styrene-butadiene impregnation (SBR) so the test setup has to be adapted too. Another reason for the modification of the test setup is that controlling the temperature during a test of a single fibre strand is a challenge because the two-sided spotlights influence each other. The C3-B3 bond strength tests can be recommended for high temperatures also only for SBR impregnated textiles. For textiles impregnated with epoxy resin, a suitable experimental set-up must be developed first.*

*Based on the experimentally determined material characteristics at elevated temperatures, in the next step, coefficients can be determined which take into account the drop in strength with rising temperatures. These coefficients can be integrated into the structural fire design. The final step of these investigations is to transfer the safety concept from Eurocode 2 to the determined material characteristic.*

- ▶ **Titel | Title**  
TB C3-V2.3-1-a: Materialverhalten von Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung im Verbundvorhaben C3-V2.3: Brandverhalten von Carbonbeton  
*TB C3-V2.3-1-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 – 04.2019
- ▶ **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter\*in | Contributors**  
Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Daniel Ehlig
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
4 Partner, davon 1 aus der Forschung und 3 Firmen



Prüfung eines carbonbetonverstärkten Plattenbalkens | Testing of a T-beam strengthened with carbon concrete | Photo: Ulrich van Stipriaan

## ALLGEMEINGÜLTIGE VERSTÄRKUNGSKONZEPTE

### GENERAL REINFORCEMENT CONCEPTS

Bauwerke nachhaltig und effizient verstärken, nur wie? Mit dieser Fragestellung setzen sich die Partner im C<sup>3</sup>-Projekt „Gesamtkonzepte für die nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton“ auseinander. Das Projekt ist ein Verbundvorhaben mit fünf Praxispartnern und einer weiteren Forschungseinrichtung und wird innerhalb der Zwanzig20-Initiative C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite realisiert. In vorangegangenen Forschungs- und Praxisprojekten konnte die Verstärkung unterschiedlicher Bauteilquerschnitte wie Stützen, Deckenplatten und Balken mit Textilbeton bereits erfolgreich gezeigt werden. Auf Basis von experimentellen Untersuchungen wurden Berechnungsmodelle und Sicherheitskonzepte für die baupraktische Umsetzung der Bauteilverstärkungen entwickelt.

Nun ist es an der Zeit, die bereits entwickelten Handlungsempfehlungen und Bemessungskonzepte zu einem in sich schlüssigen Katalog zusammenzuführen und anschließend ein Ge-

*How to strengthen buildings in a sustainably and efficiently manner? The partners in the C<sup>3</sup>-project “Overall concepts for the retrofit of components with carbon concrete” address this question. The project is a joint project with five partners from industry and another research institution, and it will be completed within the common research project C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite. In previous research and practical projects, the strengthening of different kinds of components such as columns, ceiling slabs, and beams with textile reinforced concrete has already been successfully demonstrated. On the basis of experimental investigations, calculation models and safety concepts were developed to provide guidelines on how to strengthen various components in practice.*

*It is now time to merge the recommendations for loads and design concepts already developed into a coherent catalog, and then to develop an overall concept for reinforcing measures for*

samtkonzept für Verstärkungsmaßnahmen für unterschiedliche Bauteile und Belastungsarten zu erarbeiten. Um dieses Ziel zu erreichen, mussten zu Beginn alle vorhandenen, bauteilspezifischen Verstärkungskonzepte zusammengetragen werden. Der Formelapparat soll dabei praxisorientiert aufbereitet werden. Im darauffolgenden Schritt sollen in Abstimmung mit den Praxispartnern die vorhandenen Bauteilkonzepte besprochen und mit dem Know-how der Praxispartner geprüft werden, ob im Formelapparat der jeweiligen Verstärkungsmaßnahme alle üblichen Nachweise vorhanden sind oder ggf. weitere Nachweise einzubinden sind.

Nach der Erarbeitung des Gesamtkonzeptes für Verstärkungsmaßnahmen von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton sollen an bestimmten Bauteilquerschnitten Versuche durchgeführt werden. Diese sollen die verschiedenen Aspekte der Handlungs- und Bemessungsempfehlungen, wie das Sicherheitskonzept und das Trag- bzw. Versagensverhalten, bestätigen bzw. validieren. Zeigt sich bei den Bauteilversuchen ein nicht prognostiziertes Materialverhalten, was bei Verwendung neuer Materialkombinationen der Fall sein kann, muss das Konzept für die bauteilspezifische Verstärkungsmaßnahme erneut geprüft und ggf. um weitere Nachweisführungen ergänzt werden. Am Projektende wird ein vollständiges Gesamtkonzept für die Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Carbonbeton für die Anwendung in der Baupraxis zur Verfügung stehen.

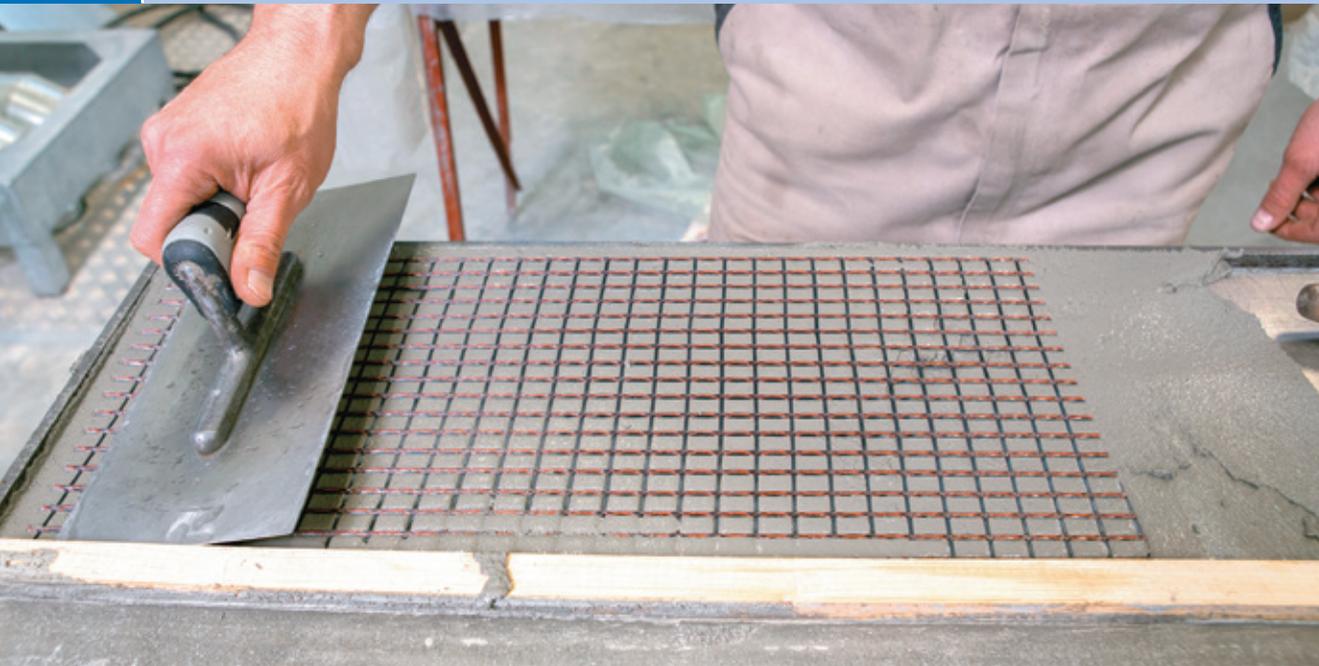
*different components and load types. To achieve this goal, first, all existing component-specific reinforcement concepts had to be compiled. The formulas are to be prepared in a practice-oriented manner. In the next step, the existing component concepts are to be discussed in coordination with industry partners and tested using the know-how of industry partners to determine whether all the usual proofs have been considered in the proposed formulae for the respective reinforcement measure, or whether further proofs are to be included if necessary.*

*After the development of an overall concept for strengthening measures of reinforced concrete components with carbon concrete, tests will be carried out on specific component cross-sections. These are intended to confirm or validate the various aspects of the recommendations for loads and design, such as the safety concept and the load-bearing behaviour or failure mechanisms. If the component tests reveal an unpredictable material behaviour, which may be the case if new material combinations are used, the concept for the part-specific reinforcement measure must be tested again and, if necessary, additional verification procedures must be added. At the end of the project, a complete overall concept for the reinforcement of reinforced concrete elements with carbon concrete will be available for use in construction.*



Bemessungshilfen für die Verstärkungsschicht  
Tools to design the strengthening layer | Photo: Egbert Müller

- ▶ **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. Daniel Ehlig
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
6 Partner, davon 1 aus der Forschung und 5 Firmen



Herstellung von Carbonbeton im Laminierverfahren | Manufacturing of carbon reinforced concrete by laminating  
Photo: Jörg Singer

## QUALITÄTSSICHERUNG VON CARBONBETON

### QUALITY ASSURANCE OF CARBON CONCRETE

Betonbewehrungen im Bauwesen dienen der Aufnahme von Zugspannungen, da die Betonzugfestigkeit sehr gering ist und bemessungstechnisch nicht angesetzt werden kann. Bei Carbonbeton werden diese Bewehrungselemente aus Kohlefasern in Form von Textilien oder Stäben hergestellt. Im Bauwesen gelten für diese Materialien hohe Anforderungen, da ein unkalkulierbares Versagen ein großes Sicherheitsrisiko darstellen würde. Für die Marktreife von Carbonbeton ist daher die Qualitätssicherung – also die Sicherstellung ausgewählter Materialeigenschaften durch die Einhaltung, Überprüfung und Dokumentation relevanter Herstellgrößen – ein zentrales Forschungsthema.

Zur Erstellung eines Qualitätssicherungssystems für Verbundmaterialien ist es nicht nur notwendig, die Eigenschaften der Komponenten, sondern auch die sehr komplexen Interaktionen im Materialverbund (Kompositmaterial) zu identifizieren und zu charakterisieren. Für den Herstellprozess gilt dies ebenso; die Herstellprozesse der Komponenten interagieren und können

*Concrete reinforcements used in construction are assumed to carry the tensile stress in the elements, as the tensile strength of concrete is very low, and it is usually neglected in the calculations. In carbon concrete, these reinforcing elements are made of carbon fibres, which are provided as textiles or bars. In construction, high demands are placed on these materials, because an unpredictable failure would pose a major security risk. It is necessary to ensure the material properties of carbon concrete to facilitate its entry into the market.*

*To create a quality management system for composite materials, it is not only necessary to identify and characterize the properties of the components, but also the very complex interactions in the composite material. This also applies to the manufacturing process; the manufacturing processes of the components might interact, and therefore, it cannot be analyzed independently. After an intensive analysis of the manufacturing and testing processes used in the project "C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite", a*

daher nicht unabhängig voneinander analysiert werden. Durch eine intensive Analyse der in dem Projekt „C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite“ angewendeten Herstell- und Prüfprozesse wurde eine digitale, modular aufgebaute und im Baukastenprinzip kombinierbare Prozessstruktur modelliert. Sie basiert auf dem aktuellen Stand der Entwicklung und beschreibt jeden Prozessschritt mit den bereits bekannten und potenziell qualitätsrelevanten Parametern. Verschiedene Varianten der Herstellung und Prüfung von Carbonbeton sind somit zum einen gesamtheitlich protokollierbar und zum anderen über Prozessschritte hinweg analysierbar. Durch den modularen Aufbau der Struktur wird die Komplexität der Qualitätssicherung verringert. Die Einheitlichkeit der Struktur erlaubt den Vergleich einer großen Anzahl an Versuchsergebnissen und kann somit Rückschlüsse auf qualitätsrelevante Einflussgrößen ermöglichen.

Ziel ist, das System für alle Mitglieder des C<sup>3</sup>-Konsortiums online zugänglich zu machen. Durchgeführte Materialversuche werden entsprechend der vorgegebenen Form dokumentiert und können – entsprechend den jeweils geltenden Vertraulichkeitsrichtlinien – ausgetauscht und veröffentlicht werden. Mithilfe zukünftiger Forschungsergebnisse wird die Modellierung der Herstellprozesse kontinuierlich angepasst.

*digital, modularly constructed system was built. It allows combining different steps during the manufacturing and testing process to model its variations. It is based on the current state of development and describes each process step with the already known and potentially quality-relevant parameters. Variations in the production and testing of carbon concrete are on one hand traceable, and on the other hand, can be analyzed across process steps. The uniformity of the structure allows the comparison of a large number of test results and can also allow conclusions about quality-relevant parameters.*

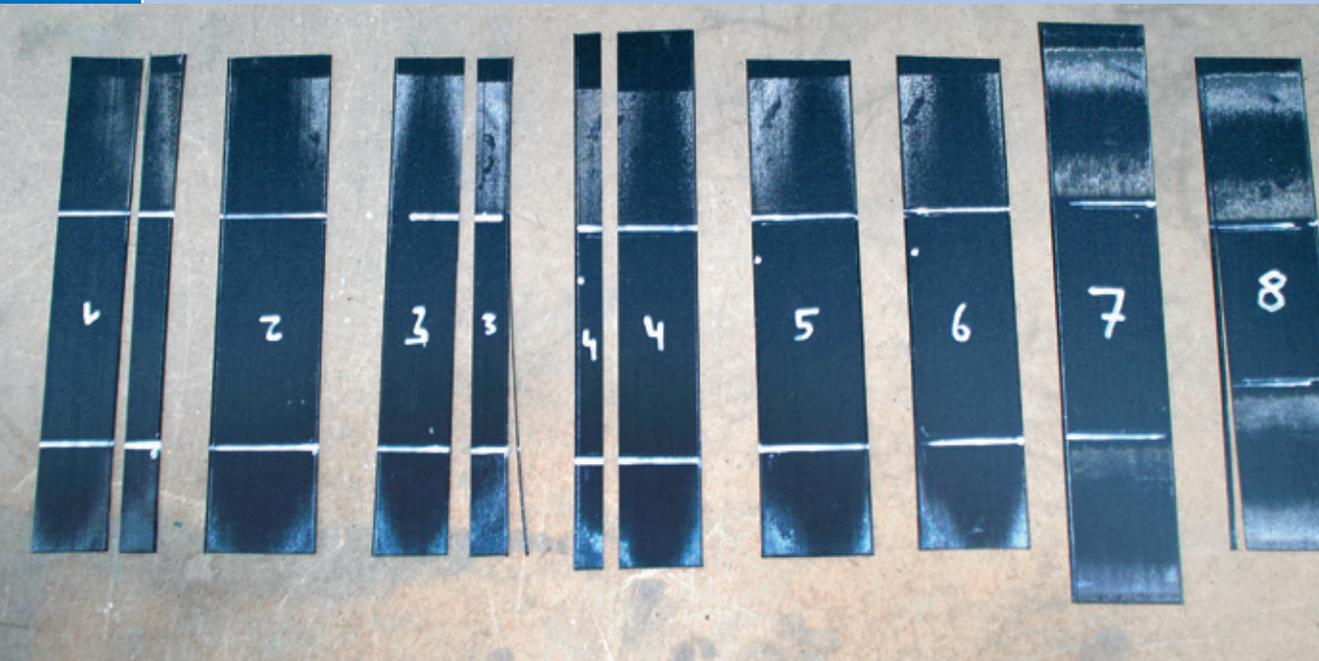
*The aim is to make the system available online to all members of the C<sup>3</sup> consortium. Tests will be documented by the prescribed form and may be exchanged and published by the applicable confidentiality guidelines.*

*With the help of future research results, the modeling of manufacturing processes will be continuously adjusted.*



Herstellung von Carbontextilien; hier: in Textilmaschine eingelegte Carbonspulen | Manufacturing of carbon textiles; here: carbon fibre tubes installed in a textile machine | Photo: Thilo Schoch

- ▶ **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 a 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
- ▶ **Verbundvorhabenteiler | 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\*in | Contributors**  
Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze, Dipl.-Ing. Jan Panzer
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
2 Partner aus der Forschung



CFK-Lamellen nach erfolgter Reibungskoeffizient-Prüfung | CFRP lamellas after tests for the determination of the coefficient of friction between steel and CFRP | Photo: Oliver Steinbock

## CARBONZUGGLIEDER – DIE SPANNUNG STEIGT

### COMPACT ANCHORS FOR CARBON TENDONS

Der Siegeszug des Spannbetons begann nach der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und damit mehrere Jahrzehnte nach der Etablierung des Stahlbetonbaus. Zwar gab es schon früh Bestrebungen, den Beton vorzuspannen, jedoch scheiterte dieses Vorhaben an zu geringen Stahlfestigkeiten bzw. erreichbaren Vorspanngraden, sodass die Vorspannung letztlich durch das Kriechen und Schwinden des Betons verloren ging. Heute liegen uns hochfeste Zugelemente aus CFK-Fasern vor, sodass es nahe liegt, den Carbonbeton auch vorzuspannen. Hier setzt das Teilprojekt zur Entwicklung kompakter Verankerungselemente an, welches Teil des Verbundprojekts C3-V4.2 – Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke – ist, bei dem die gesamte Bandbreite des vorgespannten Carbonbetons untersucht wird.

Die besondere Herausforderung bei der Verankerung von Carbonzugelementen liegt hierbei in der Querdruckempfindlichkeit der Zugelemente selbst. Die Empfindlichkeit der Bauteile erfordert

*The triumph of prestressed concrete began at the end of the 20th century, several years after the establishment of reinforced concrete took place. Indeed, there had been prior attempts to prestress concrete, but they failed because of insufficient steel strengths, or because the required amount of prestressed could not be maintained, due to creep and shrinkage losses of the concrete. Today, there are CRP fibres elements available with a high tensile strength that is suitable for prestressing. The development of compact anchoring elements, as part of the project C3-V4.2 – Pre-stressed Carbon Concrete for Road Bridges and Surface Structures, focus on the analysis of pre-stressed carbon concrete.*

*The specific challenge of anchoring carbon tension elements is the sensitivity of lateral pressure of the tension elements. Concerning the anchoring possibilities, the sensitivity of the structural components requires special considerations; even more, if the retightening,*

daher besondere Überlegungen bezüglich der Möglichkeiten der Verankerung, welche durch zusätzliche Anforderungen an das Verankerungssystem, wie Nachspannbarkeit, Austauschbarkeit und Wiederverwendbarkeit, noch anspruchsvoller werden.

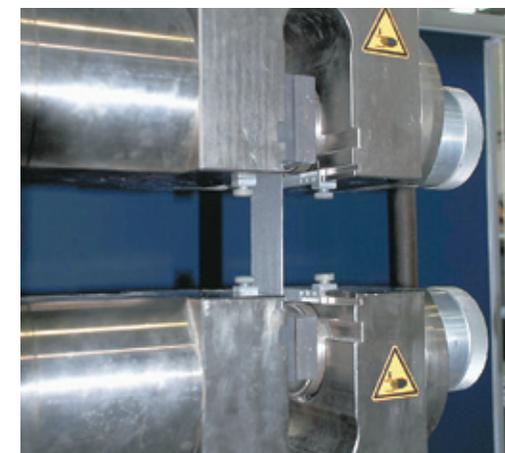
Aufgrund dessen wurde eine kombinierte Reib-Klemm-Verankerung entwickelt. Gegenüber am Markt vorhandenen Systemen erfolgt die Lasteinleitung hier über eine gezielte Vorspannung von Schraubenpaaren, die in Verbindung mit einer variablen Oberflächenrauigkeit einen gleichmäßigen Lastabtrag ermöglicht. Ein Versagen im Verankerungsbereich soll somit vermieden werden. Numerische Untersuchungen lieferten aussichtsreiche Ergebnisse und sollen im weiteren Projektverlauf an Versuchen verifiziert werden. Als Zugelement wurden CFK-Lamellen gewählt, da sich diese hinsichtlich lokaler Spannungsspitzen, wie sie sich z. B. bei geklemmten Litzen ergeben würden, als vorteilhaft erwiesen. Weiterhin können die CFK-Lamellen einfacher als runde Querschnitte gestapelt werden, sodass eine spätere Nutzungsänderung durch das Ergänzen einer Lamelle einfach umgesetzt werden kann.

Das System ist als Vorspannung ohne Verbund konzipiert und soll überwiegend im Hochbau zum Einsatz kommen. In diesem Zusammenhang wurde ein entsprechendes formoptimiertes Deckensystem entwickelt, das zeitnah auch experimentell untersucht wird. Es bleibt also spannend.

*replacement and reusability requirements of the anchoring system are taken into consideration.*

*As a result of these requirements, a combined anchorage was developed on the basis of friction and clamping mechanisms. As opposed to systems that are available on the market, the pre-stress load is introduced in the elements by directly tightening a pair of screws that, in conjunction with variable surface roughness, enables an even load application. Thereby, a failure in the anchorage area can be avoided. Numerical investigations provided results with good prospects and are supposed to be further verified by experimental means during the course of the project. CFRP lamellas were chosen as tension elements since they proved to be beneficial to prevent local stress concentrations. Moreover, CFRP lamellas are easier to install than round cross sections, and they can be easily replaced.*

*The system is being designed as un-bonded pre-stress, and it is primarily supposed to be employed for structural applications. In this context, an adequate form-optimized slab system was developed, which will be experimentally tested soon.*



Prüfung einer CFK-Lamelle zur Bestimmung des Reibkoeffizienten zwischen Stahl und CFK | Test of a CFRP lamella for the determination of the coefficient of friction between steel and CFRP | Photo: Oliver Steinbock

- ▶ **Titel | Title**  
TP C3-V4.2-VI: Entwicklung kompakter Verankerungselemente für Spanverfahren ohne Verbund im Verbundvorhaben als Teilvorhaben im Verbundvorhaben C3-V4.2: Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke  
*TP C3-V4.2-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 Teilvorhaben | Subproject manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
5 Partner, davon 1 aus der Forschung und 4 Firmen



Klassische Fahrbahndecke in Betonbauweise | Typical concrete pavement in road constructions  
Photo: Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum

# NEUE HAUT FÜR BESCHÄDIGTE BETONFAHRBAHNEN

## A NEW SKIN FOR DAMAGED CONCRETE ROADWAYS

Wer hat sich nicht auch schon einmal gefragt, woher dieses flappende Geräusch während des Autofahrens kommt? Ist es ein kaputter Autoreifen oder doch das rhythmische Überfahren der Fugen einer Betonfahrbahndecke? Es gibt zahlreiche gute Gründe für Fahrbahndecken in Betonbauweise: gute Lastverteilung und Tragfähigkeit, lange Lebensdauer bei hoher Beanspruchbarkeit, griffige Oberflächenstruktur u. v. m. Ein großer Nachteil ist jedoch die notwendige Ausbildung von Quer- und Längsfugen in der unbewehrten Betondecke. Diese Fugen dienen als Sollbruchstellen in der Fahrbahn zur Vermeidung spontaner Risse und zum Ausgleich von Längenänderungen. Zur Sicherung der Dauerhaftigkeit der Fugen werden diese mit öl- und treibstoffbeständigem Fugenfüllstoff abgedichtet.

In der Realität sind diese Fugen jedoch wartungsanfällig und müssen regelmäßig gepflegt werden. Im Falle einer Instandsetzung der Fahrbahn muss zudem i. d. R. aufgrund mangelnder Alternativen meist der gesamte Oberbau erneuert werden, was nicht nur teuer ist, sondern sich auch nachteilig auf die Umwelt auswirkt und Ressourcen verschlingt. In diesem For-

*Did you ever wonder what this flappy noise is while you're driving a car? Is it a damaged tire or is it the rhythmic sound of driving over the transversal dummy joints of concrete road pavement? There are several good reasons for using concrete pavements in road constructions: good load carrying capacity and distribution, high durability, non-slippery surface structure, and much more. But there are shadows where the sun shines. Transversal and longitudinal joints serve as predetermined breaking points to avoid uncontrolled cracking and to allow length changes (e.g., due to changes in temperature). To ensure the durability of the joints, they are sealed with joint fillers resistant to chemical and fuel.*

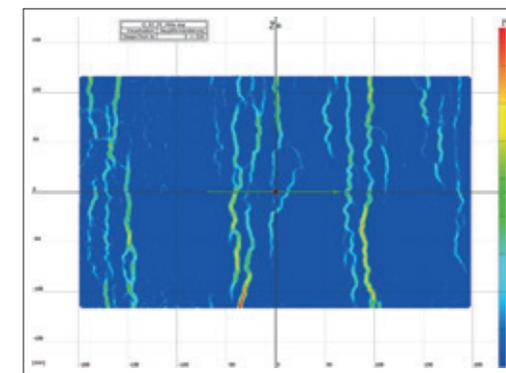
*In reality, those joints have to be maintained and need to be regularly repaired. In case of damages, usually, the whole concrete deck needs to be replaced. That cost a lot of money, consumes material and has a high environmental impact. The main goal of this research project is to develop and proof the suitability of thin layers of carbon reinforced concrete as (additional) pavement. The carbon concrete pavement shall be 3 cm to 7 cm thin and will be used to bypass*

schungsvorhaben soll nachgewiesen werden, dass eine fugenlose, dünn-schichtige Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken mittels Carbonbeton realisierbar ist. Der 3 bis 7 cm dünne Carbonbeton-Oberbau soll die Fugen des Altbetons überbrücken und entstehende Risse über eine gewisse Fläche fein verteilen. Für den Einsatz im Straßenbau müssen diese Risse klein gehalten werden, damit wassergefährdende Stoffe nicht in das Bauteil eindringen können und dadurch Fahrbahnschäden vermieden werden. Zu diesem Zweck arbeiten die Ruhr-Universität Bochum als Vorhabenleiter und die TU Dresden zusammen.

Zu Beginn des Vorhabens steht die Optimierung eines charakteristischen Straßenbetons hinsichtlich verwendeter Korngröße (max. 8 mm), Konsistenz und Verarbeitbarkeit mit dem Ziel, das engmaschige Carbontextil in Gitterform lagesicher einbauen zu können. In einem umfangreichen Versuchsprogramm werden anschließend im Otto-Mohr-Laboratorium das Material- und Verbundverhalten von Carbonfasern und Straßenbeton sowie die Rissbreitenentwicklung untersucht. Dabei spielen sowohl der Einfluss von Temperaturgradienten als auch von Feuchte eine große Rolle. Sämtliche experimentellen Ergebnisse werden abschließend für die Kalibrierung eines EDV-Modells verwendet, um die Rissbreiten zuverlässig berechnen und deren Entwicklung vorhersagen zu können. Abgeschlossen wird das Verbundprojekt mit dem Bau eines Versuchsfeldes.

*the joints of the old concrete. Cracks will spread over a wider area by the carbon reinforcement, and thus the crack width will remain small. Corrosive water cannot enter the concrete structure, and road damage will be prevented. For this purpose, the Ruhr-University in Bochum, as leader of the joint research group, and the TU Dresden are working together.*

*At the beginning of the project, typical concrete used in road construction will be optimized, in terms of the grain size (max. 8 mm), consistency, and workability with the aim to accurately place the fine-mesh grid-like carbon reinforcement. In an extensive series of experiments in the Otto Mohr Laboratory, the material characteristics, the bond behaviour of the carbon grid in combination with the optimized concrete, as well as the crack width development will be researched. The effect of temperature and moisture are considered in the testing. The experimental results will be used to calibrate models to predict and accurately calculate the development and width of cracks. The joint research project will be completed with the construction of a small test area.*



Visualisierung der Rissbildung eines textilbewehrten Betonkörpers mittels Photogrammetrie | Visualisation of crack growth in a carbon fibre reinforced concrete specimen with photogrammetry  
Graphic: Harald Michler, TU Dresden

- ▶ **Titel | Title**  
Rissbreitenuntersuchung als Teilvorhaben im Vorhaben C3-V4.12: Carbonbeton zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken  
*TP C3-V4.12-II: 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 GmbH / C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite
- ▶ **Zeitraum | Period**  
03.2017–02.2019
- ▶ **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**  
Dipl.-Ing. Robert Schneider
- ▶ **Projektpartner | Project partner**  
Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum (Vorhabenleiter)



Teilnehmer zum Auftakttreffen an der TU Dresden | Participants of the kick-off meeting in Dresden | Photo: Sven Hofmann

## CARBONBETONHAUS CUBE – GESTARTET

### C<sup>3</sup> TECH DEMO HOUSE CUBE – STARTED

Am 1.9.2017 fand das Auftakttreffen zu dem größten Teilvorhaben des Projektes C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite mit dem Titel „Ergebnis- haus des C<sup>3</sup>-Projektes – CUBE“ statt. Über einen Zeitraum von mehr als anderthalb Jahren wurden zuvor Projektskizzen und -anträge ausgearbeitet, Gespräche mit Firmen und Partnern geführt, ein Finanzierungskonzept erstellt und vor allem – ein Baugrundstück organisiert. Für einen Zeitraum von zunächst 10 Jahren stellt der Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement Dresden das Grundstück Einsteinstraße 12 in Dresden, das direkt am Fritz-Förster-Platz gelegen ist, mit einer Fläche von ca. 1300 m<sup>2</sup> zur Verfügung und übernimmt als Eigentümer die Arbeiten zum Baugrund und der öffentlichen und nicht-öffentlichen Medienerschließung sowie die Betreuung des Gebäudes.

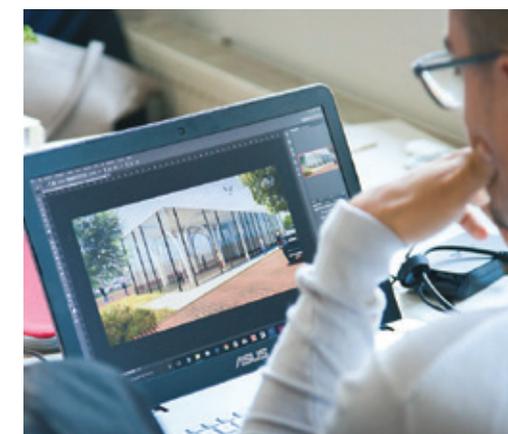
Ziel ist es zu zeigen und am realen Objekt zu demonstrieren, dass Carbonbeton nutzbar und praxistauglich ist! Es wird die gesamte Prozesskette der Herstellung mit Planung, Berechnung, dem Erwerb von Zulassungen, der Kalkulation, der Ver-

*On 1.9.2017 the kick-off meeting for one of the largest sub-projects of the project C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite with the title ‘C<sup>3</sup> technology demonstration house – CUBE’ took place. Before the project’s start, over a period of more than one and a half years, project outlines and preliminary studies were worked out, discussions were held with companies and partners, a financing concept was developed and, above all, a construction site was organized. For an initial period of 10 years, the Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) Dresden has provided a nearly 1300 m<sup>2</sup> plot of land, located near the campus of TU Dresden. As the owner, the SIB takes over the preparatory works on the foundation ground, both the public and non-public media development, and the operation of the building.*

*The aim is to show and demonstrate on the real object that carbon reinforced concrete is usable and practical! The entire manufacturing process chain, including engineering, structural analysis, acquisition of approvals, cost calculation, the award of contracts, site supervision, erection*

gabe, der Überwachung, Errichtung und Nutzung dargestellt und durchlaufen. Dabei kommt Carbonbeton als Baumaterial, als schützende Raumhülle und als Werkstoff für Gegenstände des Ausbaus zum Einsatz. Das Gebäude dient maßgeblich als Demonstrationsbau, Forschungsstätte sowie als Labor zur Untersuchung der Dauerhaftigkeit, Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und bauphysikalischer Eigenschaften des Verbundmaterials Carbonbeton. Dazu werden entsprechende Räumlichkeiten zum Arbeiten und zum Analysieren, Messen und Präsentieren der (neusten) Forschungsergebnisse vorgesehen.

Die Leitung und die Dezernate der TU Dresden sowie das Institut für Massivbau übernehmen die Aufgaben des Bauherrn. Das Projekt wird zudem intensiv durch die HTWK Leipzig, Institut für Betonbau, die Büros AIB GmbH (Bautzen) und ASSMANN Bauen + Planen (Dresden) in den Bereichen Architektur, Bauphysik, Objekt-, Tragwerksplanung und Bauüberwachung bearbeitet und durch das Büro HENN (Berlin) und den texton e. V (Dresden) unterstützt. Den Fertigteilebau übernimmt das Betonwerk Oschatz und die Vorrterrichtung und -montage führt die Bendl-HTS GmbH (Sebnitz) aus. Die Jahre 2017/18 dienen der planerischen Vorbereitung und der Erlangung von Genehmigungen, damit das Gebäude 2019/20 errichtet werden kann. Bis zum geplanten Projektende am 30.4.2021 sollen zudem erste Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Bauphysik vorliegen.



Entwurf eines Carbonbetongebäudes  
Design of a carbon reinforced concrete building  
Photo: Sven Hofmann

*and use, is presented and traversed. Carbon concrete is used as building material, as protective space cover and as a material for finishes. The building is mainly used as a demonstration building, research centre, and laboratory for the examination of durability, load-bearing capacity, serviceability and structural-physical properties of the composite material carbon concrete. To this, appropriate rooms will be provided for working and analyzing, measuring and presenting the research results.*

*The management and the directorates of the TU Dresden, as well as the Institute for Concrete Structures, have taken over the tasks of the building developer. The HTWK Leipzig, the offices AIB GmbH (Bautzen) and ASSMANN Bauen + Planen (Dresden) are intensively involved in the fields of architecture, building physics, planning and structural design as well as construction supervision. Support comes from HENN (Berlin) and texton e. V. (Dresden). Betonwerk Oschatz is responsible for the prefabricated construction elements and Bendl-HTS (Sebnitz) for the erection and assembly on site respectively. During 2017/18, planning of the building will be completed, including the required building permits, so that the building can be erected in 2019/20. The planned end of the project on 30.4.2021.*

- ▶ **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<sup>3</sup>-Projektes – CUBE  
*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<sup>3</sup> technology demonstration house – CUBE*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C<sup>3</sup> – 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 Teilvorhaben | Subproject manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
Dipl.-Ing. Michael Frenzel, Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
7 Partner, davon 1 Forschungseinrichtung und 6 Firmen, und 2 assoziierte Partner



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

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



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



Dr. Frank Schladitz erläutert Martin Dulig, Staatsminister für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr des Freistaates Sachsen, die Vorteile von Carbonbeton während der futuresax-Konferenz. | Dr. Frank Schladitz explains the advantages of carbon reinforced concrete to Martin Dulig, Minister of State for Economics, Labour and Transport of the Free State of Saxony, during the futuresax conference | Photo: Sven Hofmann

## DAS C<sup>3</sup>-PROJEKT – DIE VORHABEN 2017

### THE PROJECT C<sup>3</sup> – ALL PROJECTS UNTIL 2017

Ende 2017 können wir gemeinsam mit unseren 165 Partnern auf vier intensive Carbonbeton-Jahre zurückblicken. Bis einschließlich Dezember 2017 wurden insgesamt 55 Vorhaben durch das C<sup>3</sup>-Beiratsgremium des BMBF befürwortet. Das sind über 279 Teilvorhaben, an denen 122 der C<sup>3</sup>-Partner aktiv mitwirken.

Ein kurzer Rückblick. Das Gesamtprojekt C<sup>3</sup> startete am 01.01.2014 mit dem Teilprojekt „Strategieentwicklung C3-S1“. Dieses Vorhaben wurde im Juni 2015 erfolgreich mit der Vorlage eines umfassenden Strategiekonzepts für die Durchführung des C<sup>3</sup>-Projekts bis 2020 beendet. Direkte Folgeprojekte sind das Strategievorhaben C3-S2 und das Innovationsmanagement-Vorhaben C3-I. Diese Vorhaben befassten sich 2017 mit der stetigen Weiterentwicklung und Anpassung der C<sup>3</sup>-Strategie sowie mit der Umsetzung eines kontinuierlichen Innovationsprozesses entsprechend der C<sup>3</sup>-Zielsetzung, alle Voraussetzungen zu schaffen, um Carbonbeton in den Markt zu bringen.

*Closing 2017, we can look back, together with almost 170 partners, on four intensive years with carbon reinforced concrete. Up to and including December 2017 a total of 55 projects were approved by the BMBF nominated C<sup>3</sup> Advisory Board. That is more than 279 subprojects in which 122 C<sup>3</sup> partners actively participate.*

*A quick review: the overall project C<sup>3</sup> started on 1<sup>st</sup> January 2014 with the subproject "Strategy Development C3-S1". This project was successfully completed in June 2015 with the submission of a comprehensive strategy for the implementation of the C<sup>3</sup>-project until 2020. Direct follow-up projects are the strategy project C3-S2 and the innovation management project C3-I. In 2017, these projects focused on the ongoing development and adaptation of the C<sup>3</sup>-strategy and the implementation of a continuous innovation process in line with the C<sup>3</sup>-objective of creating all the conditions necessary to introduce carbon reinforced concrete to the market.*

Im Jahr 2015 konnte die **Phase B Basistechnologien** mit vier Basisvorhaben gestartet werden, die sich mit grundlegenden Fragestellungen zum Carbonbeton beschäftigten. Das Basisvorhaben C3-B3 mit den Schwerpunkten „Konstruktionsgrundsätze, Sicherheits- und Bemessungskonzepte sowie standardisierte Prüfmethode“ konnte erfolgreich am 30. Juni 2016 beendet werden. Das Basisvorhaben C3-B2 mit dem Themenfeld „Nachhaltige Bindemittel und Betone“ lief zwei Monate später aus. Mit zwei großformatigen Doppel-T-Trägern aus Stahl- und aus Carbonbeton konnte der Unterschied der Bauweisen wirkungsvoll demonstriert werden. Das Basisvorhaben C3-B1 mit dem Fokus auf „Beschichtungen und Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau“ wurde in seiner Laufzeit um weitere 3 Monate verlängert und Ende Januar 2017 abgeschlossen. Im Rahmen der C<sup>3</sup>-Forschung wurden anschließend die Themen Faser, Schlichte und Beschichtung noch weiter bearbeitet, um eine finale Materialkombination Ende 2017 festlegen zu können, mit der Folgeprojekte arbeiten sollen. Im Basisvorhaben C3-B4 wurden die Basistechnologien um Aspekte rund um die „Multifunktionalität von Carbonbeton“ ergänzt, also die elektrischen Eigenschaften des Carbons. Das Vorhaben wurde erfolgreich am 31.12.2016 mit einer Muster-Vernissage abgeschlossen. Die Ergebnisse der Basisvorhaben stehen den C<sup>3</sup>-Mitgliedern nun in Form von Ergebnisberichten auf dem C<sup>3</sup>-Portal zum Download zur Verfügung.

Den Basisvorhaben folgte in 2016 die **Phase V1 Beseitigung der Markteintrittsbarrieren**, in der vor allem die marktrelevanten Fragen in vier Vorhaben C3-V1.1 Produktion, C3-V1.2 Normung, C3-V1.3 Gesundheit und C3-V1.5 Recycling bearbeitet werden.

Ebenfalls 2016 wurden die ersten fünf Vorhaben der **Phase V4 Individuelle Themen** gestartet: C3-V4.1 Multiaxiale Garnablage, C3-V4.2 Vorspannung, C3-V4.4 Alternative Bindemittel sowie C3-V4.5 Faseroptische Sensorik. 2017 folgten weitere sieben Vorhaben. Dazu gehört das Vorhaben C3-V4.6 zum Thema „Energiespeicherung im Beton“ unter Nutzung der Doppelschichtkondensatortechnologie. Auch als neuartig kann das Vorhaben C3-V4.7 „C<sup>3</sup>-Planungstool“ angesehen werden. Hierbei soll die Virtual-Reality-Technologie genutzt werden, um Planungsprozesse neu zu definieren. Im Vorhaben C3-V4.9

*In 2015 **Phase B Basic Technologies**, was launched with four basic projects dealing with fundamental issues related to carbon reinforced concrete. The basic project C3-B3 focusing on Design principles, safety and design concepts as well as standardized test methods was successfully completed on 30<sup>th</sup> June 2016. The basic project C3-B2 with the topic "Sustainable binders and concretes" expired two months later. With two large-sized double T-beams made of steel and carbon reinforced concrete, the difference in construction methods could be effectively demonstrated. The basic project C3-B1 with the focus on "Coatings and Reinforcement Structures for Carbon Reinforced Concrete Construction" was extended for another 3 months and completed at the end of January 2017. As part of the C<sup>3</sup>-research, the topics of fiber, sizing and coating were then further elaborated in order to be able to determine a final combination of materials at the end of 2017 with which follow-up projects should work. In the basic project C3-B4, the basic technologies were supplemented by aspects relating to the "Multifunctionality of Carbon Reinforced Concrete", i.e. the electrical properties of carbon. The project was successfully completed on 31<sup>st</sup> December 2016 with a sample vernissage. The results of the basic projects are now available for download to C<sup>3</sup>-members in the form of result reports on the C<sup>3</sup>-portal.*

*The basic projects were followed in 2016 by **Phase V1 Elimination of Market Entry Barriers** in which, in particular, the market-relevant issues were dealt with in four projects: C3-V1.1 Production, C3-V1.2 Standardization, C3-V1.3 Health and C3-V1.5 Recycling.*

*The first five projects of the **Phase V4 Individual Themes** were also launched in 2016: C3-V4.1 multiaxial garn placement, C3-V4.2 Pre-stressing, C3-V4.4 Alternative Binders and C3-V4.5 Fibre Sensors. In 2017 another seven projects followed. These include the projects C3-V4.6 on "Energy storage in Concrete" using a double-layer capacitor technology. The project C3-V4.7 "C<sup>3</sup>-Planning Tool" can also be regarded as novel. Here, virtual reality technology is to be used to redefine planning processes. Project C3-V4.9 examines the "Repair of Steel Reinforced Concrete" with thin layers of carbon reinforced concrete. In project C3-V4.11 a "Technical Information System (TISC<sup>3</sup>)" for the collection and evaluation*

wird die „Instandsetzung von Stahlbeton“ mit dünnen Carbonbetonschichten untersucht. Im Vorhaben C3-V4.11 werden ein „Technisches Informationssystem (TISC3)“ für die Sammlung und Auswertung von Forschungsergebnissen entwickelt und die numerische Simulation weiter betrachtet. Lösungen für die „Instandsetzung von Betonfahrbahndecken“ werden im Vorhaben C3-V4.12 untersucht, und in C3-V4.13 wird der Bereich Maschinen- und Formenbau mit Carbonbeton erschlossen, indem ein „Carbon Concrete High-Temperature Forming Tool (CTFT)“ entwickelt wird. Das Thema bauteilintegrierte Carbonheizung wird in einem neuen Vorhaben mit der Bezeichnung C3-V4.14 „Integration der Heizfunktion“ bearbeitet. Projektstart war im September 2017. Im Rahmen der Phase V4 werden 2018 noch weitere fünf Vorhaben hinzukommen. Das Vorhaben C3-V4.15 befasst sich mit Bewehrung aus einer mineralischen Matrix mit Carbonfasern. Das Vorhaben C3-V4.16 „SpeedPull“ erarbeitet die automatisierte Herstellung von Carbonbewehrungsstäben mit nachträglicher Profilierung. Im Vorhaben C3-V4.17 C3-Doppelwandssystem werden Halbfertigteilwände aus Carbonbeton realisiert. Das Vorhaben C3-V4.18 fokussiert die Vorspannung mit sofortigem Verbund für Halbfertigteile im Hoch- und Ingenieurbau. Im Vorhaben C3-V4.19 werden Parkhausdeckenplatten aus Carbonbeton entwickelt.

Parallel zu den Individualvorhaben ist 2017 die **Phase V2 Technologieumsetzung** gestartet. Sie schließt inhaltlich direkt an die Basisvorhaben an. Hier werden die weiterführenden Fragestellungen aus den Basisvorhaben fokussiert untersucht. Fragestellungen zum Dauerstandverhalten und zur Dauerhaftigkeit von Carbonbeton werden in den Vorhaben C3-V2.1 und C3-V2.2 sowie das Themenfeld Brandbeständigkeit im Vorhaben C3-V2.3 intensiv erforscht. Die Nutzung alternativer Fasermaterialien erfolgt im Vorhaben C3-V2.4. Neue Wege bei der Beschichtung werden im Vorhaben C3-V2.6 mit dem Thema anorganisch gebundene Bewehrungsstrukturen besprochen. Für die nachträgliche Bauteilverstärkung wird in C3-V2.7 ein Gesamtsystem konzipiert. Die modulare Bauweise für den Ingenieurbau wird im Vorhaben C3-V2.9 erarbeitet. Ein weiteres zu untersuchendes Thema ist die Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit des Verbundmaterials Carbonbeton. Dies wird im Vorhaben C3-V2.10 und C3-V2.11 erforscht.

*of research results is developed and further considers the numerical simulation. Solutions for the "Repair of Concrete Pavements" are being investigated in project C3-V4.12, and C3 - V4.13 concentrates on the field of machine-building and mould-making with carbon reinforced concrete by developing a "Carbon Concrete High-Temperature Forming Tool (CTFT)". The subject of component-integrated carbon heating will be dealt with in a new project called C3-V4.14 "Integration of the Heating Function". The project started in September 2017. Another five projects will supplement Phase 4 in 2018. Project C3-V4.15 deals with reinforcement from a mineral matrix with carbon fibres. The project C3-V4.16 "SpeedPull" develops an automated production of carbon reinforced bars with subsequent profiling. In the project C3-V4.17 "C<sup>3</sup>-Double Wall System", semi-finished part walls made of carbon reinforced concrete are realized. The project C3-V4.18 focuses on pre-stressing with immediate composite for semi-finished parts in building construction and civil engineering. The project C3-V4.19 develops car park ceiling panels made of carbon reinforced concrete.*

*Parallel to the individual projects the **Phase V2 Technology Implementation** has started in 2017. With regards to content, this phase is directly associated with the basic projects. Further questions resulting from the basic projects are examined and focused on. The projects C3-V2.1 and C3-V2.2 concentrate on questions concerning the durability behaviour and the durability of carbon reinforced concrete and the topic fire resistance is intensively researched in the project C3-V2.3. The use of alternative fibre materials is being researched in Project C3-V2.4. New approaches to coating are being pursued in Project C3-V2.6 with the topic of mineral compound reinforcement structures. For the subsequent component reinforcement, a complete system is designed in C3-V2.7. A modular design for civil engineering is being developed in project C3-V2.9. Another topic to be examined is the sustainability and environmental compatibility of the composite material carbon reinforced concrete. This is being explored in the projects C3-V2.10 and C3-V2.11.*

***Phase V3 Applications** was also reviewed in 2017 by the Advisory Board. The essential part of this phase is the C<sup>3</sup>-house – the so-called*

Die **Phase V3 Anwendungen** wurde ebenfalls 2017 vom Beirat begutachtet. Dabei kann der „CUBE“ – das C<sup>3</sup>-Ergebnishaus – als wesentlicher Teil genannt werden, in dem die erforschten C<sup>3</sup>-Inhalte bis 2021 in einem realen Gebäude komplett aus Carbonbeton umgesetzt werden. Darüber hinaus werden die Themen Gesundheit und Marktzugang noch einmal aufgegriffen. Im Vorhaben C3-V3.2 Gesundheit und Arbeitsschutz wird das Thema Gesundheit aus Phase V1 – Abbau der Markteintrittsbarrieren – als wichtiger Baustein für die Akzeptanz von Carbonbeton weitergeführt. Das Vorhaben C3-V3.3 „C<sup>3</sup>Market“ untersucht, welche Geschäftsmodelle für die zukünftigen Carbonbeton-Anwendungen auf Basis der C<sup>3</sup>-Forschung möglich sind.

Seit Ende 2016 wurden parallel zu den technologie- und marktorientierten Vorhaben die **Inventiothemen V-I** gestartet. Diese Vorhaben sind Machbarkeitsstudien für Ideen mit großem Potenzial. Hierbei wurden 12 Vorhaben bereits 2017 bewilligt: C3-V-I.1 CarbonSpeed für die Beschleunigung von bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren, C3-V-I.2 Carbonfasern auf Pechbasis für schlaff bewehrte Biegebauteile, C3-V-I.3 Carbon-Carbon-Strukturen, C3-V-I.4 Interaktion mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung, C3-V-I.5 Entwicklung von Betonimplantaten zur Übertragung von Out-of-plane-Belastungen, V-I.6 Brückenkappen mit Carbonbewehrung, C3-V-I.10 Concrete-Infusion-Injection-Prepreg neue Fertigungsmethoden für Carbonbeton, C3-V-I.11 Carbonbetonstab und C3-V-I.12 Applikation von Abstandhaltern. In 2018 werden dann weitere drei Machbarkeitsstudien folgen. Im Vorhaben C3-V-I.13 C3-Recycling wird die Machbarkeit der Wiederverwendung von recycelten Carbonfasern (rCF) untersucht. Im Vorhaben C3-V-I.14 wird das Querkraftbemessungsmodell für Carbonbeton im Zentrum stehen und im Vorhaben C3-V-I.15 InnoC<sup>3</sup>ycle die vollständige Wiederverwendung der anfallenden Materialien untersucht.

Diese V-I- und V4-Themen ergänzen die technologieorientierten Themen der Phase V2 und die marktrelevanten Themen in V1 und V3 um eine produktnahe und innovative Komponente. Gleichzeitig liefern sie den C<sup>3</sup>-Partnern einen direkten Mehrwert durch die Umsetzung von individuellen Forschungsideen im Sinne der C<sup>3</sup>-Strategie.

*"Cube". The Cube is a real building completely made of carbon reinforced concrete in which all researched C<sup>3</sup>-contents are being implemented in 2021. In addition, the topics of health and market access will be taken up again. In the project C3-V3.2 Health and Safety health-related topics already researched in phase V1 - Elimination of Market Entry Barriers - will be continued as an important element for the acceptance of carbon reinforced concrete. The project C3-V3.3 "C<sup>3</sup>Market" investigates which business models are possible for future carbon reinforced concrete applications based on C<sup>3</sup>-research.*

*Since the end of 2016 **Phase V-I Invention** has started with several projects parallel to the technology- and market-oriented projects. These projects are feasibility studies for ideas with great potential. 12 projects were already approved in 2017: C3-V-I.1 "CarbonSpeed" for the acceleration of building authority approval procedures, C3-V-I.2 pitch-based carbon fibres for untensioned bending components, C3-V-I.3 Carbon-carbon structures, C3-V-I.4 Interaction with high frequency electromagnetic radiation, C3-V-I.5 Development of concrete implants for the transmission of out-of-plane stresses, V-I.6 Bridge caps with carbon reinforcement, C3-V-I.10 Concrete infusion injection prepreg, new production methods for carbon reinforced concrete, C3-V-I.11 Carbon reinforced rod and C3-V-I.12 Spacer application. In 2018 another three feasibility studies will follow. The project C3-V-I.13 C<sup>3</sup>-recycling will investigate the feasibility of reusing recycled carbon fibres (rCF). Project C3-V-I.14 will focus on the transverse force design model for carbon reinforced concrete and the complete reuse of the employed materials is being looked at in project C3-V-I.15 InnoC<sup>3</sup>ycle.*

*These V-I and V4 topics complement the technology-oriented topics of Phase V2 and the market-relevant topics in V1 and V3 with a product-related and innovative component. At the same time, they provide the C<sup>3</sup>-partners with direct added value through the implementation of individual research ideas within the C<sup>3</sup>-strategy.*

# DAS C<sup>3</sup>-PROJEKT IN DER ÖFFENTLICHKEIT

## THE C<sup>3</sup> PROJECT IN PUBLIC

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit sind die Ergebnisse des Jahres 2017 ebenfalls sehr erfreulich: Neben renommierten Auszeichnungen, die sowohl das Projekt als auch einzelne Forscher erhielten, wurde der Grundstein für die Entstehung des ersten Hauses sowie der ersten Straßenbrücke aus Carbonbeton gelegt. Dank des erfolgreichen Wissens- und Technologietransfers innerhalb des Projektes findet zudem der Einzug der Carbonbetontechnologie in den Markt statt. Dies spiegelt sich vor allem in der Ansiedlung von Unternehmen in der Region wider, die GFK- sowie CFK-Bewehrungen fertigen. Diese Aktivitäten sind ein wichtiger Meilenstein und das Resultat u. a. einer erfolgreichen Presse- und Öffentlichkeitsarbeit. Im Folgenden werden ein Überblick über die wichtigsten Veranstaltungen und ein kleiner Einblick in die PR-Arbeit des Jahres 2017 gegeben.

### Politik trifft auf Carbonbeton

Zum Jahresbeginn lud der sächsische Ministerpräsident Stanislaw Tillich zum Neujahrsempfang in das traditionsreiche Festspielhaus Hellerau ein. Unter dem Motto „Junge Sachsen. Neue Meister“ wurden in diesem Rahmen die Leistungen von Sportlern, Musikern sowie Wissenschaftlern gewürdigt. Darunter befanden sich auch die Gewinner des Deutschen Zukunftspreises. Stellvertretend für die Professoren Peter Offermann und Chokri Cherif berichtete Manfred Curbach in einem Bühneninterview über die Zusammenarbeit im C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. und die jahrelange Erforschung sowie auch Weiterentwicklung des Verbundwerkstoffes Carbonbeton. Rund 800 Gäste nahmen den Abend zum Anlass, um mit anderen Leistungsträgern, Politikern und Vertretern der Wirtschaft ins Gespräch zu kommen.

Einen weiteren Höhepunkt des vergangenen Jahres stellte der Besuch des sächsischen Innenministers Markus Ulbig und der Abgeordneten Martin Modschiedler, Lars Rohwer und Christian

*In the field of public relations, the results of the year 2017 are also very pleasing: in addition to renowned awards, which were received by both the project and individual researchers, the foundation stone was laid for the construction of the first house and the first road bridge made of carbon reinforced concrete. Thanks to the successful transfer of knowledge and technology within the project, the introduction of carbon reinforced concrete technology into the market is also taking place. This is reflected above all by the regional settlement of companies producing GFK and CFP reinforcements. These activities are an important milestone and the result of a successful press and public relations work. The following section will give an overview of the most important events and a little insight into the PR work of the year 2017.*

### Politics meets carbon reinforced concrete

*At the beginning of the year, Saxon's Prime Minister Stanislaw Tillich invited to the New Year's reception at the traditional Festspielhaus Hellerau. The theme of the event was "Young Saxony. New Masters" and honoured the achievements of athletes, musicians and scientists. Among them were the winners of the Deutscher Zukunftspreis. Manfred Curbach, also representing Professor Peter Offermann and Professor Chokri Cherif, gave an interview on stage and reported on the cooperation within the C<sup>3</sup> - Carbon Concrete Composite e.V. and the years of research as well as the further development of the composite material carbon reinforced concrete. Around 800 guests took the evening as an opportunity to talk to key contacts, politicians and business representatives.*

*Another highlight of the past year was the visit of Saxon's Minister of the Interior Markus Ulbig and representatives Martin Modschiedler, Lars Rohwer and Christian Hartmann. The appointment started with a visit to the textile machine hall of the Institute for Textile Machinery and Textile*

Hartmann dar. Begonnen wurde der Termin mit der Besichtigung der Textilmaschinenhalle des Instituts für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) in Dobritz. Dabei erläuterten Prof. Chokri Cherif und Prof. Peter Offermann die Besonderheiten bei der Herstellung von Carbongelegen. Im Anschluss daran folgte die Besichtigung des Otto-Mohr-Laboratoriums (OML) des Instituts für Massivbau. Fasziniert und motiviert wendete der Innenminister unter fachgerechter Anleitung durch Mario Polke-Schminke, Mitarbeiter im OML, das sogenannte Laminierverfahren an. Der Innenminister betonte in einem Abschlussgespräch die Relevanz der Forschung im Bereich des Bauwesens und gratulierte den Professoren erneut zum Gewinn des Deutschen Zukunftspreises.

*High-Performance Materials (ITM) in Dobritz. Prof. Chokri Cherif and Prof. Peter Offermann explained the peculiarities in the production of carbon mats. This was followed by a visit to the Otto Mohr Laboratory (OML) of the Institute of Concrete*



Besuch des sächsischen Innenministers Markus Ulbig im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden. | Visit of the Saxon Minister of the Interior Markus Ulbig at the Otto Mohr Laboratory of the Technische Universität Dresden. | Photo: Sandra Kranich



Markus Ulbig, Manfred Curbach, Lars Rohwer und Christian Hartmann (v. l. n. r.) im OML | Markus Ulbig, Manfred Curbach, Lars Rohwer and Christian Hartmann (from the left to the right) at the OML | Photo: Sandra Kranich

Am 14. November 2017 widmete sich der Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier bei seinem Antrittsbesuch in Sachsen dem Thema Carbonbeton. Gemeinsam mit seiner Frau Elke Büdenbender besuchte er dafür auch die Technische Universität Dresden und ließ sich in einer 45-minütigen Präsentation über das Material und das dazugehörige Großforschungsprojekt informieren. Dabei überzeugte sich das Bundespräsidenten-

*Structures. Intrigued and motivated, the Saxon Minister of the Interior applied the so-called lamination process under the expert guidance of Mario Polke-Schminke, an OML employee. During the final discussion, the Minister of the Interior for Saxony emphasised the relevance of research in the field of civil engineering and once again congratulated the professors on winning the Deutscher Zukunftspreis.*

paar in vertiefenden Gesprächen mit Unternehmern und Wissenschaftlern von den ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Vorteilen des innovativen Verbundwerkstoffes. Mithilfe der zahlreichen Demonstratoren, die das Material von der Entstehung bis zum fertigen Produkt darstellen, konnten die besondere Leichtigkeit und Formbarkeit von Carbonbeton eindrucksvoll veranschaulicht werden.

*On 14<sup>th</sup> November 2017, the Federal President of Germany Frank-Walter Steinmeier devoted himself to the subject of carbon reinforced concrete during his inaugural visit to Saxony. Together with his wife Elke Büdenbender, he also visited the Technische Universität Dresden and they were informed in a 45-minute presentation about the material and its accompanying large-scale research project. In addition, they learned*



Manfred Curbach überreicht dem Bundespräsidenten Frank-Walter Steinmeier und seiner Ehefrau Elke Büdenbender einen Diamanten aus Beton | Manfred Curbach hands over a diamond made of concrete to Federal President Frank-Walter Steinmeier and his wife Elke Büdenbender | Photo: Sven Hofmann

### Deutschland- und weltweites Interesse am Thema Carbonbeton

Das C<sup>3</sup>-Team nahm an der Weltleitmesse für Architektur, Materialien und Systeme teil – der BAU 2017, die vom 16. bis 21. Januar in München stattfand. Mehr als 2.100 Aussteller aus 45 Ländern präsentierten in 16 Ausstellungsbereichen Innovationen, neue Produkte und Lösungen für den Gewerbe-, Wohnungs- und Innenausbau im Neubau und im Bestand. Gemeinsam mit der HTWK Leipzig, der TU Chemnitz und dem Institut für Baubetriebswesen der TU Dresden wurden die Vorteile von Carbonbeton im direkten Vergleich zum Stahlbeton anhand von speziell dafür angefertigten Doppel-T-Trägern veranschaulicht. Darüber hinaus wurden der innovative und ressourcenschonende Baustoff und seine Anwendungsmöglichkeiten in Vorträgen vorgestellt.

*more about the ecological, economic and social advantages of the innovative composite material in detailed discussions with entrepreneurs and scientists. Supported by numerous demonstrators representing the material from raw resources to the finished product, the lightweight properties and the formability of carbon reinforced concrete were impressively demonstrated.*

### German and world-wide interest in carbon reinforced concrete

*The C<sup>3</sup>-team participated in the world's leading trade fair for architecture, materials and systems – the BAU 2017, which took place in Munich from 16<sup>th</sup>–21<sup>st</sup> January 2017. More than 2,100 exhibitors from 45 countries presented innovations, new products and solutions for commercial, residential and interior design in new buildings*

International ging es währenddessen auch im Nachbarland Polen zu. Verschiedene Nationalitäten trafen in Ossa bei Warschau aufeinander. Das Ziel war die Konferenz ICCX Central Europe 2017.



Der Vergleich der Doppel-T-Träger zwischen Stahl- und Carbonbeton auf der Messe BAU 2017 | The comparison of double T beams made of steel and carbon reinforced concrete at the BAU 2017 trade fair Photo: Sandra Kranich

Als Referenten konnten namhafte Experten der Baubranche aus mehreren europäischen Ländern, Südafrika und den USA gewonnen werden. Matthias Tietze vom C<sup>3</sup>-Team gab in seinem Vortrag „The new way to build“ den Teilnehmerinnen und Teilnehmern einen Einblick in die sowohl umfangreiche als auch praxisorientierte Forschung an Carbonbeton und präsentierte zahlreiche praktische Anwendungen. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Sanierung der ehemaligen Eisenbahnbrücke in Naila und den Instandsetzungsarbeiten bei den Zuckersilos in Uelzen.

### Eine erfolgreiche Fusion: 9. Carbon- und Textilbetontage in Dresden

Am 26. und 27. September trafen sich zahlreiche Fachleute zu den 9. Carbon- und Textilbetontagen in Dresden. Die Tagung des C<sup>3</sup>-Projekt und des TUDALIT e. V. fand mit über 300 Teilnehmer\*innen im Zentrum Dresdens, im Hotel Hilton, statt. Der Staatssekretär des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr – Dr. Hartmut Mangold – begrüßte am ersten Tag die Teilnehmer, wies auf das gute Verhältnis zwischen Forschung und Wirtschaft hin und äußerte den Wunsch, dieses weiterhin zu pflegen und stetig auszubauen. Genau dieses Ziel verfolgte auch die Konferenz. In den praxisnahen Vorträ-

*and in existing buildings in 16 exhibition areas. In collaboration with HTWK Leipzig, TU Chemnitz and the Institute of Construction Management of the TU Dresden, the advantages of carbon*



Vortrag im Rahmen der Messe BAU von Dr.-Ing. Matthias Lieboldt Lecture at the BAU trade fair by Dr.-Ing. Matthias Lieboldt Photo: Sandra Kranich

*reinforced concrete in direct comparison to steel reinforced concrete were illustrated by means of specially designed double-T beams. In addition, the innovative and resource-saving building material and its applications were presented in separate lectures.*

*In the meantime, Poland also went international. Different nationalities met in Ossa near Warsaw. Destination was the ICCX Central Europe 2017 conference. Speakers were renowned construction experts from several European countries, South Africa and the USA. In his lecture “The new way to build”, Matthias Tietze from the C<sup>3</sup>-team gave the participants an insight into the extensive and practice-oriented research on carbon reinforced concrete and presented numerous practical applications. Particular attention was paid to the renovation of the former railway bridge in Naila and the repair work on the sugar silos in Uelzen.*

### Successful fusion: 9<sup>th</sup> Carbon and Textile Reinforced Concrete Days in Dresden

*On September 26<sup>th</sup> and 27<sup>th</sup>, numerous experts met for the 9<sup>th</sup> Carbon and Textile Reinforced Concrete Days in Dresden. The conference of the C<sup>3</sup>-project and the TUDALIT e. V. took place with*

gen – von Bausatzkomponenten über Neubau, Verstärkungs- und Instandsetzungsmaßnahmen bis hin zu Arbeitsschutzanforderungen und Recycling sowie experimentellen Nachweisen und Bemessungsregeln – gaben Referent\*innen spannende Einblicke in Carbonbeton-Projekte.

*over 300 participants in the centre of Dresden at the Hilton Hotel. The State Secretary of the Saxon State Ministry for Economic Affairs, Labour and Transport - Dr. Hartmut Mangold - welcomed the participants on the first day, pointed out the good relationship between research and industry and expressed the wish to continue to cultivate and constantly expand this link. This is exactly what the conference pursued. In the practice-related lectures - from kit components to new construction, reinforcement and repair measures to*



9. Carbon- und Textilbetontage im Hotel Hilton in Dresden | 9<sup>th</sup> Carbon and Textile Reinforced Concrete Days at the Hilton Hotel in Dresden  
Photo: Sven Hofmann

### C<sup>3</sup> on Tour

„C<sup>3</sup> on Tour“ lautete das Motto der Rundreise, die vom C<sup>3</sup> e. V. für den Zeitraum des 15. bis 17. Mai 2017 organisiert wurde. Seit 2014 ist die Zahl der Partner im C<sup>3</sup>-Projekt, die die Forschung an Carbonbeton gemeinsam vorantreiben, auf ca. 170 gestiegen. Dabei bleibt das persönliche Kennenlernen leider oft auf der Strecke und wird durch die bequeme – die Technik macht es möglich – Telefon- bzw. Videokonferenz ersetzt. Bei Mitgliederversammlungen reicht die Zeit oftmals nur für einen kurzen Smalltalk, so dass ein branchenübergreifendes Gespräch häufig nicht möglich ist und Fragen, wie „Wie wird die textile Bewehrung hergestellt?“, „Wie erfolgt die Betonentwicklung?“ oder „Wie funktioniert eine moderne Fertigteilherstellung im Betonwerk?“ unbeantwortet bleiben.

*occupational safety requirements and recycling as well as experimental evidence and design rules - speakers gave exciting insights into carbon reinforced concrete projects.*

### C<sup>3</sup> on Tour

*“C<sup>3</sup> on Tour“ was the theme of the tour the C<sup>3</sup> e. V. organized from 15<sup>th</sup>–17<sup>th</sup> May 2017. Since 2014 the number of partners in the C<sup>3</sup>-project, jointly researching on carbon reinforced concrete, has risen to approximately 170. Unfortunately, getting to know each other personally is often neglected and replaced by the convenience of technology like telephone or video conferencing. During the annual meeting of members time often suffices only for small talk, so that a cross-industry discussion is often not possible and questions remain unanswered such as “How is the textile reinforcement produced?“, “How is the devel-*

Die Resonanz der Partner auf die Einladung zur Rundreise war groß und so startete die zweitägige Tour mit über 30 Teilnehmern. Zahlreiche Partnerunternehmen hatten sich bereiterklärt, ihre Pforten zu öffnen und den Interessenten Einblicke in ihre Produkte, Anlagen und Arbeitsprozesse zu gewähren. Die Informationen waren optimal auf den Punkt gebracht, die Stationen kurzweilig, wodurch der straffe Zeitplan eingehalten werden konnte.

*opment of concrete?“ Or “How does a modern prefabrication in the concrete plant work?“*

*The response of the partners to the invitation for the round trip was great and the two-day tour started with over 30 participants. Several partner companies had agreed to open their doors and provide all those interested insights into their products, systems and work processes. The information were perfectly focused and the stops entertaining, which allowed the tour to comply with the tight schedule.*

#### Besucht wurden:

- Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.,
- TU Dresden, die Institute für Baustoffe, für Massivbau (inkl. Otto-Mohr-Laboratorium und für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik,
- P-D Glasseiden GmbH Oschatz,
- Betonwerk Oschatz GmbH,
- SKZ – ToP gGmbH in Halle,
- OPTERRA GmbH, Karsdorf,
- KARL MAYER MALIMO Textilmaschinenfabrik GmbH, Chemnitz, und
- Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI), Chemnitz.

#### Stops were:

- Leibniz Institute of Polymer Research Dresden e.V.,
- TU Dresden, Institute of Construction Materials, Institute of Concrete Structures (including Otto Mohr Laboratory) and Institute of Textile Machinery and High Performance Materials,
- P-D Glasseiden GmbH Oschatz,
- Betonwerk Oschatz GmbH,
- SKZ – ToP gGmbH in Halle,
- OPTERRA GmbH, Karsdorf,
- KARL MAYER MALIMO Textilmaschinenfabrik GmbH, Chemnitz, and
- Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI), Chemnitz.



Die einzelnen Stationen auf der C<sup>3</sup>-Rundreise 2017 | The single stations on the C<sup>3</sup> tour in 2017 | Graphic: Sven Hofmann

Aufgrund der positiven Resonanz auf die Tour wird es 2019 wieder eine solche Reise geben.

*Due to the positive feedback another tour will be organised for 2019.*

### InnoTruck: C<sup>3</sup>-Innovation bereist die Bundesrepublik

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung startete eine Informations- und Dialoginitiative, um die Lust auf Technik und Wissenschaft zu wecken. Auf der bundesweiten Tour, die vom 15. bis 17. Juni 2017 an den Technischen Sammlungen in Dresden Halt machte, werden im InnoTruck abwechslungsreiche Ausstellungs- und Veranstaltungsangebote präsentiert, die eindrucksvoll zeigen, wie Innovationen den Alltag positiv verändern können. Fragestellungen sind zum Beispiel „Wie wird aus einer guten Idee eine erfolgreiche Innovation?“, „Was versteht man überhaupt unter Innovationen?“ oder „Wozu sind sie gut – und sind auch Risiken mit ihnen verbunden?“. Das doppelstöckige Ausstellungsfahrzeug soll dazu beitragen, Antworten auf viele Fragen zum Thema Innovation zu geben. Besucherinnen und Besucher, vor allem Jugendliche, sind eingeladen, sich zu informieren und mit Experten vor Ort auszutauschen. Das C<sup>3</sup>-Projekt ist mit Informationen und einigen Exponaten im InnoTruck mit auf Tour und bietet Interessenten kurze Einblicke in die Welt des Carbonbetons und das noch in den nächsten zwei Jahren.



Der InnoTruck des Bundesministeriums für Bildung und Forschung macht Station in Dresden | The InnoTruck of the Federal Ministry of Education and Research stops in Dresden  
Photo: Marie Knauth

### InnoTruck: C<sup>3</sup>-innovation travels through Germany

The Federal Ministry of Education and Research launched an information and dialogue initiative to arouse interest in technology and science. On the nationwide tour, which stopped at the Technische Sammlungen in Dresden from June 15<sup>th</sup>–17<sup>th</sup> June 2017, the InnoTruck presents a variety of exhibitions and offers several events that impressively show how innovations can positively change everyday life. Exemplary questions are „How does a good idea become a successful innovation?“, „What do we mean by innovation?“ Or „What are they good for - and are there risks associated with them?“ The exhibition vehicle, a double-decker bus, is trying to answer many questions about innovations. Visitors, especially young people, are invited to inform themselves and exchange ideas with local experts. The C<sup>3</sup>-project will be on tour with the InnoTruck for another two years with information and some exhibits and therefore offers those who are interested brief insights into the world of carbon reinforced concrete.



Das Innere des InnoTrucks mit Exponaten aus Carbonbeton | The interior of the InnoTruck with carbon reinforced concrete exhibits  
Photo: Marie Knauth

### Erstmalig: Carbonbeton im Deutschen Museum in München

Die Ausstellung „Aus Ideen Erfolge machen. Für die Menschen. Für das Land.“ des Deutschen Museums in München wird seit dem 13. September 2017 mit einem Exponat aus Carbonbeton bereichert. Traditionell präsentieren die Vorjahressieger des Deutschen Zukunftspreises ihre Inno-

### For the first time: Carbon reinforced concrete at the Deutsche Museum in Munich

The exhibition „Making Ideas Successful. For the people. For the Country.“ at the Deutsches Museum in Munich has been enriched with a carbon reinforced concrete exhibit since 13<sup>th</sup> September 2017. Traditionally, last year's winners of the



Erstmals in der Ausstellung der Zukunftspreisträger im Deutschen Museum: ein Modul aus Carbonbeton | For the first time: a module made of carbon reinforced concrete exhibited by the winners of the Deutscher Zukunftspreis at the Deutsches Museum in Munich | Photo: Ansgar Pudenz



Carbonbeton im Deutschen Museum in München | Carbon reinforced concrete at the Deutsches Museum in Munich  
Photo: Ansgar Pudenz



Die Zukunftsstadt des Architekten Henn | The future city of the architect Henn | Photo: Ansgar Pudenz

vation in Form eines Moduls. Nun also Carbonbeton, denn 2016 gewannen bekanntlich Dresdner Carbonbetonforscher den Zukunftspreis, den Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation.

Seit der Eröffnung der Ausstellung 2006 kommen jährlich neue Exponate hinzu. Die nunmehr 10 Ausstellungsstücke sind zwar thematisch unterschiedlich, wurden bisher jedoch immer

Deutscher Zukunftspreis present their innovation in the form of a module. Hence it was researchers from Dresden who won the Zukunftspreis, the Federal President's Prize for Technology and Innovation, in 2016 carbon reinforced concrete is on display now.

Since the opening of the exhibition in 2006, new exhibits have been added annually. Henceforth there are 10 exhibits which are thematically different, but have always been made from the mine-

aus dem Mineralwerkstoff Corian hergestellt. Erstmals wurde nun ein anderes Material verwendet – Carbonbeton. Das Modul besteht aus vier Teilen: dem 'Einfallstor' – eine spielerische Einladung, sich mit dem Thema Carbonbeton auseinanderzusetzen; der wirtschaftlichen Komponente – welchen Beitrag leistet das Thema in Bezug auf bspw. Arbeitsplätze oder die Branche; der wissenschaftlichen Expertise und schließlich der Vorstellung der Preisträger. Zusätzlich findet man die Preisträger auf der sogenannten „Wall of Fame“. Das Architekturbüro HENN entwickelte eigens für die Ausstellung ein Modell einer Zukunftsstadt komplett aus Carbonbeton. Das Carbonbeton-Exponat bleibt in den nächsten 10 Jahren Bestandteil der Ausstellung zum Deutschen Zukunftspreis. Nicht nur Anschauen, vor allem Anfassen ist ausdrücklich erwünscht.

**Ausgezeichnet: C<sup>3</sup> erhält weitere Preise**

2017 konnte das C<sup>3</sup>-Team seine Erfolgssträhne fortsetzen. Die Carbonbeton-Technologie wurde mit dem Green Product Award ausgezeichnet. Der internationale Wettbewerb würdigt jährlich innovative und nachhaltige Lösungen von bereits existierenden Produkten und Services. In der Kategorie Forschung überzeugte Carbonbeton durch seine Vorteile gegenüber dem Konkurrenzmaterial Stahlbeton.



Die Verleihung des Sächsischen Transferpreises; Wirtschaftsminister Martin Dulig (links), Dr.-Ing. Frank Schladitz und Beate-Victoria Ermisch, Geschäftsführerin der GWT-TUD GmbH | The award of the Sächsischer Transferpreis; Saxon Minister of Economic Affairs Martin Dulig (left), Dr.-Ing. Frank Schladitz and Beate-Victoria Ermisch, Managing Director of GWT-TUD GmbH | Photo: Sven Hofmann

*ral material Corian. For the first time, another material was used - carbon reinforced concrete. The module consists of four parts: the 'Gateway' - a playful invitation to explore the subject of carbon reinforced concrete; the economic component - what contribution does the topic make in terms of, for example, jobs or the industry; the scientific expertise and finally the presentation of the winners. In addition, you will find the winners on the so-called „Wall of Fame“. The architecture firm HENN developed a model of a future city made entirely of carbon reinforced concrete specifically for the exhibition.*

*The carbon reinforced concrete exhibit will remain part of the exhibition for the Deutscher Zukunftspreis for the next 10 years. Come by, have a look and you are welcome to touch.*

**Outstanding and awarded: C<sup>3</sup> receives further prizes**

*In 2017, the C<sup>3</sup>-team continued its success story. The carbon reinforced concrete technology was awarded with the Green Product Award. The international competition annually recognizes innovative and sustainable solutions for existing products and services. In the category of research carbon reinforced concrete convinced due to its advantages to the competitor steel reinforced concrete.*

*„Raise Innovation Potentials with Transfer“ - this was the theme on 28<sup>th</sup> August 2017, when the industry and technology-oriented Sächsischer Transferpreis was awarded for the first time to know-how providers and agents who contribute in a special way to the success of transfer processes. At the award ceremony, Martin Dulig, Saxon's State Minister for Economics, Labour and Transport, presented Dr.-Ing. Frank Schladitz from C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite the first prize.*

*The vision „carbon reinforced concrete“ is now well on the way to becoming reality, which results, if nothing else, from the close connection between research and practice. Through expertise and commitment, the composite material continues to evolve in all its facets. The steadily growing number of members in the C<sup>3</sup>-consortium shows the great interest shown by the construction industry in the composite material.*

„Mit Transfer Innovationspotentiale heben“ – unter diesem Leitspruch wurde am 28. August 2017 erstmalig der branchen- und technologieoffene Sächsische Transferpreis an Know-how-Geber und -Mittler vergeben, die in besonderer Weise zum Gelingen von Transferprozessen beitragen. Bei der feierlichen Preisverleihung überreichte Martin Dulig, Sächsischer Staatsminister für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dr.-Ing. Frank Schladitz von C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite den ersten Preis.

Die Vision „Carbonbeton“ ist mittlerweile auf dem besten Weg, Realität zu werden, was nicht zuletzt aus dem engen Verbund von Forschung und Praxis resultiert. Durch Expertise und Engagement entwickelt sich der Verbundwerkstoff in all seinen Facetten kontinuierlich weiter. Die stetig wachsende Anzahl an Mitgliedern im C<sup>3</sup>-Konsortium zeigt, welch großes Interesse von Seiten der Bauwirtschaft dem Verbundmaterial entgegengebracht wird.



Sächsischer Transferpreises 2017 | The Saxony Transfer Price 2017  
Photo: Sven Hofmann

- ▶ **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 – 12.2019  
C3-I: 08.2015 – 12.2019
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.H. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
Dr.-Ing. Frank Schladitz; Lisa Friedrichs M. A.; Sandra Kranich M. A.; Dr.-Ing. Matthias Lieboldt; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Minar M. Sc.; Dajana Musiol M. A.; Chris Gärtner, M. A.; Jana Strauch, Dipl.-Ing. Jan Panzer; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Matthias Tietze
- ▶ **Projektpartner | Project partners**  
C<sup>3</sup>-Konsortium bestehend aus derzeit 165 Unternehmen, Verbänden und Institutionen | C<sup>3</sup> consortium consisting of currently 165 companies, associations and institutions



# LEHRE

*TEACHING*



# LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

## LECTURES AT THE INSTITUTE OF CONCRETE STRUCTURES



Brückenbauexkursion 2017 | Bridge construction field trip 2017 | Photo: Oliver Steinbock

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. 60 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 Studiengangs und ist somit vom Umfang her mit Masterstu-

*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.*

diengängen 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.

*Furthermore, we offer a master's program for English-speaking students, called Advanced Computational and 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 hydrosience (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 2016/2017.**

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 2016/2017. 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

▷ **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

▷ **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, Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Jakob Bochmann, Dipl.-Ing. Marcus Hering, Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Matthias Quast, Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Robert Schneider, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

▷ **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)

Prof. Dipl.-Ing. Holger Svensson\*, Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann\*,  
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.

\*This module is offered in cooperation with Prof. Dipl.-Ing. Holger Svensson (Honorary Professor) and the Chair of Steel Construction, Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann.

► **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.

► **Grundlagen des Stahlbetonbaus**

(BWA 14, BHYWI68, MA-WW-ING-0113, D-WW-ING-0113)

Dr.-Ing. Silke Scheerer, Dipl.-Ing. Angela Schmidt

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

Das Modul bietet eine Einführung in die Stahlbetonbauweise. Es werden die speziellen Baustoffeigenschaften sowie das Zusammenwirken der beiden Baustoffe Stahl und Beton im Verbund erläutert und die Grundlagen der Schnittgrößenermittlung, Bemessung und konstruktiven Durchbildung der wichtigsten Bauteile im Massivbau vermittelt.



Wildbrücke über die Bundesautobahn A14 | Viaduct for wildlife over the federal motorway A14 | Photo: Oliver Steinbock

## PROJEKTARBEITEN | PROJECT WORKS

Studienjahr 2016/17 | Academic year 2016/17

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.*

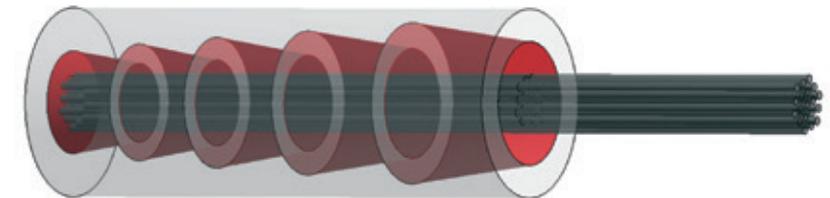
*Selected works are briefly presented below.*

### Oliver Mosig

#### Numerische Untersuchung von Spanngliedverankerungen (Projektarbeit)

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

Der Einsatz kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe als vorgespannte Zugglieder ist aufgrund von deren hervorragenden Materialeigenschaften eine ausgezeichnete Alternative zu konventionellen Spannstahlilitzen. Die hohe Festigkeit in Faserlängsrichtung, gepaart mit dem geringen Eigengewicht, bietet eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten. Aufgrund des anisotropen Materialaufbaus und der daraus resultierenden hohen Querdruckempfindlichkeit sind jedoch neue und materialgerechte Spanngliedverankerungen nötig.



Modell einer segmentierten Vergussverankerung für Carbonzugglieder  
Grafik: Oliver Mosig

### Maria Oehmichen

#### Neubau eines Institutsgebäudes (Geschossbau) am Institut für Kernchemie der JGU Mainz (Projektarbeit)

(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Karl, Dr.-Ing. Matthias Lugenheim (Mathes Beratende Ingenieure GmbH, Dresden), Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Das Institut für Kernchemie an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz soll durch einen Ersatzneubau erweitert werden. Mit dem Ziel, einen Vorschlag für ein geeignetes Deckensystem geben zu können, wurden in dieser Arbeit drei verschiedene Deckensysteme unter gleichen Objektbedingungen entwickelt, bemessen und wirtschaftlich bewertet. Die untersuchten

In einigen Pilotprojekten bei Brückentragwerken und Bauwerksertüchtigungen kam kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff bereits erfolgreich zum Einsatz. In dieser Arbeit werden bereits entwickelte Verankerungssysteme vorgestellt und beschrieben. Die teils grundverschiedenen Wirkungsweisen des Lastabtrags zeugen von einer Vielfalt an Möglichkeiten, den Hochleistungswerkstoff Carbon als Zugelement sicher zu verankern. Des Weiteren wurden numerische Untersuchungen an zwei Verankerungssystemen durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Material- und Geometrieparameter auf den Lastabtrag festzustellen. Durch Parameterstudien ist es dabei gelungen, qualitative Verbesserungen der Systeme vorzunehmen, um dem anspruchsvollen Werkstoff Carbon gerecht zu werden, ohne dabei baupraktische und wirtschaftliche Gesichtspunkte außer Acht zu lassen.

Deckensysteme sind ein Unterzugdeckensystem sowie Flachdecken entweder auf Wänden und Stützen oder nur auf Stützen gelagert. Wichtig bei der Bemessung sind die Verformung der Deckenkonstruktion und die Durchstanzproblematik als Sonderfall des Querkrafttragverhaltens.

Auf der Grundlage der Bemessungsergebnisse konnte eine Kostenberechnung vorgenommen werden. Die Flachdecken auf Wänden und Stützen stellten sich als preiswerteste Variante heraus. Die Preisunterschiede zu den anderen beiden Varianten sind allerdings eher marginal. Neben diesen „harten“ Faktoren konnte die Vorzugsvariante – die Ausführung als Flachdecke auf Stützen und Wänden – vor allem auch bei den vielfältigen „weichen“ Faktoren wie Flexibilität, Möglichkeiten der Leitungsführung und Folgekosten überzeugen.

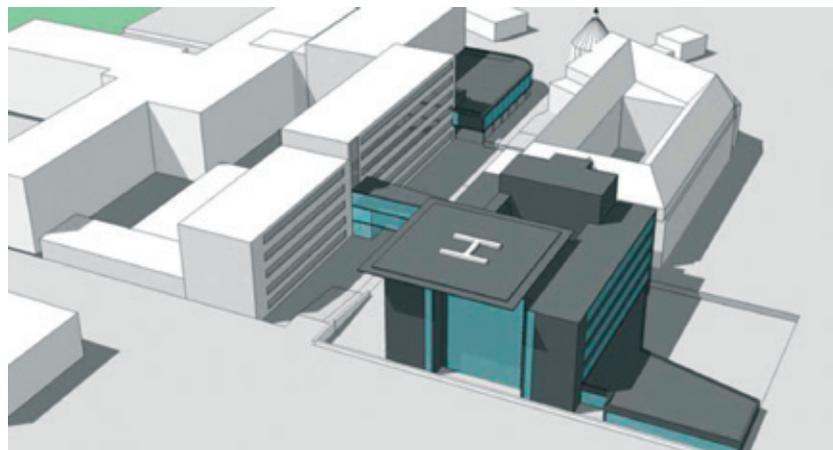
**Ahmad Heseno**

**Design of a helipad over a hospital roof**  
(Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Matthias Quast,  
Dr.-Ing. Robert Ascherl  
(Ascherl Bauingenieure GmbH, Weiden),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The aim of the project is the design of a helipad located on the roof of a new section at the Hospital Weiden (Bavaria). The consulting engineering office Ascherl Bauingenieure GmbH is planning and designing such an extension for the hospital. The new structure will be a six-storey reinforced concrete building. A helipad should be installed above the roof of this building. Due to its proximity to a US Airforce base, a regular case scenario is one involving the landing of a Black Hawk

helicopter, which causes much higher loads than the landing of regular helicopters. The serviceability of the hospital during regular landing and taking-off are considered as well as the stability of the main structure in case of an accidental landing. All designs have to be based on the static design of the reinforced concrete structure, to be provided by Ascherl Bauingenieure GmbH. First, an aluminum-steel helipad structure was designed under the different probable loads. For the final solution, the serviceability of the hospital and lower structure due to the dynamical effect was checked. After that, a reinforced concrete structure was designed. Since the columns locations have led to a high amount of reinforced concrete, a Cobiax slab was used as an alternative reinforced concrete slab solution to fit the long spans and cantilevers and to reduce the amount of reinforced concrete as well.



Helipad location | Graphic: Ahmad Heseno

**Drin Imeraj**

**Design of a television tower**  
(Project work)

Supervisors: Dipl.-Ing. Matthias Quast,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

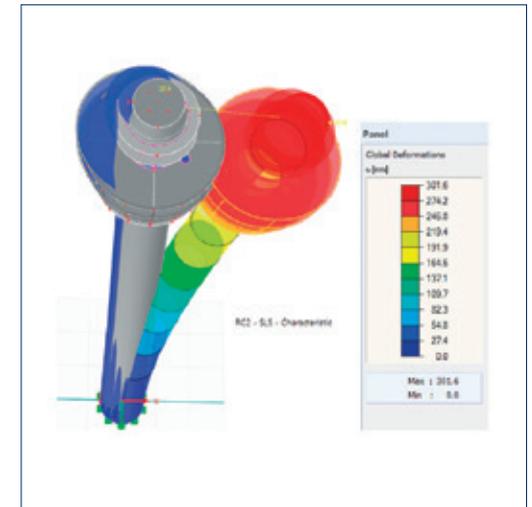
Wind load is the critical parameter when designing tall buildings since wind intensity is a function of height. Considering that wind response of the

structure is highly influenced by the geometry, choosing the appropriate shape of the tower is crucial.

Three different geometries have been drafted within this project work, including circular cylinder shaft, octagonal and hexagonal shaped shaft. According to Eurocode 1-4 guidelines, total wind force on the shaft has been calculated for each of the geometries. It was observed that circular cylinder shaft provides less wind force on the

structure. Hence, it is selected for a complete structural design.

Modifications on the geometry such as shaft tapering (width reduce with height) have a significant effect on improving structure response of the tower. Wind load is the main action which affects the vertical reinforcement of the shaft. Dead load is considered a favourable action in this case, but it is the main action which affects the confinement reinforcement of the shaft. From static calculations, it has been observed that the main deflection in circular cylinder towers occurs along the wind direction. Due to the symmetry of the loads in the transverse wind direction, a negligible displacement is noticed. However, a dynamic analysis of the tower needs to be done taking into consideration vibrations and displacements in the transverse wind direction due to vortex shedding.



Deformation of the television tower under wind loads  
Graphic: Drin Imeraj

**Vitali Zavadski**

**Parametric study of textile reinforced concrete sandwich elements**  
(Project work)

Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,  
Dipl.-Ing. Michael Frenzel,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Construction plays a central role in resource consumption; lightweight, eco-friendly and cost-efficient materials and structures have the potential to make a significant step forward in the preservation of our planet. Structures, such as textile reinforced concrete (TRC) sandwich elements for ceilings, can be a good example of

an efficient use of concrete and reinforcement. The aim of this investigation was to demonstrate the structural feasibility of these panels. Three concrete elements (ordinary concrete slab, steel reinforced concrete sandwich element and TRC sandwich panel) were chosen as case-study leading to a final comparison of bearing behaviour. This work includes a description of the design procedure. Along with the calculation of the flexural, shear and interface failure resistance, deflections were also estimated. A design table, suitable for cross-sections without compression reinforcement was derived and can be used for the determination of the required textile reinforcement's area. The development of an optimisation algorithm and of a design aid tool for textile reinforced concrete sandwich panels is also presented. It was concluded that the TRC sandwich elements have a high potential for implementation in civil engineering. An effective implementation domain for each sandwich element combination was identified, and it was concluded that the TRC sandwich element with concrete class C50/60 was the optimum solution for beams with lengths up to 6 m.



It was concluded that the TRC sandwich elements have a high potential for implementation in civil engineering. An effective implementation domain for each sandwich element combination was identified, and it was concluded that the TRC sandwich element with concrete class C50/60 was the optimum solution for beams with lengths up to 6 m.

TRC sandwich element  
Graphic: Vitali Zavadski

**Lurii Vakaliuk**

**Conceptual design of a functional modular system**  
(Project work)

Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dipl.-Ing. Dominik Schlüter, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The focus of this project was the conceptual design of modular systems made of textile reinforced concrete (TRC) and their integration into a building to demonstrate its feasibility. The façade system was envisioned with possible enhancements, like the integration of the energy efficient equipment, and load-bearing system, to support the entire building and provide façade envelope with necessary support. The solutions were arranged in one hierarchical evolutionary global map of modular units. Within this scope, a range of conceptual solutions for retrofitting an

existing building, as example here: the Andreas-Schubert-Bau building (ASB) at TU Dresden, and as new building a proposed structure, the CUBE, were provided in the form of conceptual visualizations of the architectural and structural solutions, to demonstrate the wide range of possible application.

Thus, it can be seen that modular systems can be easily adapted to follow the desired design of the building, either as a flat or a curved building surface. Various types of fabrication such as mass production or mass customization were considered. Together with rational, proper and intelligent design approaches like the parametrical design, that is oriented to the optimization of the structure, cost-effective, smart and eco-friendly TRC system can be developed that fulfills the global demand for reduction of energy expenditure and possible future requirements. Also, some potential solutions for the production technologies were provided within the project work.



Rendering of proposed retrofit of the ASB building at TU Dresden | Graphic: Lurii Vakaliuk

**Kleber Andrade Barros**

**Design philosophy study on CFRP RC structures**  
(Project work)

Supervisors: Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH, Bautzen), Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

To achieve a successful replacement of conventional steel with CFRP material as reinforcement

in concrete, the modes of failure of the composite material need to be understood. The design guidelines presented in this study are mainly provided in the form of modifications to existing steel reinforced concrete (RC) codes of practice, which these changes are strongly influenced by the mechanical properties of FRP reinforcement. This transition is not entirely appropriate because steel RC codes have been drafted assuming that ductility results from yielding of the flexural reinforcement, however, this is not valid for FRP, which exhibits a brittle flexural failure due to either concrete crushing or rupture of FRP. Additionally,

presented codes have fundamental structural safety uncertainties, like the calculation of material safety factors, which in association with the change in the failure type and other design issues relevant to FRP, have a considerable impact for the structural design and safety of elements reinforced with FRP. Due to the application of different safety factors, the desired

type of flexural failure is not always as expected, especially for elements where is predicted flexural failure by FRP rupture combined with high values of safety factors for the reinforcement, which leads to concrete crushing and will not necessarily increase the safety of elements. To accomplish a widespread application of FRP, a further development of design guidelines is required for its use.

Liste aller weiteren Projektarbeiten | List of all other Project Works

Name Student*in Student's name	Betreuer*in Supervisors	Titel der Projektarbeit Title of the Project Work	
Jonny Dunger	Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf und Bemessung eines Aussichtsturms im Norden von Aachen
Marius Engelberts	Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Juliane Wagner	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf eines Schalentragwerks aus Carbonbeton
Julian Lehmann	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Optimierung eines vorgespannten Flachdeckentragwerks
Yugiong Lui	Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Juliane Wagner	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Carbonbeton unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung
Regine Metzkes	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Elke Hering, Dr.-Ing. Jens Tusche (beide DB Engineering & Consulting GmbH, Region Südost, Dresden)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Sanierungskonzepte für das Heiligenborner Viadukt
Fabian Meyer	Dipl.-Ing. Volker Stoll (Jäger Ingenieure GmbH, Radebeul), Dipl.-Ing. Sebastian May	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	„Neues Rathaus“ Dresden – Sanierung der Decke über Kellergeschoss
Katja Nahke	Dipl.-Ing. Daniel Karl	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Aktualisierung der Biegebemessungstabellen nach Czerny
Jan Reissen	Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf und Bemessung eines Hausbootes als Ersatzneubau für die Wasserschutzpolizei Alberthafen
Franziska Richter	Dr.-Ing. Jens Tusche (DB Engineering & Consulting GmbH, Region Südost, Dresden), Dipl.-Ing. Markus Reypka (GRE, Dresden)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Auswirkungen der Bautechnologie auf den Neubau einer Eisenbahnbrücke unter Verkehr im Zuge der Beseitigung eines Bahnübergangs
Benjamin Schraps	Dipl.-Ing. Egbert Müller	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Optimierung einer Carbonbetondeckenplatte für das Durchbiegungsverhalten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
Robin Schwarz	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Parameterstudie an typisierten Brückenüberbauten der ehemaligen DDR hinsichtlich des Ankündungsverhaltens infolge Spannungsrissskorrosion
Pauline Voigt	Dipl.-Ing. Daniel Karl, Dipl.-Ing. Torsten Böhme (IAK Tragwerksplanung BbR, Dresden)	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Entwurf und Bemessung eines Mehrfamilienhauses als Neubau
Jitong Zhao	Dipl.-Ing. Sebastian May	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwicklung modularer und wiederverwendbarer Carbonbetonbauteile
Hui Zheng	Dipl.-Math. Dirk Reischl, Tino Kühn M.Sc., Dipl.-Ing. Evmorfia Panteki	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Numerische Experimente zum Schädigungsverhalten von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten
Ahmed Babiker Ahmed	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH, Bautzen)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Use of textile reinforced concrete sandwich elements as bridge deck elements

Liste aller weiteren Projektarbeiten | List of all other Project Works

Name Student*in Student's name	Betreuer*in Supervisors	Titel der Projektarbeit Title of the Project Work	
Nyazi Tewfik Ahmed Mohamed	Dipl.-Ing. Evmorfia Panteki Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Numerical investigation of the influence of the support construction on the recorded reaction force in dynamic bond experiments between concrete and steel	
Cosmin Anastasiu	Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Structural assessment of a WBS-70 series building
Moravaneni Ashok	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Cast-in-place flat slab bridge design according to Eurocode
Sankhu Shubhra Bhowmick	Tino Kühn M.Sc.	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Modelling of Concrete Behavior using DEM
Ahmad Chihadeh	Dipl.-Ing. Daniel Karl	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Structural Analysis and Design of Reinforced Concrete Pedestrian Bridge
Miralkumar Parsottambhai Gajjar	Dr.-Ing. habil. Regine Ortlepp (IÖR, Dresden), Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Comparative design and parametric study on the bill of Materials of an apartment house in India and Germany
Shravan Kanthaje	Dipl.-Ing. (FH) Frank Neumann, Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Investigations of the bond behavior between carbon rovings and concrete
Fakhrizal A. Masduki	Dipl.-Ing. Daniel Karl	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Interaction between Cement Matrix and Water-filled pores
Carlos Vallejo Paredes	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Comparison of load rating methods for existing bridges with precast elements BT700
Vivek Prakhar	Tino Kühn M.Sc.	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Numerical compressive and tensile material testing
Azeraksh Rawan	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Comparison of Live Load Longitudinal Analysis Methods according to AASHTO LRFD and Eurocode

# DIPLOM- UND BACHELORARBEITEN MASTER'S THESIS

Studienjahr 2016/17 | Academic year 2016/17

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.*

## Nora Boeland

### Nachweis- und Prüfkonzept für Flachdecken in Holz-Beton-Verbundbauweise

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Michael Koban (Koban + Schuckert Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Bei der Sanierung von Holzbalkendecken, bei denen die Aufbauhöhe der Decke begrenzt ist, stellt die Verwendung von Holz-Beton-Verbund-Flachdecken (HBV-Flachdecken) eine gute Möglichkeit beim Bauen im Bestand dar. Bei der HBV-Flachdecke wird eine Betonplatte zwischen Holzbalken angeordnet. Die Werkstoffe Holz und Beton werden über Verbindungsmittel, welche seitlich in den Holzbalken eingebracht

## Kristina Farwig

### Querschnitts- und Formoptimierung des Auflagerbereiches punktgestützter Betondecken ohne Durchstanzbewehrung

(Diplomarbeit)

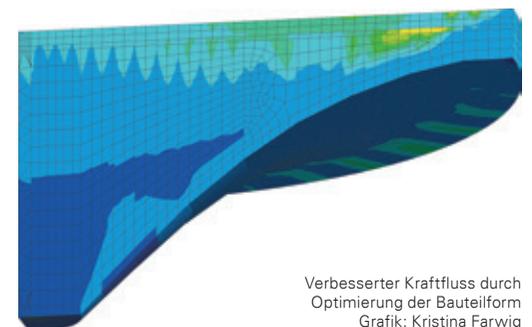
Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Frenzel, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In der heutigen Zeit werden häufig statisch ineffiziente Stahlbetonbauteile konstruiert, da die wirtschaftlichen Interessen zumeist überwiegen. Insbesondere punktgestützte Betondecken, die im Auflagerbereich durch hohe Biegemomente und Querkräfte beansprucht werden, weisen ein enormes Optimierungspotential gegenüber der Ausführung einer ebenen Stahlbetonflachdecke mit einem in jedem Querschnitt konstant hohen Bewehrungsgrad auf.

Mithilfe von numerischen Berechnungen, die mit dem FE-Programm ANSYS® 17 und der Materialbibliothek multiPlas® durchgeführt wurden, kann das im Stützbereich bemessungsrelevante Durchstanzversagen realitätsnah abgebildet werden. Dabei werden zunächst ein ebener Plattenausschnitt als Referenzbauteil aus Normalbeton modelliert und die Ergebnisse mithilfe von analytischen Vergleichsrechnungen,

werden, konstruktiv miteinander verbunden. Zur HBV-Flachdecke existieren weder explizite bauaufsichtliche Zulassungen für Verbindungsmittel, noch liegt ein allgemein anerkanntes Nachweisverfahren vor. Ziel der Arbeit ist die Aufstellung eines geschlossenen Nachweisverfahrens für HBV-Flachdecken. Dieses soll die Prüfbarkeit dieser Konstruktionsart ermöglichen und dabei alle vorhandenen Beanspruchungen berücksichtigen. Um die theoretischen Betrachtungen zu bestätigen, ist die Aufstellung eines Prüfkonzeptes notwendig, welches im Rahmen der Diplomarbeit erarbeitet wurde. Darin werden die notwendigen Versuche und Vorgehensweisen zur Erlangung einer bauaufsichtlichen Zulassung für Verbindungsmittel in HBV-Flachdecken beschrieben. Das entwickelte Nachweiskonzept kann, nachdem es durch die Versuche bestätigt wurde, zur sicheren Dimensionierung von HBV-Flachdecken herangezogen werden.

basierend auf speziell für die Ermittlung der Durchstanztraglast von Plattenausschnitten entwickelten Rechenverfahren, verifiziert. Die Optimierung des betrachteten Plattenausschnitts erfolgt schließlich über zwei Ansätze, die unter der Voraussetzung einer Volumengleichheit zum Referenzbauteil verfolgt werden. Einerseits kann durch unterschiedliche Betone im ebenen Querschnitt bei gleichbleibendem Biegebewehrungsgrad und ohne Durchstanzbewehrung ein effizienteres Tragverhalten bei bis zu 30 % weniger Eigengewicht erzielt werden. Andererseits kann durch die Anpassung der Bauteilform an den Kraftfluss die Tragfähigkeit erhöht werden, z. B. bei einer parabolisch geformten Deckenunterseite um ca. 180 %. Die Ergebnisse müssen nun durch experimentelle Untersuchungen validiert werden.



Verbesserter Kraftfluss durch Optimierung der Bauteilform  
Grafik: Kristina Farwig

**Friederike Haux**

**Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes**

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Robert Zobel,  
Dipl.-Ing. Uli Schöber (Ingenieurbüro für  
Statik und (öko)logische Baukonstruktion,  
Quedlinburg),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Die Diplomarbeit hat sich mit der Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes in Magdeburg befasst. Es handelt sich um einen eingeschossigen Bau aus dem Jahr 1928 mit rechteckigem Grundriss, Wänden aus zweischaligem Ziegelmauerwerk und einer Stahlbetonrippe-Decke, für den eine Nutzung als Seminarraum geplant ist.

Nach einer Bestandsaufnahme und Untersuchung der noch vorhandenen Tragfähigkeit des Gebäudes wurden als Hauptmängel eine für den Korrosions- und Brandschutz zu geringe Betondeckung der Deckenbewehrung und Risse im Mauerwerk identifiziert. Diese Risse ließen sich

auf Setzungen sowie Zwängungen infolge einer Temperaturdehnungsdifferenz zwischen den Wänden und der massiven Decke zurückführen. Darauf aufbauend wurden Instandsetzungsmaßnahmen benannt, die unter anderem das Aufbringen einer Aufbetonschicht an der Deckenunterseite und das Verschließen der Risse beinhalten. Die Tragfähigkeit des Gebäudes muss unter der erhöhten Last aus der Betonschicht sowie einem Deckenaufbau inklusive Dämmung beibehalten werden. Es konnte gezeigt werden, dass dies ohne zusätzliche Bewehrung der Fall ist, wenn die Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestandsbauteile reduziert werden dürfen. Dazu sind bestimmte Versuche erforderlich, die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht durchgeführt werden konnten. Alternativ wurde deshalb die Bemessung des Gebäudes mit weiterer Bewehrung durchgeführt. Als Verstärkung eignen sich sowohl aufgeklebte Lamellen aus carbonfaserverstärktem Kunststoff als auch carbonbewehrter Beton. Für beide Optionen konnten die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und die Erfüllung des Brandschutzes des Gebäudes nachgewiesen werden, wobei abschließend die Vorteile des Carbonbetons gegenüber jeder der geklebten Lamellen überwogen.



Risse im Mauerwerk;  
rot: Setzungsrisse, blau: Dehnungsrisse, gelb: Riss infolge Querzugs  
Foto: Friederike Haux

**Christopher Klimesch**

**Entwurf und Bemessung eines Schwimmpontons aus Carbonbeton für die Wasserschutzpolizei Alberthafen**

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm,  
Dipl.-Ing. Robert Zobel,  
Dipl.-Ing. Michael Koban (Koban + Schuckert  
Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Der recht junge Verbundwerkstoff Carbonbeton hält schon heute Einkehr in zahlreiche Anwendungsgebiete der Baubranche. Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollte die Eignung des Werkstoffes für Schwimmpontons erarbeitet werden. Als Untersuchungsobjekt diente die sanierungsbedürftige Station der Wasserschutzpolizei im Dresdner Alberthafen. Der entwickelte Ponton hat eine Grundfläche von 12 m mal 6 m mit einer Tiefe von 1,5 m und besteht aus einer im Mittel nur etwa 7 cm starken carbonbewehrten Schale. Die in modularer Bauweise ausgeführten Bauteile

werden durch regelmäßig angeordnete Steifen unterstützt. Um die Dichtigkeit des Schwimmpontons zu gewährleisten, wird mit einem speziell gemischten Hochleistungs-beton gearbeitet. Infolge der gewählten Geometrie werden Risse im Beton vermieden und das Gewicht des Carbonbetonpontons um rund 50 % gegenüber dem eines konventionellen Pontons aus Stahlbeton reduziert, unter Einhaltung der Nachweise der Tragfähigkeit und der Dauerhaftigkeit. Während der Arbeit wurden Pontonformen entwickelt, optimiert, Module konstruktiv durchgebildet und passende Anschlüsse mit einer dauerhaften Fugenabdichtung entworfen. Das Bauverfahren er-

fuhr eine ebenso große Beachtung, um mit einer anschließenden Kostenvergleichsrechnung eine Bilanz zum herkömmlichen Stahlbetonbau ziehen zu können.



Schwimmponton aus Carbonbeton  
Grafik: Christopher Klimesch

**Maria Oehmichen**

**Sanierung des Turms im Beyer-Bau der TU Dresden – Nachweis der Standsicherheit**

(Diplomarbeit)

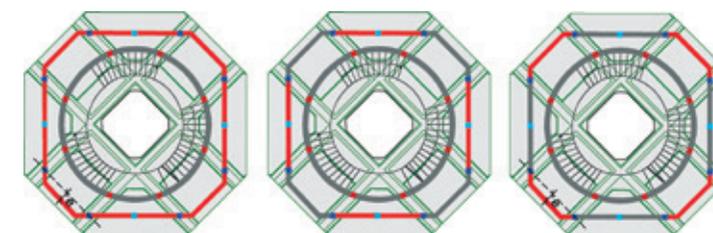
Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Karl,  
Dr.-Ing. Matthias Lugenheim (Mathes  
Beratende Ingenieure GmbH, Dresden),  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Der Beyer-Bau an der TU Dresden, 1913 errichtet, ist eine frühe Stahlbetonkonstruktion. Die Primärtragstruktur des Turmes ist von außerordentlicher Schlankheit und die Aussteifung steht im besonderen Blickpunkt bei der Sanierung, in deren Zuge auch die Gestalt des Turmes aufgewertet werden soll. Es existieren über einer Abfangebene (Decke über 2. OG) ein Kreis mit acht inneren und ein Kranz von acht äußeren oktogonal ausgerichteten Stahlbetonstützen. Drei darüber liegende Plattformen und ein Ringträger halten die vertikalen Bauteile zusammen und stabilisieren diese. Im oberen Drittel verjüngt sich der Turm und nur die inneren Stützen werden weitergeführt. Diese schlanke Konstruktion ist allein nicht in der Lage, eine ausreichende

Steifigkeit zur Aussteifung des Turmtragwerkes bereitzustellen.

Die dem Turm vorgestellte Fassade hat immer wieder Veränderungen erfahren. In keiner Phase diente sie selbst zur Gebäudeaussteifung, wohl aber die Mauerwerksscheiben. Bei der vorgesehenen Umgestaltung des Turmes wird beabsichtigt, eine allansichtige Transluzenz der Fassade zu erreichen und die vorhandenen Aussteifungswandscheiben aufzugeben. Als Substitution für diese wird die Einführung von Rahmenkonstruktionen mit druckschlaffen Auskreuzungen in Stahlbauweise vorgeschlagen. Damit wird das eigentliche Aussteifungsprinzip des Turmes weiterhin respektiert. Die Konstruktion kann dabei auch gleichzeitig als Unterkonstruktion für die Fassade dienen. Für die neu vorgeschlagene Aussteifungskonstruktion konnten die Translations- und Rotationssteifigkeiten nachgewiesen werden.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass mit der vorgeschlagenen neuen Aussteifungskonstruktion eine geeignete, wirtschaftliche und auch den gewünschten architektonischen Gestaltungsprinzipien dienende Lösung gefunden wurde.



Aussteifungssystem in der Draufsicht  
Grafik: Maria Oehmichen

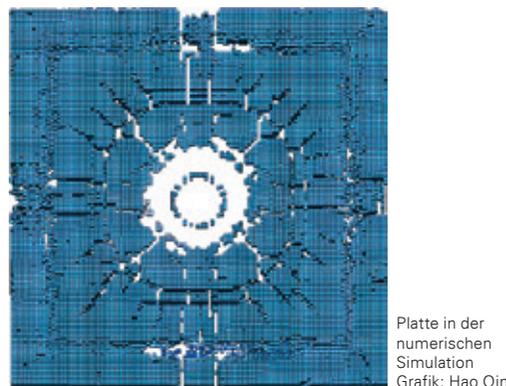
**Hao Qin**

**Numerische Untersuchungen zum Impact von faserbewerten Betonplatten**  
(Diplomarbeit)

Betreuer: Tino Kühn M. Sc.,  
Dipl.-Ing. Marcus Hering,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In der Diplomarbeit wurde die numerische Simulation von Probekörpern (PK) durchgeführt, die derzeit in einem aktuellen Projekt unter Impactbelastung untersucht werden. Anhand dieser numerischen Berechnungen soll es möglich werden, die im Experiment ermittelten Daten besser interpretieren und verstehen zu können. Im Experiment ist es nur möglich, an einer begrenzten Anzahl von Stellen auf dem Probekörper Messungen durchzuführen. Die numerische Simulation bietet die Möglichkeit, Betrachtungen an beliebig vielen Messpunkten durchzuführen. Weiterhin ist es aus Zeit- und Kostengründen experimentell nur möglich, eine begrenzte Anzahl an Versuchen durchzuführen. Numerisch können nahezu beliebig viele Versuche simuliert werden. Der erste Schritt für diese Simulationen wurde im Rahmen der Diplomarbeit getan. Zuerst wurden die PK-Geometrie, die Auflagerkonstruktion, der mit einer Initialgeschwindigkeit fliegende Impaktor sowie der Versuch selbst numerisch abge-

bildet. Das erstellte Modell wurde anhand von Versuchswerten von PK aus unbewehrtem Beton und Textilbeton kalibriert. Da es sich bei Impact um einen sehr komplexen Vorgang handelt, wurde der Fokus der Arbeit auf die Abbildung der im Experiment bestimmten Impaktorgeschwindigkeiten nach dem Durchschlagen der Platten und die erreichten Schädigungsbilder der Probekörper gelegt. Für unbewehrte PK war die Qualität dies gut, für textilbewehrte PK war die Qualität aufgrund des sehr vereinfacht modellierten komplexen Verbundverhaltens zwischen textiler Bewehrung und Beton noch verbesserungswürdig. Trotzdem ist diese Arbeit eine sehr gute Basis für weitere Betrachtungen.



Platte in der numerischen Simulation  
Grafik: Hao Qin

**Helmut Seidel**

**Bemessung einer Carbonbetonschale**  
(Diplomarbeit)

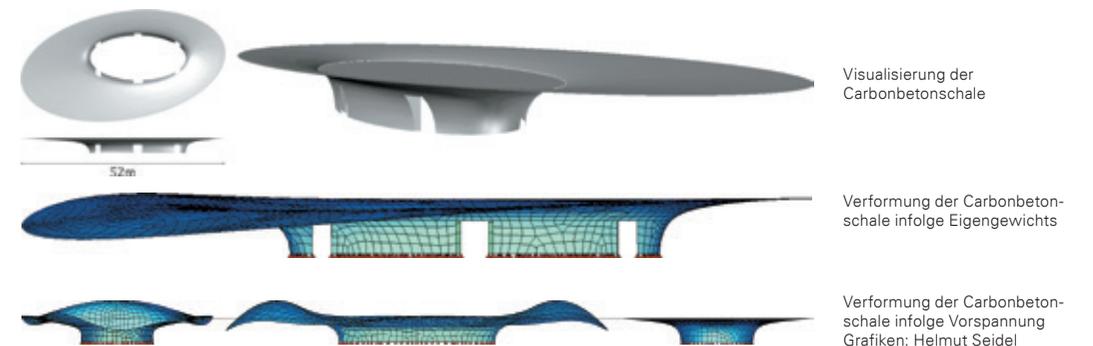
Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

In der Diplomarbeit wurde ein Entwurf für ein Schalentragsystem aus Carbonbeton bearbeitet. Die doppelt gekrümmte, antiklastische Schale überspannt freitragend eine Grundfläche von ca. 800 m<sup>2</sup> mit Spannweiten bis annähernd 20 m. Um dies zu ermöglichen, muss die Struktur vorgespannt ausgebildet werden. Die Erarbeitung eines Konzeptes zur Spanngliedführung bildete einen Schwerpunkt der Arbeit. Hierfür wurde zunächst die Wirkung von Vorspannung auf Schalen an geometrisch vereinfachten Mo-

dellen untersucht. Dabei wurden verschiedene Parameter untersucht, um die wirkenden Einflüsse beurteilen zu können. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde das Layout der Spannglieder erarbeitet und für das Bemessungsmodell angepasst. Im Fokus stand dabei die Untersuchung des Verformungsverhaltens der Schale unter Eigengewicht sowie äußeren Einwirkungen. Die Querschnittsstärke wurde der asymmetrischen Geometrie entsprechend angepasst. Für die Bemessung wurden die maßgebenden Beanspruchungen ermittelt und zusammengestellt, um die zu untersuchenden Lastfallkombinationen bilden zu können. Eine Ermittlung der Schnittgrößen erfolgte am FE-Modell sowohl nach linearer als auch nach nicht-linearer Berechnung (im Hinblick auf Material und Geometrie). Aus den Bemessungsschnittgrößen ergab sich die anzuordnende Textilbe-

wehrungsmenge. Im Anschluss an die Bemessung wurden die Verformungsnachweise im Gebrauchszustand anhand weiterer nichtlinearer

Berechnungen erbracht und ausgewählte Konstruktionsdetails betrachtet. Abschließend erfolgte eine kritische Beurteilung des Entwurfs.



Visualisierung der Carbonbetonschale

Verformung der Carbonbetonschale infolge Eigengewichts

Verformung der Carbonbetonschale infolge Vorspannung  
Grafiken: Helmut Seidel

**Pauline Voigt**

**Ertüchtigung eines Stahlbetonskelettbaus im Rahmen einer Umnutzung**  
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Karl,  
Dipl.-Ing. Torsten Böhme  
(IAK Tragwerksplanung GbR, Dresden),  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde die Ertüchtigung eines ehemaligen Bürogebäudes der Stahlbetonskelettbauerie SKBS 75 zu einem Mietlagerhaus untersucht. Das Gebäude wurde 1988 bis 1990 nach einem Montagekatalog für Mehrzweckgebäude aus Fertigteilen des VEB Leichtbaukombinats der DDR errichtet. Da keine Planungsunterlagen oder statischen Dokumente für das Bauwerk vorhanden sind, wurden umfangreiche Bestandsanalysen zur Gebäudeausführung durchgeführt und mithilfe der vorhandenen Katalogwerke zur verwendeten Bauserie ausgewertet. Das Gebäude besteht aus einer Stützen-Riegelkonstruktion mit einfeldrigen, auskragenden Deckenplatten sowie angehäng-

ten Fassadenplatten. Durch die geplante starke Erhöhung der Nutzlasten ist die Tragfähigkeit einiger Bauteile nicht ausreichend.

Die Diplomarbeit konzentriert sich auf die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit von Verstärkungsmaßnahmen für die vorhandenen Hohldeckenplatten aus Stahl- und Spannbeton. Dazu wurden Verstärkungsvarianten mit Carbonbeton, aufgeklebten CFK-LamelLEN und eines Altbeton-Neubeton-Verbundes verglichen. Zusätzlich wurde die Aussteifung des Bestandssystems untersucht und für die geplante Ausführung verbessert. Abschließend wurde die aus der Untersuchung hervorgehende wirtschaftlichste Lösungsvariante ermittelt und eine mögliche Ausführungsvariante vorgegeben. Neben der Verstärkung der Biegezugtragfähigkeit wird auch die Querkrafttragfähigkeit untersucht, welche durch anteiliges Verfüllen der Plattenhohlräume verbessert werden soll. Für die weiteren zu ertüchtigenden Bauteile (Riegel, Stützen, Fundamente) wird ein Ausblick auf Verstärkungsmöglichkeiten mit ihren Vor- und Nachteilen sowie weitere notwendige Untersuchungsmaßnahmen gegeben.



Visualisierung des geplanten Umbaus  
Grafik: Pauline Voigt

Liste aller weiteren Arbeiten

Name Student*in	Betreuer*in	Titel Diplomarbeit
Davoud Akbari	Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Ronald Stein, Dipl.-Ing. Peter Gauthier (beide GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Einsatz von UHPC zur Verstärkung der orthotropen Fahrbahnplatten
Haoyang Bai	Dipl.-Ing. Michael Frenzel	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Untersuchung von leichten, effizient tragenden Betonfertigteildecken
Julia Fuchs	Dipl.-Ing. Daniel Karl	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe Vergleichende Untersuchungen von Mauerwerk verschiedenen Materials mit besonderer Betrachtung der Vorgaben aus DIN EN 1996
Christin Huff	Dipl.-Ing. Jakob Bochmann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Textilbeton im einaxialen Druckversuch – Durchführung und Auswertung von Versuchen an textilbewehrten Proben
Stefan Jürgensen	Dipl.-Ing. Michael Frenzel, Dr.-Ing. Alexander Hückler (TU Berlin)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Theoretische Untersuchungen zur Rissbildung von Bauteilen aus Infralichtbeton bei Schwindbeanspruchung
Hang Lan	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Numerische Untersuchung des Verbundverhaltens von Carbonstäben
Johann Lang	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Ronald Stein (GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Vergleichende Untersuchungen zur rechnerischen Bewertung von Stahl- und Spannbetonbrücken gemäß Nachrechnungsrichtlinie am Beispiel einer VFT-Brücke
Oliver Mosig	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Untersuchung verbundlos vorgespannter Deckensysteme mit Carbonzuggliedern
Franziska Richter	Dipl.-Ing. Sebastian May	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Variantenuntersuchung für den Ersatzneubau der Eisenbahnüberführung „Elsterflutbrücke“
Michael Scheerschmidt	Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe Entwurf eines leichten und transportablen Tragwerks aus Textilbeton
Benjamin Schrapf	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Egbert Müller	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Konstruktionsvarianten von Deckenelementen im Carbonbeton

## MASTER'S THESIS 2016/17

**Lorena Matildes Assunção da Silveira**

**Design philosophy study on CFRP RC structures**  
(Master's thesis)

Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,  
Dr.-Ing. Frank Jesse  
(Hentschke Bau GmbH, Bautzen),  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The main purpose of this thesis was comparing the different design philosophies given by the European and the American code for prestressed and non-prestressed reinforced concrete members, as well as analyzing a solution that is both safe and economically feasible. Since one of the major problems in civil engineering infrastructures is corrosion, a study was conducted to examine the viability of replacing the material used as reinforcement and for prestress. The steel which is usually used shall

be replaced by FRP, particularly CFRP. However, since carbon presents a brittle behaviour, a new design methodology suggested by fib and by the Canadian code is presented so that the failure is not due to the reinforcement but due to the concrete, which, although it is not a ductile material, presents more ductility than CFRP material.

The design according to the European code has proved to result in structures that require less reinforcement than those required by a design according to ACI and the Canadian code. As for the bonded and unbonded prestressing systems, the results show that unbonded tendons are only an economic solution when the concrete members are subjected to high moments. It is also observed that the initial force applied on the prestress, has a direct impact on the amount of mild reinforcement that shall be provided. The amount of reinforcement exponentially increases when the initial prestress force of the prestress increases.

**Samuel Oma Bedase**

**Investigation of geometrical sensitivities of a textile reinforced concrete structure**  
(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

The main aim of this master's thesis is to investigate the influence of geometry on structural performance (mainly deformation behaviour) of a thin, slender shell ceiling structure made of textile reinforced concrete (TRC). The ceiling structure consists of three main parts: a web (vertical component), a shell (curved component), and a gusset, as the between both components. A finite element model (FEM) of the TRC shell structure is developed to carry out the geometric investigation.

**Ahmad Heseno**

**Load-bearing prefabricated reinforced concrete façade with thermally cut support of the floor slabs for the construction of a health insurance center**  
(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Matthias Quast,  
Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

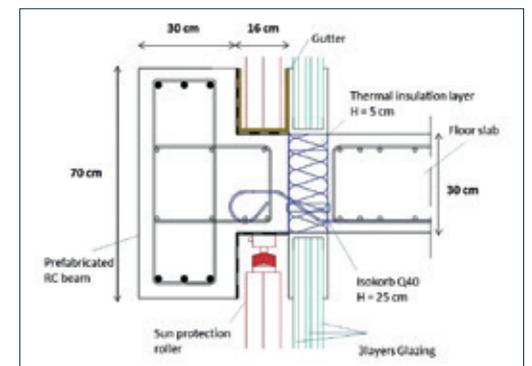
A building façade is an interface between the inside area of a building, and outside surface exposed to the environment. From that perspective, it fulfills not only a structural function as a load bearing element, but it also complies with the building physics requirements to provide the desired energy requirements of the building envelope. For this purpose, high-quality façades made of prefabricated concrete parts are a high design quality and numerous possibilities for design.

The consulting engineering company Ascherl Bauingenieure GmbH is planning and designing a new health insurance centre including the design of the façade. Within the scope of this master's thesis, the constructive design of the façade elements as load-bearing finished parts were examined as an alternative and

The geometric sizes of the main parts of the structure are varied and analyzed to determine the geometric sensitivity of the shell.

An FE simulation model that mimics a six-point test on the TRC shell ceiling structure is developed. Though TRC composite structures have multi-layer characteristics, a single layer assumption is used to develop the FEM of the ceiling structure for simplicity. A bi-linear elastic plastic material model is used to represent the composite material properties of the thin TRC ceiling structure. Simplified boundary conditions and loadings are applied. A verification of the model results, using the experimental values, shows that the model predicted the experimental result with an error of less than 1% for most parts. The failure load could not be predicted by the model analysis.

innovative type of construction. The façade elements were thermally separated from the rear structure, and floor slab supports. Within the scope of this work, element sets were produced along with the corresponding constructive details for all the design (architecture), technical (statics and building physics) as well as implementation (production and transportation of the prefabricated elements and assembly on the construction site). The conceptual design for the façade elements took into consideration the stated criteria and preliminary static calculations. Stability checks were conducted for the maximum load-bearing façade elements at the lower levels of the four-storey building



FEM model of a bridge element | Graphic: Ahmad Heseno

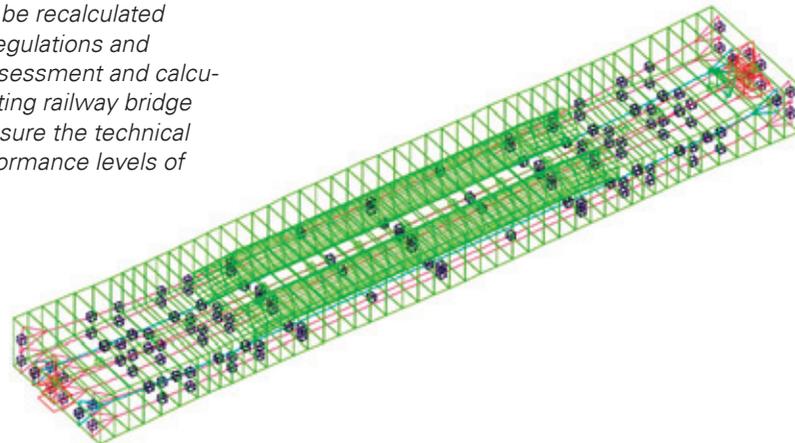
**Mircea Olaru**

**EÜ railway flyover crossing at km 0.438 DEK (Route 6251), recalculation according to guidelines RiL 805**

(Master's thesis)

Supervisors: Dipl.-Ing. Markus Reypka (GRE – Gauff Rail Engineering GmbH & Co. KG, Dresden), Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

The bridge investigated in this study is part of the flying junction located at the km +0.438 of the railway line 6251 Leipzig–Dresden. The entire route 6251 is undergoing a massive upgrading process which will allow the railway line to operate at a speed of 200 km/h for over most of its length. As part of the rehabilitation process the bridge has to be recalculated according to the current regulations and guidelines of RiL 805 "Assessment and calculation approaches for existing railway bridge structures" and also to ensure the technical specification and the performance levels of



FEM model of a bridge element  
Graphic: Mircea Olaru

the technical specifications for interoperability relating to the "Infrastructure" subsystem of the rail system in the European Union. The bridge was built in 1969, during the GDR time, replacing two other railway bridges running in parallel which date back to 1895. It consists of 27 prestressed concrete beams spanned between two outer reinforced concrete girders. The peripheral girders are lying partially on the consolidated abutments of the old bridges and partially on concrete columns. Two finite element models were created in the study, one to determine the overall behaviour of the superstructure and a second one to check the load bearing capacity of the most heavily loaded beam of the structure. The results of the analytical modelling showed that the beams use just half of the bearing capacity to carry the newly planned traffic loads.

**Ammar Siddig Ali Babiker**

**Concrete on mesoscopic scale**

(Master's thesis)

Supervisors: Tino Kühn M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

This study aims to investigate the prospect to use different numerical techniques to predict and understand the behaviour of the concrete and its heterogeneity on the mesoscopic scale level. Four different numerical methods have been analysed and compared, namely the finite element method (FEM), the cohesive element method (CEM), the smooth particle hydrodynamics method (SPH), and

the discrete element method (DEM). For the simulation techniques mentioned above, the continuous surface cap material model (CSCM) was employed, and for the DEM, a bonded discrete sphere element was used.

A sufficient number of uniaxial compression (UCT) and uniaxial tension tests (UTT) were performed with various loading, i.e., different strain-rate levels to investigate the stress-strain behaviour and damage process of the specimens under study. A nonlinear transient dynamic finite element commercial software LS-DYNA® was used to develop and validate each of the respective 12 UCT and UTT models, and the numerically obtained results were compared to experimental results done

in the previous study by a research group of the Institute of Concrete Structures of the TU Dresden in 2005.

A comparison between the axial stress-strain relationships was performed, and the damage patterns, as well as the strain-rate dependency, were analysed to draw a clear image of the different simulation techniques. The work includes a literature review of the state-of-

**Fakrhizal Adiwena Masduki**

**Interaction between cement matrix and water-filled pore**

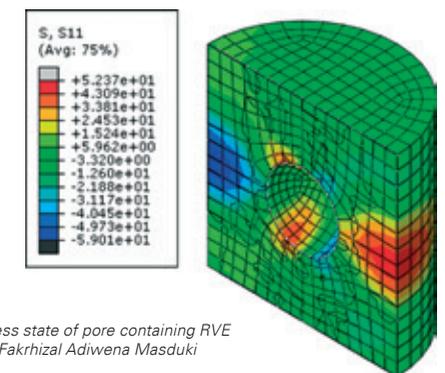
(Master's thesis)

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

The interaction between matter is often encountered in areas of research and applications in civil engineering. Either a fluid flowing inside a pipe, an airplane design, or the modelling of the interaction between cement matrix and water inside its pores are examples of the interaction observed between fluids and solids. The Coupled Eulerian-Lagrangian (CEL) method is implemented in this research to model the interaction between cement matrix and the water-filled pores. The effect of the water content inside the pore on the stress and strain behaviour of the matrix is simulated. The results show that the water content indeed has a significant influence on the concrete's stress-strain behaviour. As the water content varies, the pressure induced by water is changing. From the results of this

the-art on concrete on the mesoscopic scale, its heterogeneity and influencing parameters on the overall behaviour of the concrete. Of particular interest are the numerical modelling, theory, and method used, as well as the constitutive material laws. Results obtained from the different numerical simulation techniques were validated against the experimental results.

study, it can be said that as the water content inside the pore increases, the resulting concrete stress and strain decrease. Lastly, a simple algorithm was implemented to solve the Navier-Stokes equation using the Pressure Poisson Equation (PPE). Two different methods are used to discretize the convective term in the Navier-Stokes equation, which is the Backward resp. the Forward Difference Schemes (BDS resp. FDS). The BDS method produced a slightly lower error than that of the FDS method. However, the FDS method reached the desired error value faster than the BDS method.



Main stress state of pore containing RVE  
Graphic: Fakrhizal Adiwena Masduki

**List of all other Master's Thesis**

Name of the student	Supervisors	Title of the Master's Thesis
Dhruv Bhowmick	Tino Kühn M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Mesoscopic Modelling of Concrete Behavior
Vinod Kumar Manjunath	Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Design, calculation and constructive detailing of a deep-sea structure
Ali Ahmad Shahrour	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Calculation model, code comparison and constructability recommendations for back propping and re-propping slab formwork methods
Rawan Azersksh	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dr.-Ing. habil. Regine Ortlepp (IÖR, Dresden), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Comparative design, dimensioning and bill of materials of a residential building in Kazakhstan and Germany



Exkursionsteilnehmer 2017 vor der Öresundquerung | Foto: Oliver Steinbock

## BRÜCKENEXKURSION 2017 – BRÜCKENVIELFALT RUND UM DIE OSTSEE

Die diesjährige Brückenexkursion führte in Richtung Norden. Am Konzept, die Fahrt mit Kleinbussen anzutreten und kostengünstig auf Campingplätzen zu zelten, wurde festgehalten. Wie im Jahr zuvor war die Exkursion mit 25 Teilnehmern ausgebucht. Die mitreisenden Studentinnen und Studenten brachten sich sowohl bei der Programmgestaltung als auch bei der Durchführung der Exkursion aktiv ein.

Start war am Donnerstag, den 10.8.2017, unmittelbar im Anschluss an die Prüfungs-

phase des Sommersemesters. Das erste Ziel war Berlin, wo zunächst die Anschlussstelle Sonnenallee des Autobahnringes BAB A100 besichtigt und der Ausbau in offener Tunnelbauweise gezeigt wurde. Anschließend steuerten wir die Baumaßnahme zur S-Bahn-Strecke S21 am Berliner Hauptbahnhof an. Zudem besichtigten wir die Bahnhofshalle sowie die Humboldthafenbrücke. Am Abend bezogen wir den ersten Campingplatz nördlich von Berlin, um von dort aus zum Ersatzneubau der Brücke am Petersdorfer See am nächsten Morgen zu

gelangen. Am Nachmittag besichtigten wir die Rügenbrücke an der Ostseeküste. Nach einer Nacht auf Rügen nahmen wir die Fußgängerbrücke im Stadthafen von Sassnitz „unter die Lupe“, ehe wir am Samstagnachmittag mit der Fähre nach Trelleborg in Südschweden umsetzten. Nach dieser ersten Etappe erkundeten wir am Sonntagnachmittag die südschwedische Stadt Malmö. Am Montagmorgen ging es dann ausgeruht mit der zweiten Etappe und straffem Programm weiter. Zunächst besuchten wir die Öresundbrücke, ein für die Studierenden beeindruckendes Erlebnis, um am Nachmittag die Ausführungen zum Ausbau der Metro im dänischen Kopenhagen zu erleben. Erneut konnten wir die Schnittstellen zwischen Spezialtiefbau und Brückenbau kennenlernen. Der abendliche Stadtrundgang durch Kopenhagen führte uns u. a. zu beweglichen Brücken wie z. B. zur Butterfly-Bridge. Am Dienstag durchquerten wir Dänemark, wobei die Brücken am Großen und Kleinen Belt im Programm der Exkursion nicht fehlen durften. Spannweiten von über 1600 m sind sowohl für die Studentinnen und Studenten als auch für die Betreuer kein alltägliches Erlebnis.

Die besondere stählerne Konstruktion der Rendsburger Hochbrücke bestaunten wir bei einer Führung, nachdem wir zuvor im Rahmen eines studentischen Vortrages über die Defizite der Rader Hochbrücke (BAB A7) informiert worden waren. Die regnerische Nacht verbrachten wir in Schleswig-Holstein, um am nächsten Vormittag in Hamburg die Baumaßnahmen rund um die BAB A7 zu besichtigen. Neben dem Stelling-Deckel, einer untertunnelten Passage der BAB A7, besuchten wir auch die Brückenbaustelle zur neuen Langenfelder Brücke. Die Informationen zum Abbruch und Neubau des Stahlverbundüberbaus stießen bei den Studierenden auf großes Interesse. Auch das anschließende Abendprogramm in der Hamburger Innenstadt mit Brauereiführung gefiel allen. Nach mittlerweile einer Woche war der Wissensdrang der Teilnehmer weiterhin ungebrochen, standen doch mit der Hubbrücke Kattwyk und der Klappbrücke zwei außergewöhnlich große bewegliche Brücken auf dem Programm. Den Abschluss bildete die Besichtigung des Autobahnausbaus der BAB A14 nahe Güstrow. Neben einem semi-integralen Stahlverbundtragwerk konnten wir eine



Rettungsstation in Binz, die 1968 von Ulrich Müther errichtet und 2004 saniert wurde | Foto: Oliver Steinbock

Wildbrücke in Massivbauweise in Augenschein nehmen. Am Freitag, dem 18.8.2017, erreichten wir gegen Abend wieder Dresden.

Das durchweg positive Feedback seitens der Studentinnen und Studenten freute uns sehr. Besonderer Dank gilt unseren Ansprechpersonen vor Ort, die sich viel Zeit für die Führungen und Fragen genommen haben, und unseren finanziellen Unterstützern. Wir würden uns freuen, auch im kommenden Jahr wieder eine Brückenexkursion durchführen zu können und den Studierenden somit ein einmaliges Erlebnis während ihrer Studienzeit zu bereiten.

Oliver Steinbock und Sebastian May



Studentischer Vortrag an der Rader Hochbrücke | Foto: Oliver Steinbock



Tom Zimmermann bei der Messung der Ultraschalllaufzeit | Foto: Kerstin Speck

## SCHÜLERPRAKTIKUM MANOS 2017

Wintersemester 2016/17

### Carbonbeton – Der Baustoff der Zukunft

Betreuer:  
Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm,  
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,  
Dipl.-Ing. Robert Zobel

Das Thema Carbonbeton ist Schwerpunkt am Institut für Massivbau. Um den Baustoff und seine Eigenschaften kennenzulernen, waren im Rahmen des Schülerpraktikums der MANOS drei Schüler der 8. Klasse im Februar 2017 zu Gast. Ziel war es, sich für eine Woche intensiv mit dem Baustoff am Institut zu beschäftigen. Dabei wurden Probekörper zunächst eigenhändig hergestellt, danach die Tragfähigkeit im Labor bestimmt und anschließend am Computer numerisch simuliert. Die Versuche wurden ausgewertet, die Ergebnisse miteinander verglichen und schließlich anschaulich für einen Vortrag vor den Klassenkameraden aufgearbeitet und präsentiert.



Herstellung von Probekörpern | Foto: Sebastian Wilhelm

## WISSENSCHAFTLICHE PROJEKTARBEIT MANOS

Schuljahr 2016/17

**Mädchen oder Junge?** Diese Frage wurde Tom Zimmermann oft gestellt, als der Schüler des Martin-Anderson-Nexo-Gymnasiums die Ultraschall-Messsensoren an die Betonprobekörper anhielt. Der Schüler der 11. Klasse untersuchte im Rahmen seiner wissenschaftlichen Projektarbeit, inwieweit sich Änderungen im Betongefüge auf die Laufzeit von Ultraschallwellen durch den Probekörper auswirken. Im ersten Schulhalbjahr machte er sich mit dem Messverfahren und den Eigenheiten von Beton vertraut. So entstand ein Versuchsprogramm, welches in der Projektwoche nach den Winterferien umgesetzt wurde. Zum einen stellte er Probekörper her, denen er bei der Hydratation unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen „zuschaut“. So traten deutliche Unterschiede in der Ultraschallgeschwindigkeit auf, je nachdem, ob der Beton viel Wasser im Wasserbad, ausreichend in der Klimakammer oder wenig in der Versuchshalle für die Hydratation zur Verfügung hatte. Ob von der gemessenen Ultraschallgeschwindigkeit zuverlässige Rückschlüsse auf das Gefüge und damit die Festigkeit gezogen werden können, wurde in einer anschließenden Druckprüfung überprüft.

Aber nicht nur die Hydratation, sondern auch Belastungen ändern das Betongefüge. In einer zweiten Versuchsserie wurde deshalb die Ultraschallgeschwindigkeit nach vorangegangener Druckbelastung bestimmt. Normalbeton zeigte dabei erwartungsgemäß und trotzdem in ihrer Klarheit überraschend deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Lastniveaus und den verschiedenen Messstellen, die parallel oder quer zur Belastungsrichtung lagen. UHPC und ein hochfester Leichtbeton zeigten zum Leidwesen des Schülers keine signifikanten Änderungen bis kurz vor dem Bruch. Umso beeindruckender war dann das logischerweise folgende explosionsartige Versagen dieser beiden Betone.

Im zweiten Schulhalbjahr galt es, die gewonnenen Erkenntnisse zu dokumentieren und vor den Mitschülern und Lehrern zu verteidigen. Dabei arbeitete Tom Zimmermann wertvolle Hinweise für die Handhabung des Ultraschallmessgerätes und viele Anregungen für einen effektiven Einsatz der Ultraschalllaufzeitmessung bei zukünftigen Versuchen heraus.



# OTTO-MOHR- LABORATORIUM

*OTTO MOHR  
LABORATORY*





Test einer carbonbewehrten Pi-Platte | Test of carbon reinforced Pi slab | Photo: Sven Hofmann

## 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 für öffentliche und

*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.*

private Bauherrn, Ingenieure und Architekten, Behörden, Verbände sowie für das Baugewerbe und die Bauindustrie zurückgreifen.

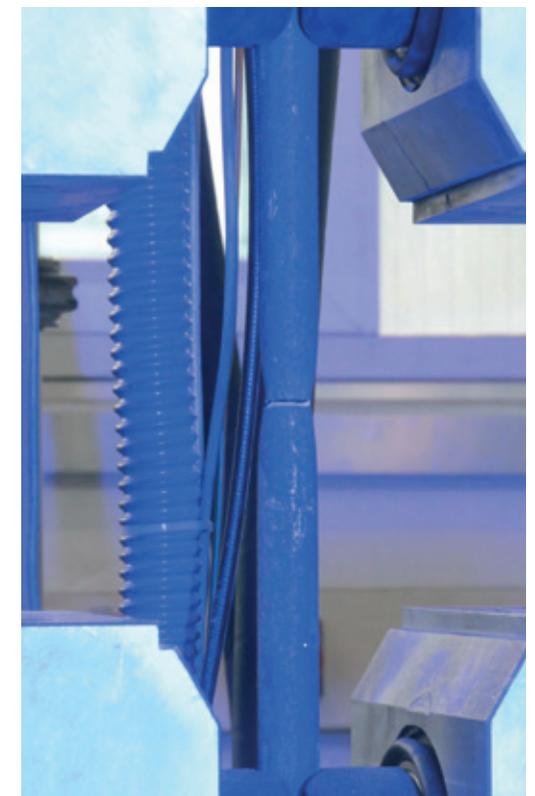
Neben üblichen Prüfungen, wie z. B. statische Druck- und Zugversuche an Kleinproben, oder Tests an großen Bauteilen ist das Otto-Mohr-Laboratorium in der Lage, auch ungewöhnliche oder neuartige Prüfbereiche des Bauwesens abzudecken. An dieser Stelle seien beispielhaft die Untersuchung von Baustoffen 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 Spannungsrisskorrosion eine immer größere Rolle spielen.

*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



Beschleunigungssensor zur Bestimmung der Eigenfrequenz eines metallischen Zugstabs | Acceleration sensor for determining the natural frequency of a metallic tension rod | Photo: Sabine Wellner



# 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 (examples)

- 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 (examples)

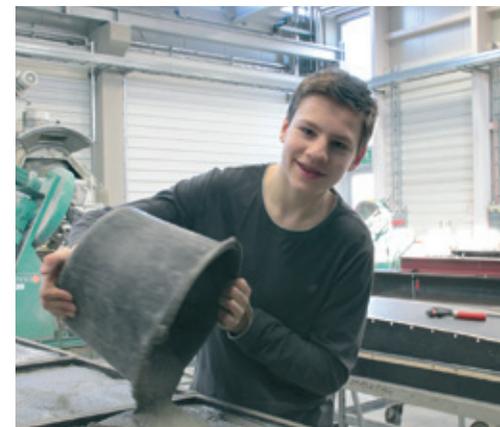
- Tests bei statischer und dynamischer Belastung | *Static and dynamic load tests*
- Ein- und mehraxiale Druck- und Zugfestigkeit  
*Uni- and multiaxial compression and tensile strength tests*
- Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl | *Determination of modulus of elasticity and Poisson's ratio*
- Bruchmechanische 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 2017, 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

# 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.*

*At the moment, we have a 126 m<sup>2</sup> strong floor with anchor points, a large number of testing machines and equipment, several cylinder testing machines for specimens with different geometry and with capacities ranging from 10 kN up to 10 MN, and 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 instruments and 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: 6.000 kN Druck, 1 MN Zug | variable Prüfraumhöhen bis max. 4,0 m lichte Einbauhöhe

### Testing machines and devices for standard static tests

- *Various testing machines for compression, tensile and bending tests | maximum loads: 6,000 kN pressure, 1 MN tension | variable clearance heights up to 4 m*

### Prüfmaschinen für statische und dynamische Zug-, Druck- und Biegeprüfungen

- Prüfzylinderanlage mit 1.000 kN maximale Lasthöhe
- Pulsatoranlage mit bis zu 6 Hz Lastwechselfrequenz
- Hydropulsprüfmaschine mit zwei Belastungsrahmen; Rahmen 1: statische Maximallast: 1.000 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 for standard static and dynamic tension, compression, and bending tests

- *Servo-hydraulic test bench with a maximum load of 1,000 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: 1,000 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*

Die Prüfhalle des Otto-Mohr-Laboratoriums | The test hall of the Otto Mohr Laboratory | Photo: Thomas Häntzschel



### Spezielle Prüfmaschinen

- Triaxial-Prüfmaschine: Lasten bis 500 kN Zug oder 5.000 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 2.500 kg, Beschleunigung bis 15 m/s | Beschleunigungssystem: maximales Fallgewicht 160 kg, Beschleunigung bis 160 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 5,000 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 2,500 kg, max. acceleration: 15 m/s | with acceleration system: maximum drop weight 160 kg and acceleration up to 160 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 10.000 kN
- Übliche Messmittel | Faser-Bragg-Gitter | Beschleunigungsaufnehmer, dynamische Kraftsensoren, Extensometer | Thermolemente und Feuchtesensoren (Luftfeuchte) und Anemometer | Seilzugsensoren | Laservibrometer | Datenlogger
- Geräte für Vermessungsarbeiten inkl. Neigungssensor und Inclinometer | mechanische Längenmessgeräte etc.

### Sonstige Ausrüstung

- Brückenkrane in den Laborgebäuden | Gabelstapler (Tragkraft: 3 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 | Sandstrahl-aggregat

### 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 10,000 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 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 autogenous) | mobile oil pressure aggregates | sandblasting unit*



Die neue 2500-kN-Universalprüfmaschine | The new 2500 kN universal testing machine



Verfahrbares oberes Querhaupt | Mobile upper crosshead

Bedienpult | Control panel | Photos: Thomas Häntzschel

# UNIVERSALPRÜFMASCHINE 2500 KN STATISCH / 500 KN DYNAMISCH

## UNIVERSAL TESTING MACHINE 2500 KN STATIC / 500 KN DYNAMIC

Seit Oktober 2017 gehört eine 4-Säulen-Universalprüfmaschine mit einer Prüfkraft von bis zu 2500 kN im statischen und 500 kN im dynamischen Zug- und Druckbereich zur Ausstattung des Otto-Mohr-Laboratoriums. Die Maschine ist eine Sonderanfertigung. Sie ist besonders für dynamische Langzeit- / Dauerversuche bis zu 25 Hz geeignet. Die maximale freie Prüflänge beträgt 3100 mm. Damit erreicht die Maschine eine Gesamthöhe von über 6 m.

Since October 2017, a four-column universal testing machine with a tensile and pressure range with a maximum static load of 2500 kN and a maximum dynamic of 500 kN is now part of the equipment of the Otto-Mohr-Laboratory. The machine is a custom product. It is suitable for dynamic long-term / endurance tests up to 25 Hz. The maximum free test length is 3100 mm. Thus, the machine reaches a total height of over 6 m. Flat and round samples can

Flach- und Rundproben können durch hydraulische Spannbacken einfach fixiert werden. Dabei können die Proben mit einem möglichen Probenüberstand von je 500 mm ober- bzw. unterhalb der Spannbacken in die Maschine eingebaut werden. Zur Aufbringung der statischen Lasten wird das Querhaupt elektromechanisch über zwei Kugelumlaufspindeln angehoben bzw. abgesenkt. Die dynamischen Kräfte werden über einen Gleichlaufzylinder, welcher sich auf dem Querhaupt befindet, aufgebracht und vom bestehenden Zentralhydraulikaggregat mit Öl versorgt. Die maximale Amplitude im dynamischen Prüfbereich ist abhängig von der Prüffrequenz. So können z. B. Proben bei einer Frequenz von 10 Hz bei einer Amplitude von 7,5 mm geprüft werden.

Die Maschine soll zur Bewältigung der zahlreichen Prüfaufgaben im Forschungsvorhaben C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite eingesetzt werden, u. a. zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit von Carbonstäben bzw. Carbonspanngliedern bei statischer und dynamischer Beanspruchung. Durch den universellen Aufbau sind natürlich auch Prüfungen an anderen Materialien durchführbar.

Die Maschinensteuerung ermöglicht die Kraft-, Weg- oder Dehnungsregelung und ist frei programmierbar. Sie beinhaltet vorprogrammierte Prüfprogramme für Spanngliedprüfungen nach ETAG 013, Stahlzugprüfungen nach EN ISO 6892-1 sowie für die Druckprüfung an Baustoffen nach EN 12390-3. Die Datenerfassung sämtlicher Messsignale erfolgt synchron mit einer maximalen Samplingrate von 14,4 kHz.

be easily fixed by hydraulic clamping. The samples can be installed with a possible free sample length of 500 mm above or below the clamping in the machine. To apply the static loads, the crosshead is raised or lowered electromechanically with two ballscrews. The dynamic forces are applied via synchronised cylinders located on the crosshead, and supplied with oil from the existing central hydraulic unit. The maximum amplitude in the dynamic test range depends on the test frequency; for example, samples can be tested with a frequency of 10 Hz and an amplitude of 7.5 mm.

The machine will be used to handle the numerous tests in the research project C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite, e.g. to determine the tensile strength of rods or tendons made of carbon fibres under static and dynamic loads. Due to the universal construction of the machine also tests on other materials are feasible.

The machine control enables a force, distance or strain control and is freely programmable. It contains pre-programmed test programs for tendon tension tests according to ETAG 013, steel tensile tests according to EN ISO 6892-1 and pressure tests of building materials according to EN 12390-3. The data collection of all measurement signals is done synchronous with a maximum sampling rate of 14.4 kHz.

### Technische Informationen | Technical information

Maximale statische Prüfkraft   Maximum static test load	2500 kN
Maximale dynamische Prüfkraft   Maximum dynamic test load	500 kN
Maximaler Kolbenweg   Maximum piston travel	50 mm
Maximale Prüffrequenz (Auswahl)   Possible test frequencies (selection)	25 Hz (Amplitude 3,0 mm) 10 Hz (Amplitude 7,5 mm) 3 Hz (Amplitude 25 mm)
Prüfraumbreite   Work space width	1300 mm
Prüfraumhöhe   Work space clearance	0–3000 mm
Einspannlänge   Clamping length	300 mm (unten und oben   below and above)
Mögliche einspannbare Prüfkörperlänge   Possible clampable test specimen length (bei Einschränkung der Prüfkörperbreite auch länger   with restriction of the test piece width also longer)	3600 mm
Vorhandene Druckplatten   Existing pressure plates	500 mm x 500 mm



Belastungseinrichtung zur Prüfung eines Unterzugs  
Loading device for testing a beam  
Photo: Sabine Wellner



Der Beyer-Bau ist ein Wahrzeichen der TU Dresden  
Beyer-Bau is a landmark of the TU Dresden  
Photo: Silke Scheerer

## TRAGWERKSUNTERSUCHUNGEN IM BEYER-BAU

### THE 'BEYER-BAU' IN THE TEST

In der Zeit um 1900 waren die Studierendenzahlen in Dresden so angestiegen, dass der Campus der damaligen Technischen Hochschule ein neues Domizil brauchte. Stadt und Staat stellten daraufhin das Areal, auf dem sich heute der Hauptcampus der TU Dresden befindet, als Baugelände zur Verfügung. Damals wurde auch das heute Beyer-Bau genannte Gebäude am Fritz-Förster-Platz als eines der ersten in Dresden in Eisenbetonbauweise geplant und gebaut. Bis heute gestaltbestimmend ist vor allem der 40 Meter hohe Turm des Observatoriums des Geodätischen Instituts. Mittlerweile ist der Beyer-Bau in die Jahre gekommen. Im August 2016 mussten alle Nutzer ausziehen, damit eine umfassende Sanierung stattfinden kann.

*In the early 1900's, the number of students in Dresden had risen so much that the campus of the former 'Technische Hochschule' had to be expanded. As a result, the area on which the main campus of the TU Dresden is located today was made available as a construction site. At that time, the building named today 'Beyer-Bau' was planned and built on the Fritz-Förster-Platz. It was one of the first structures that were made of ferroconcrete in Dresden. The outer shape of the building is dominated by the 40-meter high tower of the observatory of the Geodetic Institute. In the meantime, the Beyer-Bau has gotten old. In August 2016, the building was vacated, so that a comprehensive renovation could take place.*

Im Dezember 2016 fand eine erste orientierende Stahlnahme in einem Unterzug über dem Erdgeschoss statt. Entnommen wurde einer von vier Stäben der Biegezugbewehrung. Es handelte sich um einen glatten Rundstahl mit einem Durchmesser von ca. 30 mm. Im Otto-Mohr-Laboratorium wurden zwei zentrische Zugversuche an dem in zwei Hälften geteilten Bewehrungsstab durchgeführt. Die Verformungsmessung erfolgte mit einem digitalen optischen Messsystem. Die nahezu identischen Arbeitslinien zeigten einen typischen Verlauf für Bewehrungsstähle. Bei 356 N/mm<sup>2</sup> wurde die Streckgrenze erreicht. Dieser Wert liegt deutlich über der charakteristischen Streckgrenze, die für Rundstähle aus jener Zeit angesetzt werden darf. Ab 1,5 % Dehnung begann der Stahl, sich deutlich zu verfestigen. Die Maximalspannung betrug 565 N/mm<sup>2</sup>, die zugehörige Dehnung 16,6 %. Bei 30,5 % Dehnung versagte das Material bei einer Spannung von 453 N/mm<sup>2</sup>. Damit wurde in Punkto Festigkeit und Duktilität ein für die damalige Zeit sehr leistungsfähiger Stahl verwendet, der nicht weit von den heutigen Anforderungen entfernt ist.

Des Weiteren wurden 2017 zwei Belastungstests an jeweils einem Unterzug über dem ersten und dem zweiten Obergeschoss durchgeführt. Bei beiden Unterzügen wurden die Prüfziellasten bei allen Lastfällen ohne Probleme und ohne Beeinträchtigung des Tragwerkes erreicht. Es stellten sich lediglich erwartungsgemäß Risse ein, jedoch in geringem Umfang. Die nach Entlastung verbleibenden Rissbreiten liegen im Zehntelmillimeterbereich. Beschädigungen oder optische Veränderungen der Unterzüge selbst oder der angrenzenden Bauteile wurden nicht beobachtet. Aktuell finden von Seiten des OML Arbeiten zur Bewehrungsortung an mehreren Unterzügen im Gebäude statt.

*In December 2016, the first material samples were obtained. In one of the beams above the ground floor, one of four bars of the flexural tensile reinforcement was removed. It was a round steel bar with a diameter of about 30 mm, without ribs on the surface, as it was usual 100 years ago. At the beginning of 2017, two axial tensile tests were carried out on the two halves of the rebar, using a digital optical measuring system for deformation measurement. Both working lines were almost identical. At 356 N/mm<sup>2</sup>, the yield strength was reached. This value is significantly above the characteristic yield strength that was used for round steel bars at the time. From a 1.5% elongation, a significant hardening of the steel was observed. The maximum stress was 565 N/mm<sup>2</sup>; the associated elongation 16.6%. At 30.5% elongation, the material failed at a tension of 453 N/mm<sup>2</sup>. Thus, regarding strength and ductility, the material is not far from today's requirements.*

*Also, in 2017, two in situ load tests were carried out in two T-beams above the first and second floors. In both tests, the target loads were achieved in all load cases without any problems. Only a few cracks were noticeable, and they occurred as expected. After removal of the load, the remaining crack widths were in the tenth of a millimetre range. Damage or visual changes to the beams themselves or of the adjacent components were not observed. Currently, non-destructive testing is underway to locate the reinforcement at several joists in the building.*

- ▶ **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,  
Dr.-Ing. Silke Scheerer
- ▶ **Versuchsdurchführung | Test execution**  
Dipl.-Ing. Oliver Mosig, Maik Patricny, Andreas Thieme,  
Heiko Wachtel, Bernd Wehner, Michael Liebe



Ulrich Müthers Hyparschale Magdeburg | Ulrich Müther's hypar shell in Magdeburg, built by | Photo: Heiko Wachtel

## MATERIALTEST BEI EINER HYPARSCHALE

### MATERIAL TEST AT A HYPAR SHELL

Die 'Hyparschale' ist eine Mehrzweckhalle im Magdeburger Stadtpark Rotehorn. Sie wurde 1969 nach Plänen von Ulrich Müther in Stahlbetonbauweise errichtet. Vier zusammengesetzte hyperbolische Paraboloiden überspannen eine Grundfläche von ca. 2300 m<sup>2</sup>. Damit handelt es sich um das größte Schalenbauwerk Müthers, was heute noch erhalten ist. Die denkmalgeschützte Hyparschale steht seit vielen Jahren leer und befindet sich in einem baulich schlechten Zustand.

Im Juni 2017 hatte der Magdeburger Stadtrat beschlossen, dass das Gebäude nun umfangreich saniert werden soll. Im Rahmen der Vorbereitung der Sanierung ist eine umfangreiche Bauwerkserkundung erforderlich. U. a. muss die vorhandene Vorspannkraft in den Fundamentbalken ermittelt werden, um das Tragverhalten besser beurteilen zu können. Insgesamt

*The 'Hyparschale' is a multi-purpose hall in the city park 'Rotehorn' in Magdeburg. It was built in 1969 according to plans by Ulrich Müther. The four connected hyperbolic paraboloid shells, made of reinforced concrete, cover a floor space of approximately 2300 m<sup>2</sup>. Therefore, it is the largest shell structure of Müther, which is still preserved today. The listed Hyparschale has been vacant for many years and is in a structurally poor condition today.*

*In June 2017, the Magdeburg City Council decided to extensively renovate the building. As part of the preparation of the renovation, a comprehensive building exploration is required. Among others, the existing pre-tension in the prestressed foundation beams must be determined to assess the load bearing behaviour of the structure reliably. In*

gibt es vier unterirdische vorgespannte Zugbänder. Diese sind diagonal angeordnet und nehmen einen Großteil des Horizontalschubs des Dachtragwerks aus den Schrägstützen an den äußeren Tiefpunkten der Hyperboloide auf. Sie sind somit essentiell für die Standsicherheit des Gebäudes. Das Otto-Mohr-Laboratorium wurde beauftragt, in einem der vorgespannten Fundamentbalken die tatsächlich vorhandene Vorspannkraft messtechnisch zu bestimmen. Dazu wurde ein Spannglied an einer Stelle eines Fundamentbalkens freigestemmt. Anschließend wurden das Hüllrohr aufgeschnitten, zwei Spannstähle aus St 140/160 freigelegt und je Spannstahl ein Dehnmessstreifen appliziert. Werden die Drähte anschließend durchtrennt (hier: mittels Winkelschleifer), kann aus der Rückverformung infolge des Entspannens der Spannstähle auf die zuvor vorhandene Vorspannkraft geschlossen werden. Die Dehnungsänderungen wurden digital aufgezeichnet. Die gewonnenen Werte werden nun vom Statikbüro für Berechnung und Modellierung verwendet.

Mit der Sanierung soll noch 2018 begonnen werden. Nach derzeitigem Stand könnte an Trägern und Stützen Carbonbeton als Verstärkungsmethode eingesetzt werden.

*total, there are four underground prestressed tiebacks which are arranged diagonally and take up a large part of the horizontal thrust of the roof structure from the inclined columns at the outer low points of the hyperboloid. They are therefore essential for the stability of the building. In 2017, the Otto Mohr Laboratory was asked to determine the actual prestressing force in one of the prestressed foundation beams. For this purpose, one tendon was uncovered at one point. After opening the cladding tube, two of the prestressing bars were exposed, and a strain gauge was applied to each of them. If the steels are severed (here: using angle grinders), it is possible to conclude from the subsequent relaxation in the prestressing steels, the approximate value of the existing prestressing force. The strain changes were recorded digitally. The obtained values are now used by the statics office for calculation and modelling.*

*The start of the renovation is scheduled in 2018. According to the current state, carbon reinforced concrete could be used as a strengthening method for beams or columns.*



Applizieren der Dehnmessstreifen | Application of strain gauges



Durchtrennen der Spannstähle | Cutting the prestressing steels



Applizierte Dehnmessstreifen | Strain gauge applied on a prestressing steel | Photos: Heiko Wachtel

- ▶ **Titel | Title**  
Untersuchung eines Zugbandes bei der Hyparschale in Magdeburg  
*Examination of a tieback at the hypar shell in Magdeburg*
- ▶ **Förderer | Funding**  
SGHG Ingenieurdiagnostik Bautechnik GmbH, Dresden
- ▶ **Zeitraum | Period**  
10.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Heiko Wachtel, Bernd Wehner



4-Punkt-Biegeversuch an textilbewehrtem Mauerwerk | 4-point bending test on textile reinforced masonry | Photo: Maik Erler

## TEXTILE BEWEHRUNG IN DER LAGERFUGE VON MAUERWERK

### TEXTILE REINFORCEMENT FOR MASONRY HORIZONTAL JOINTS

Der erfolgreiche Nachweis erddruckbelasteter Kellerwände aus Mauerwerk mit geringer Auflast gestaltet sich häufig schwierig. Anzutreffen ist dieser Sachverhalt oft bei Kelleraußenwänden unter Terrassentüren, Treppenabgängen, gemauerten Lichtschächten, etc., wo die theoretisch nötigen Auflasten fehlen. Dann ist es nicht möglich, die einwirkenden Biegekräfte aus Erddruck vertikal abzuleiten. In solchen Fällen muss die Kellerwand den Erddruck in horizontaler Richtung abtragen.

Da jedoch die Biegetragfähigkeit von unbewehrtem Mauerwerk parallel zur Lagerfuge sehr gering ist, besteht hier die Möglichkeit, die Lagerfuge mit textilen Gelegen aus Endlosfasern aus alkaliresistentem Glas, Carbon oder Basalt zu ertüchtigen. Mit einer entsprechend angepassten textilen Bewehrung in den Lagerfugen kann Mauerwerk bei horizontalem Lastabtrag auch unter geringer Auflast die Anforderungen an die Tragfähigkeit gegen Erddruck erfüllen. Textile Bewehrung weist gegenüber herkömmlicher

*To verify the load-bearing capacity of a masonry retention wall in a basement that is exposed to horizontal earth pressure is often difficult. This is the situation, e.g., in the exterior walls of basements, or under patio doors, staircases, etc., where the loads are applied only in one side of the structure. In such a case, it is not possible to vertically transfer the applied bending moments that result from earth pressure. In such cases, the basement wall must transfer the earth pressure in the horizontal direction.*

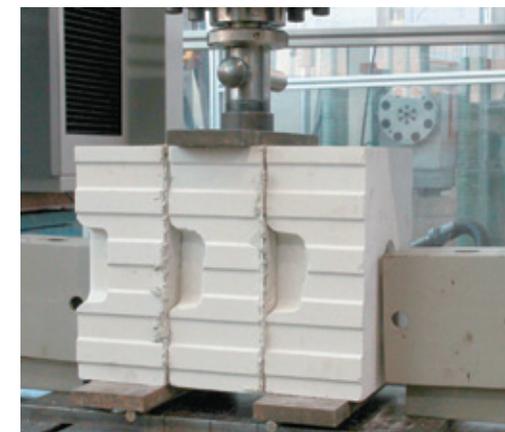
*However, since the bending capacity of unreinforced masonry parallel to the bed joint is very low, there is the possibility to strengthen the bearing joints with continuous layers of textiles made of alkali-resistant glass, carbon or basalt fibres. Textile reinforcement has the advantage of being resistant to corrosion. Also, textiles can also be used in thin bed joints.*

*The Department of Structural Design of the Faculty of Architecture at TU Dresden has*

Stahlbewehrung vor allem den Vorteil der Korrosionsbeständigkeit auf, außerdem können Textilien auch in Dünnbettlagerfugen eingebracht werden.

Der Lehrstuhl für Tragwerksplanung der Fakultät Architektur an der TU Dresden führt dahingehend umfangreiche numerische und experimentelle Studien durch. Es soll eine optimale Konfiguration aus Material und Textilform für den Einsatz als Lagerfugenbewehrung entwickelt werden. Dabei stehen Zugfestigkeit, Verbund und Dauerhaftigkeit des Verbundmaterials „Textilmörtel“ im Mittelpunkt der Untersuchungen. Zu Beginn der Forschung standen kleinere Versuche zur Biegetragfähigkeit des textilbewehrten Mauerwerkes am 4-Punkt-Biegebalken. Außerdem wurden Auszug- sowie Haftscherfestigkeitsversuche durchgeführt. Alle Versuche erfolgten an unterschiedlichen Kombinationen aus Stein, Mörtel und Textil. Es kamen Kalksandsteine, Porenbeton und Hochlochziegel sowie verschiedene Dünnbettmörtel und Textilien aus alkaliresistentem Glas und Carbon zum Einsatz. Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine, je nach Materialkombination, zehn- bis zwanzigfache Erhöhung der Biegetragfähigkeit im Vergleich zu unbewehrtem Mauerwerk. Die Lagerfuge wird dabei nicht geschwächt und weist weiterhin die volle Schubtragfähigkeit auf.

Aktuell werden Versuche am realitätsnahen Kellermauerwerk durchgeführt. Dafür wird eine 2,5 m x 6 m große textilbewehrte Mauerwerkswand mit geringer Auflast der Belastung von Erddruck ausgesetzt. Die Ergebnisse aus den Versuchen sind aktuell noch offen.

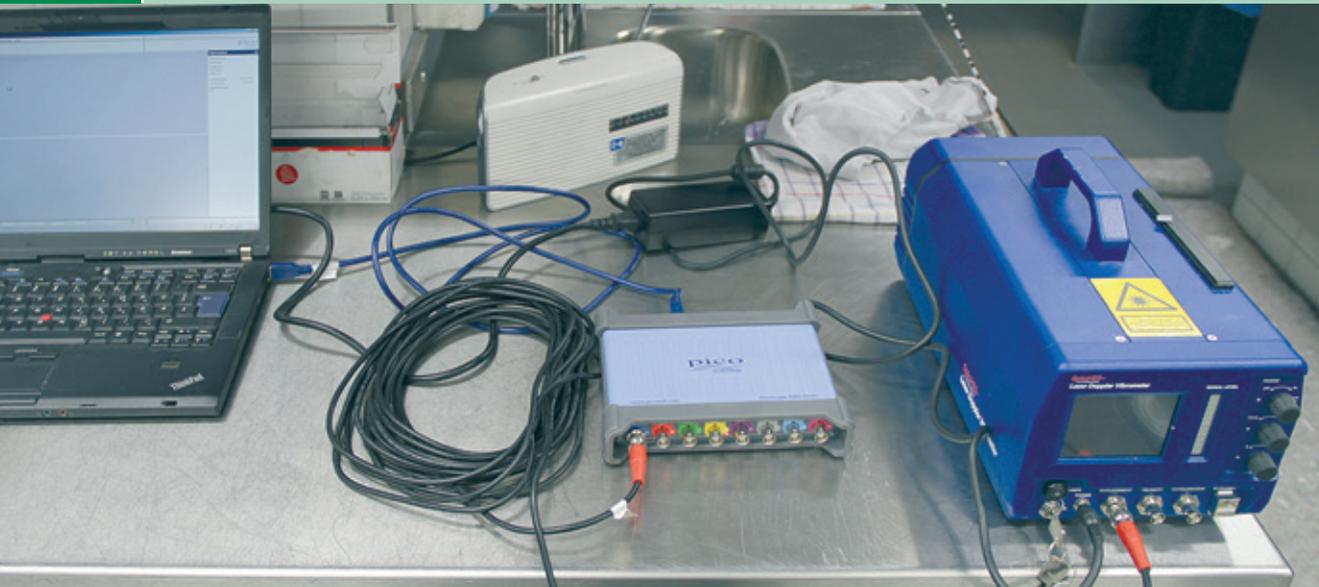


Haftscherfestigkeitsversuch mit textilbewehrter Lagerfuge  
Adhesive shear test with textile reinforced bearing joint  
Photo: Maik Erler

*carried out extensive numerical and experimental studies on this topic. The goal is to develop an optimal configuration of material and textile form for use as a bearing joint reinforcement. The focus is on the tensile strength, bond, and durability of the composite material "textile mortar". At the beginning of the project, there were 4-point bending tests on small beams to examine the bending resistance of textile reinforced masonry. In addition, pull-out and adhesion shear tests were carried out. All experiments were carried out on different combinations of stone, mortar, and textile. We used sand-lime bricks, aerated concrete and perforated bricks as well as various thin-bed mortars and textiles made of alkali-resistant glass and carbon. Depending on the material combination, the bending capacity was larger than ten to twenty times that of unreinforced masonry. The horizontal joints were not weakened. Furthermore, the full shear capacity was reached.*

*Currently, tests are being carried out on a real-scale basement masonry wall. For this purpose, a 2.5 m x 6 m textile reinforced masonry wall with low vertical ballast is subjected to earth pressure. The test results are still open.*

- ▶ **Titel | Title**  
Textile Bewehrung in der Lagerfuge von gemauerten Kellerwänden zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegen Erddruck  
*Textile reinforcement in the bearing joint of masonry cellar walls to increase the load bearing capacity against earth pressure*
- ▶ **Förderer | Funding**  
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
- ▶ **Auftraggeber | Client**  
Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Fak. Architektur, TU Dresden
- ▶ **Zeitraum | Period**  
11.2016 – 04.2018
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger (Lehrstuhl für Tragwerksplanung)
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
Dipl.-Ing. (FH), Dipl.-Kfm. Maik Erler (Lehrstuhl für Tragwerksplanung)
- ▶ **Versuchsdurchführung | Experimental testing**  
Dipl.-Ing. Kathrin Dietz, Tino Jänke, Michael Liebe, Doreen Sonntag, Andreas Thieme, Heiko Wachtel, Bernd Wehner



Aufbau der Messtechnik in der Küche | Setup of the measuring technology in the kitchen | Photo: Sabine Wellner

## (PROBE-)BÜHNE FREI? (REHEARSAL) STAGE FREE?

Die Semperoper Dresden ist bekannt für ihren seit 2006 wieder regelmäßig im Februar stattfindenden Opernball mit viel Prominenz aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Kultur. Traditionell wird der Ball in jedem Jahr mit der Vorstellung der Debütanten eröffnet. Doch 2017 war alles ganz anders. Nach umfangreichen Umbaumaßnahmen an der Probebühne im Gebäude „Semper Zwei“ konnte diese nicht im geplanten Umfang für die Vorbereitung der Feier freigegeben werden. Die speziellen Anforderungen an die Tragfähigkeit der Decken-tragwerke für derartige Tanzveranstaltungen konnten zunächst nicht nachgewiesen werden. Das Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden wurde beauftragt, das dynamische Verhalten der Decke messtechnisch zu erfassen und das Tragverhalten abzuschätzen.

Für die Bewertung der Tragfähigkeitsreserven des Probebühnenbodens wurden dynamische Kennwerte messtechnisch ermittelt. Hierzu musste die gesamte Messtechnik in der Küche des „Semper Zwei“ aufgebaut werden. Als erstes war die Bestimmung eines statischen Referenzlastfalles notwendig. Dies wurde mit entsprechenden Deckenbelastungen durch

*The opera house ‘Semperoper’ in Dresden is well-known for its opera ball. Since 2006, it regularly takes place in February, with many celebrities from politics, business, science, and culture in attendance. Traditionally, the ball is opened each year with the debutants’ presentation. But in 2017, it was completely different. After extensive reconstruction work on the rehearsal stage in the “Semper Zwei” building, this could not be used as planned for the preparation of the celebration. The special load-bearing capacity requirements of the ceiling structure for such dance events could not be proven. The Otto Mohr Laboratory of the Technische Universität Dresden was given the task to check the dynamic behaviour of the ceilings and to estimate the structural behaviour.*

*To evaluate the available load capacity of the rehearsal stage floor, dynamic characteristic values were determined by in-situ measurement. For this, the entire measuring technique had to be set up in the kitchen of the “Semper Zwei”. First, the determination of a static reference load case was necessary. This was carried out by loading the ceiling with weights.*

Gewichte realisiert. Aus der Durchbiegung der Deckenunterseite bei bekannter statischer Last ließ sich eine statische Deckensteifigkeit ableiten. Für die Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften der Decke wurden in einem weiteren Schritt modale Kennwerte durch eine definierte Impulsanregung der Rohdecke bestimmt. Daraus ließen sich sowohl die strukturellen Gesamtdämpfungen der Rohdecke als auch die Übertragungsfunktionen des Gesamtsystems ermitteln. Für die Bewertung der verschiedenen Anregungsspektren wurden unterschiedliche Belastungsszenarien imitiert. Sie ermöglichten die Bewertung der auftretenden spektralen Lasten in Abhängigkeit von Personengewicht, Schrittgeschwindigkeit, Personenanzahl und Bodenaufbau. Die Herausforderung dabei war, auch das Übertragungsverhalten des speziellen Bühnenbodenaufbaus in geeigneter Weise zu erfassen, da der Ansatz der reinen Rohdeckeneigenschaften nicht ausreichend wäre.

Anhand der messtechnischen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass durch die üblichen Beanspruchungen einer Tanzveranstaltung an der Decke keine Schäden zu erwarten sind und die Tragfähigkeit gegeben ist.

*By measuring the deflection under a static load of the ceiling’s bottom side, a static ceiling stiffness could be derived. For the characterization of the dynamic properties of the ceiling, modal parameters were determined, by a defined impulse excitation of the ceiling. From these values, both the total structural attenuation of the slab and the transfer functions of the entire system could be determined. For the evaluation of different excitation spectra, different load scenarios were imitated. So, it was possible to evaluate the occurring spectral loads as a function of a person’s weight, walking speed, number of people, and floor construction. The challenge was also to capture the transmission behaviour of the special stage floor construction suitably since the approach of measuring the properties of the ceiling might not be sufficient.*

*By the investigations, it could be shown that due to the usual demands of a dance event on the ceiling, no damage is to be expected and the required carrying capacity is provided.*



Lasten zur Ermittlung des statischen Referenzlastfalles  
Loads to determine the static reference load case  
Photo: Sabine Wellner

- ▶ **Titel | Title**  
Tragfähigkeitstest der Probebühne der Dresdener Semperoper  
Load bearing test of the rehearsal stage of the Semperoper in Dresden
- ▶ **Zeitraum | Period**  
02.2017
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
- ▶ **Versuchsdurchführung | Experimental testing**  
M.Sc. Tino Kühn, Dipl.-Ing. Marcus Hering, Heiko Wachtel, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner



Versuchsaufbau zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit einer mit Carbondtextil bewehrten Fuge | Test setup to determine the shear strength of a carbon fibre reinforced joint | Photo: Robert Schneider

## EIN WALD AUS CARBONBETON

### A CARBON CONCRETE FOREST

Für den Neubau eines Verwaltungsgebäudes für die Sächsische Aufbaubank (SAB) in Leipzig wollte der Bauherr regionale Entwicklungen in das Gebäude integrieren, um den Charakter einer Förderbank bereits architektonisch auszudrücken. Die Verwendung von Carbonbeton war quasi die logische Folge. Eingesetzt werden soll der Verbundwerkstoff in ca. 180 baumähnlichen Canopies im Außenbereich des U-förmigen Gebäudes, dem sogenannten Forum. Die Canopies sind mit Carbondtextil bewehrte, trichterförmige Schalenkonstruktionen mit variierenden Außendurchmessern von 2,0 m bis 5,0 m. Ihre Form ist in der Draufsicht kreisrund und sie befinden sich auf ca. 21 m hohen Schleuderbetonstützen. Neben der ästhetischen Außenwirkung werden die Canopie-Stütze-Konstruktionen aktiv für die horizontale Gebäudeaussteifung verwendet und sind damit am Lastabtrag beteiligt.

Bisher ist Carbonbeton für den Einsatz in Neubauteilen noch nicht allgemein normativ geregelt, sodass in diesem Projekt die Erlangung einer Zustimmung im Einzelfall erforderlich ist. Zu diesem Zweck wurde das Otto-Mohr-Labo-

*For the new administrative building of the Sächsische Aufbaubank (SAB) in Leipzig, it was desired to include new regional research products, to highlight the character of the development bank. The composite material will be used in 180 treelike columns – the so-called canopies – in the exterior area (called ‘Forum’) of the U-shaped building. The canopies are funnel-shaped shell structures reinforced with carbon textiles with external diameters varying between 2.0 m to 5.0 m, and located at the top of 21 m high columns made of centrifugally cast concrete pipe. Their shape is circular when viewed from top or bottom. Besides the aesthetical optical effect, the canopy is actively used as a lateral bracing for the column.*

*So far, there are no general construction rules, regulations or certificates for new carbon concrete constructions; therefore, the major aim of this project is to get individual approval from the authorities. In an extensive scope of experiments at the Otto-Mohr-Laboratory, the material and bond behaviour of the carbon grid and the newly developed white, fine-grained concrete will be researched for their use in*

ratorium des Instituts für Massivbau beauftragt, ein umfangreiches Versuchsprogramm umzusetzen, in welchem die Werkstoffe Feinbeton und Carbondtextil sowohl einzeln als auch im Verbund auf ihre Eignung für Außenbauteile geprüft werden. Relevante Einflüsse sind dabei statische sowie windinduzierte dynamische Lasten, Temperatur und Frost-Tauwechsel-Beanspruchungen.

Bei der Übertragung von wissenschaftlichen Ergebnissen in die Praxis sind bekanntlich weitere Hürden zu überspringen. Wichtig waren z. B. die Verarbeitbarkeit und Oberflächenqualität des Betons, die Lagegenauigkeit und Formbarkeit des Textils, optische Ansprüche an die Betonfarbe und natürlich der Preis in Kombination mit dem baubranchenüblichen Zeitdruck, die bei einem Prestigeprojekt in dieser Größenordnung gegenüber einem reinen Forschungsprojekt eine fast übergeordnete Rolle spielen.

Die Kombination all dieser wissenschaftlichen, technologischen, probabilistischen und ökonomischen Aspekte stellt eine große, aber sehr interessante Herausforderung für alle beteiligten Institute, Ingenieurbüros und Hersteller dar. Am Ende wird die Stadt Leipzig um ein interessantes Bauwerk bereichert werden.

*exterior components. Relevant to the design is static and wind-induced dynamical loads, as well as temperature and freeze-thaw cycles.*

*To transfer scientific results into reality, a few obstacles shall be overcome. An almost forgotten but very important research aspect for a prestigious project like this is the quality of the concrete surface, the formability of the carbon reinforcement, as well as the optical and aesthetical requirements. Also, workability of the concrete and compliance with placement tolerances of the textile grids are essential. Completing the project within budget and schedule could be quite a challenge.*

*The combination of all these scientific, technological, probabilistic and economic aspects is challenging but very interesting for all involved institutes, engineering offices, and companies. In the end, the city of Leipzig will have one more architectural highlight to enjoy.*



Betonage eines textilbewehrten Balkens mit neu entwickelter Feinbetonrezeptur für kleinteilige Versuche für die ZiE | Concreting of a carbon reinforced beam with a newly developed concrete mixture for small-scale approval tests | Photo: Robert Schneider

- ▶ **Titel | Title**  
Zulassungsversuche für Canopies aus Textilbeton für die Sächsische Aufbaubank (SAB) in Leipzig  
*Approval tests for carbon concrete Canopies for the Sächsische Aufbaubank (SAB) in Leipzig*
- ▶ **Auftraggeber | Client**  
CarboCon GmbH, Dresden
- ▶ **Zeitraum | Period**  
01.2017 – 03.2018
- ▶ **Leiter | Project manager**  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**  
Dipl.-Ing. Robert Schneider,  
Otto-Mohr-Laboratorium



# DAS INSTITUT



# DAS LEBENSERHALTENDE IST DIE VIELFALT.

Richard Freiherr von Weizsäcker (1920–2015), deutscher Jurist, CDU-Politiker, von 1984–1994 Bundespräsident der Bundesrepublik Deutschland

Forschung und Lehre stehen im Vordergrund unserer Arbeit. Doch da ist noch viel mehr, was das Gesamtbild unseres Instituts ausmacht. Es finden Exkursionen mit unseren Studierenden statt, es gibt aktive Nachwuchsförderung in Schülerprojektwochen und öffentlichen Veranstaltungen, der Wissenstransfer auf Treffen und Konferenzen zwischen Forscherinnen und Forschern sowie Vertretern der Wirtschaft und der Politik wird intensiviert. Teambildende Projekttage, 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:

Sven Hofmann, Marc Koschemann, Sandra Kranich, Silke Scheerer, Juliane Wagner und zum Teil aus dem BauBlog der Fakultät Bauingenieurwesen (von Sven Hofmann und André Terpe; <http://baublog.tu-dresden.de>)

## DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPIOSIUM 2017



Manfred Curbach begrüßt die Teilnehmer\*innen des 27. DBBS | Foto: Sylke Scholz

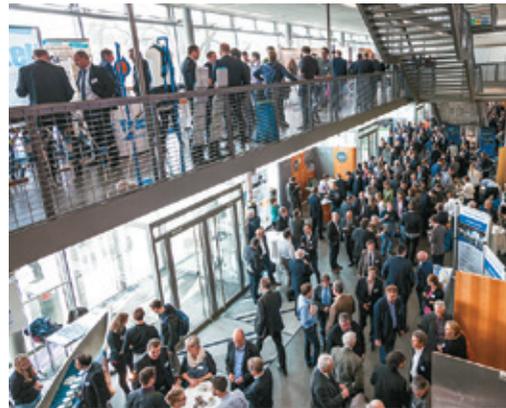
Der März ist in Dresden Brückenbausymposiumszeit. Das Institut für Massivbau der TU Dresden war am 14. März 2017 mittlerweile bereits zum 27. Mal Ausrichter der Tagung. Bereits am Vorabend des Symposiums nutzten rund 700 Gäste die Gelegenheit, beim „Treffen der Brückenbauer“ erste Gespräche zu führen und im Foyer des Hörsaalzentrums der TU Dresden die Ausstellung mit insgesamt 80 Firmen aus den verschiedenen Sparten des Bauwesens sowie von Verlagen und Vereinen zu besuchen. Zur Vortragsveranstaltung selbst waren 1401 Anmeldungen eingegangen – ein Rekord für ein Jahr, in dem kein Deutscher Brückenbaupreis am Vortag verliehen wurde.

Prof. Manfred Curbach hieß die Teilnehmer\*innen herzlich willkommen und nutzte seine kurze Ansprache, um für ein weltoffenes Dresden zu werben. Gleich anschließend wurde die Wackerbarth-Medaille der Ingenieurkammer Sachsen von deren Präsidenten, Prof. Hubertus Milke, an Dr.-Ing. Gerhard Wange, ehemaliger Referatsleiter Brückenbau im SMWA, verliehen. In den sich anschließenden Fachvorträgen drehte sich dann alles – natürlich – um Brücken. Ein Schwerpunkt waren aktuelle Entwicklungen und neue Bauwerke. TRDir Dr.-Ing. Gero Marzahn vom BMVI thematisierte neue Tendenzen beim Korrosionsschutz von Stahlbauteilen im Stahl- und Verbundbrückenbau, z. B. das Feuerverzinken von Stahlbauteilen, was nach der Mittagspause Dr.-Ing. Stefan Franz (DEGES Berlin)

anhand eines ausgeführten Bauwerks vertiefte. Prof. Thomas Bösche (Curbach Bösche Ingenieurpartner, Dresden) berichtete über den Neubau einer Stahlverbundbrücke für die DB auf der Strecke Riesa–Chemnitz, Guido Herbrand (IB Grassl, Düsseldorf) stellte die „atmende“ Stadtbahnbrücke in Düsseldorf vor. Martin Romberg (LAP, Stuttgart) begeisterte die Zuhörer\*innen mit seinem Bericht vom Bau der neuen Queensferry-Brücke über den Firth of Forth in Schottland. O-Ton einer Studentin: „Jetzt weiß ich, weshalb ich diese ganze Theorie brauche!“ – ein größeres Lob kann ein Redner kaum bekommen. Prof. Richard Stroetmann (KuK, Dresden) berichtete über das brisante Thema Chemnitztalviadukt im Spannungsfeld zwischen Neubau und Erhalt des historischen Wahrzeichens. Dies leitet über zum zweiten großen Themenschwerpunkt – dem Erhalt bestehender Brückenbauwerke. Von der Bauwerkserhaltung in der Praxis berichteten Dipl.-Ing. Ammar Al-Jamous (CarboCon, Dresden) und Dipl.-Ing. Karsten Uhlig (K+U-Plan, Wunsiedel), u. a. verantwortlich für die Planung der Ertüchtigung der 1910 errichteten Stampfbetonbogenbrücke über die Selbitz bei Naila mit Carbonbeton, und Dimitri Tuinstra (Arup, Düsseldorf), der die Verstärkung von Stahlbrücken mit hochfestem Beton in den Niederlanden präsentierte. Oliver Steinbock (Institut für Massivbau, TU Dresden) zog ein Fazit zur Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand von Mecklenburg-Vorpommern.

Das Vortragsprogramm rundeten Dr.-Ing. Eugen Kurrer (Ernst & Sohn, Berlin) mit einem Beitrag zu Georg Christoph Mehrrens und Dr. Dirk Bühler (Deutsches Museum, München) ab, der die Zuhörer mit Meilensteinen des Brückenbaus in Lateinamerika vertraut machte.

Der Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium steht online auf der Homepage des Instituts für Massivbau zum Download zur Verfügung.



Das Foyer bietet Platz für Gespräche und eine umfangreiche Firmenausstellung.



Gerhard Wange (Mitte) nimmt die Wackerbarth-Medaille von Hubertus Milke (rechts) entgegen.



Die Firmenausstellung ist gut besucht.



Ein kompetentes Team und interessante Vorträge sind Garant für das Gelingen der Veranstaltung.



Impressionen vom Brückenbausymposium 2017 | Alle Fotos: Sylke Scholz

## TREFFEN DER FORSCHER\*INNEN DES SPP 1542 IN MEISDORF

Es konnte kein schöneres Domizil für die Sommerschule 2017 des SPP 1542 geben. Die Forscher\*innen des DFG-Schwerpunktprogrammes „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“, welches im Sommer 2011 startete, hatten für ihr Jahrestreffen das wunderschöne Parkhotel Schloss Meisdorf gewählt. Am Rande des Harzes an der Straße der Romantik gelegen, bot es den schönen und zugleich architektonisch konträren Rahmen zum behandelten Zukunftsthema.



Das romantische Parkhotel Schloss Meisdorf

In den fünf Tagen gab es viele Gelegenheiten, in Fachvorträgen und Gesprächen auf das Erreichte zurückzublicken. Solch ein Résumé zeigt auf, ob die anfänglich gesteckten Ziele mit den derzeitigen Ergebnissen erreicht werden können, ob die Forscher die richtigen Wege gehen, sich diesen Zielen zu nähern, oder ob es noch gewisser Korrekturen bedarf. Zum anderen gab es natürlich auch Ausblicke auf Kommendes, auf Visionen. Die Sommerschule sollte genau dafür eine Plattform bilden, um den Wissenstransfer zwischen allen Beteiligten aktiv zu halten und zu verstärken. Wir denken, dies ist gelungen, und die Sommerschule 2017 des SPP 1542 kann als großer Erfolg gewertet werden.

In zahlreichen Vorträgen der Doktorand\*innen konnte fast das gesamte Spektrum dieses umfangreichen Forschungsthemas aufgezeigt werden. Neben diesen SPP-1542-Fachvorträgen wurde aber auch „über den Tellerand geschaut“. So referierten die Professor\*innen über „Monitoring und Visualisierung im Infrastrukturbau“; „Bauen in der Zukunft“; „Adaptive Gebäudehüllen“; „Betonermüdung“ und „Di-

gitale Baufabrikation“ bis hin zum ewig spröde wirkenden Thema „Eurocode und Normung“, welches durch die frische Herangehensweise des Vortragenden jeglichen Schrecken verlor. Aber auch politische und gesellschaftliche Inhalte kamen zur Sprache, so zum Beispiel gewisse Konflikte zwischen dem Bauingenieurwesen und der Politik. Vorträge über die Gründung von Start-Up-Unternehmen, Kreativität und Ideenfindung, Kommunikation und Gedächtnistraining, die meist in humorvoller und lockerer Art gehalten wurden, bereicherten zusätzlich das Treffen.

Die Kaffee- und Mittagspausen sowie die gemeinsamen Abende boten die Gelegenheit, Kontakte zu vertiefen oder neue zu knüpfen und über das Gehörte zu diskutieren – die anfänglichen Service-Schwierigkeiten des Hauses in den Kaffeepausen seien hiermit verziehen. Insgesamt erwies sich das Parkhotel Schloss Meisdorf als guter Gastgeber, so dass alle Teilnehmer\*innen trotz des straffen Arbeitsprogrammes zufrieden auseinandergehen konnten.



Das straffe Arbeitsprogramm ließ auch Raum für Humor.



Die Teilnehmer\*innen der Sommerschule 2017 | Alle Fotos: Sven Hofmann

## PROJEKTTAG – VORSICHT: HOCHSPANNUNG!

Das Wetter an diesem 17. Mai 2017 war perfekt für unser Vorhaben, denn Stadt wandern stand zum diesjährigen Projekttag auf dem Plan. Treffpunkt war 8:45 Uhr an der Gleischleife Ostrapark. Von hier aus ging es über die Elbwiesen hin zur Flügelwegbrücke, dann hinüber zum Ballhaus Watzke. Der blaue Himmel ließ es zu, dass wir das Mittagessen im Biergarten genießen konnten. Frisch gestärkt ging es über die Marienbrücke wieder hinüber auf die andere Elbseite in die Wilsdruffer Vorstadt zum Wettiner Platz. Aufgeteilt in zwei Gruppen erwarteten uns interessante Informationen bei Führungen durch „Die neue Mitte Dresdens“. So konnten wir viel Wissenswertes über die Entstehung und Entwicklung dieses Stadtteils, dessen Bausubstanz sowie sein großes Entwicklungspotential erfahren. Endpunkt war das Gelände des zum Kulturstandort umgestalteten ehemaligen Kraftwerks Mitte. Hier ist es gelungen, einzigartigen Industriebauten und Brachflächen ein neues Gesicht und eine neue Bestimmung zu geben.

Das Kraftwerk Mitte ist heute ein lebendiger Ort für Kultur, Kunst und Kreativität. Bedeutende Kultureinrichtungen wie die Staatsoperette Dresden und das tjg. theater junge generation fanden hier ihre neuen Wirkungs- und Spielstätten, ebenso Bereiche der Hochschule für Musik, das Heinrich-Schütz-Konservatorium, das Dresdner Energiemuseum, die Heinrich-Böll-Stiftung sowie das T1 Bistro & Café. Wir hatten nun die Gelegenheit, den neuen Bühnenbereich des Areals von innen zu erleben. Bei den Führungen durch das Foyer und den großen Operettensaal sahen wir die entstandene Symbiose aus historischer Industriebausubstanz und modernen Architekturlösungen, die sehr gelungen ist. „Wo einst der Strom für Dresden produziert wurde, wird jetzt das Publikum elektrisiert“, heißt es im Erklärungstext auf der Website des Kraftwerkes.



Impressionen vom Projekttag 2017  
Alle Fotos: Sven Hofmann

## LANGE NACHT VOLLER WISSENSDURST

Die Lange Nacht der Wissenschaften am 17. Juni 2017



Trotz schlechten Wetters gab es riesigen Andrang bei den Bauingenieuren.

Es war tatsächlich wieder eine „Lange Nacht“, denn bis zum Schluss war der Hof der Bauingenieure zwischen den Laboren auf der Georg-Schumann-Straße gut besucht. Die vielen Interessent\*innen ließen sich nicht vom durchwachsenen Wetter abschrecken, sondern informierten sich an den zahlreichen Ständen, an denen in anschaulichen Versuchen den Gästen Wissenschaft nahegebracht wurde. Auch gab es für die Jüngsten wieder die Möglichkeit, den Titel „Juniorbaumeister“ zu erlangen – dazu mussten sie mehrere Stationen durchlaufen und konnten in Interaktion einiges über das Bauen lernen.



Früh übt, wer später ein Brückenbauer werden möchte.



Gut besucht waren die zahlreichen Stationen der Bauingenieure, an denen es viele Tests und Versuche zu erleben gab.



Bis spät in die Nacht: Schlängestehen an den Ständen der Bauingenieure und am Grillstand. | Alle Fotos: Sven Hofmann

## LAUFFREUDIGE BAUINGENIEURE BEI DER REWE TEAM CHALLENGE

Mit dem vorläufigen Teilnehmerrekord von 20.000 Läufern erreichte die alljährliche REWE Team Challenge am 2.6.2017 ihren bisherigen Höhepunkt. Die Fakultät der Bauingenieure hatte gleich vier Teams am Start. Natürlich stellte das Institut für Massivbau eine starke und lauffreudige Mannschaft zusammen, die hoch motiviert die zu laufende Strecke von fünf Kilometern absolvierte. Angefeuert durch die zahlreich erschienenen Zuschauer\*innen und unter musikalischer Begleitung liefen alle zum prall gefüllten DDV-Stadion. Unser „Mädchen-Team“ belegte



Das hoch motivierte Team des IMB | Foto: Alexander Schumann

Platz 481, die „Jungs“ Platz 426 – die Teambildung steht deutlich im Fokus, dabei sein ist alles. Wir freuen uns schon alle wieder auf die neue Challenge im nächsten Jahr.

## SPP 1542 AUF DER IASS 2017 IN HAMBURG

Die jährliche Tagung der International Association for Shell and Spatial Structures fand 2017 in Hamburg statt. Thematisch passt diese Konferenz ideal zu vielen SPP-Projekten, weshalb die Vorstellung möglichst vieler Teilprojekte auf dem Hamburger Symposium an die Stelle der für den Herbst vorgesehenen Arbeitsgruppen-

treffen trat. In den zuvor beantragten Sessions zum Thema „Concrete light: innovative concrete constructions“ wurde ein Großteil der 15 Vorträge von SPPLern gehalten. Insgesamt gab es viel positives Feedback und neue Anregungen, was den gemeinsamen Tagungsbesuch zu einem vollen Erfolg machte.



Hält sie oder hält sie nicht? SPPLer unterziehen eine Schi-Schale dem Praxistest. | Foto: Tilo Senckpiel

## KLEIN, ABER FEIN

Das 9. SEUB am 21. September 2017

Fast im Schatten der beiden größeren Tagungen des Instituts für Massivbau konnten wir am 21. September 2017 rund 90 Teilnehmer\*innen zum 9. Symposium „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen“ begrüßen. Seit Jahren wächst die Baubranche stetig, was grundsätzlich ein positiver Fakt ist. Dabei wird aber oft aus den Augen verloren, dass das Bauwesen nach wie vor an vorderer Stelle steht, wenn es um Ressourcenverbrauch und Beeinträchtigung der Umwelt geht. Vor diesem Hintergrund hat der Themenschwerpunkt der vor 17 Jahren ins Leben gerufenen Dresdner Symposien nichts an Aktualität verloren. Die gewissenhafte Erkundung bestehender Bausubstanz, die Weiterentwicklung von möglichst zerstörungsfreien Mess- und Prüfmethode sowie die Nutzung moderner Rechenverfahren und Simulationen tragen dazu bei, dass viele Bauwerke erhalten, instandgesetzt oder ertüchtigt werden können, die einer Überprüfung auf Basis heutiger Normen nicht standhalten.

Wie auch bei den vorangegangenen Veranstaltungen wurde eine Mischung aus theoretischen und praktischen Beiträgen präsentiert. Das Symposium wurde mit einem historischen Vortrag über experimentelle Untersuchungen von Willy Gehler in der Frühzeit des Stahlbetonbaus eröffnet. Im Themenkomplex Messtechnik wur-

de über die Anwendung thermo-mechanischer Messungen, der Thermografie, von Ultraschall und von Schwingungsanalysen als Methoden der zerstörungsfreien Materialcharakterisierung berichtet. Die Themen Monitoring und baubegleitende Zustandsüberwachung nahmen ebenfalls wieder einen hohen Stellenwert ein. Berichtet wurde von verschiedensten Projekten aus dem Hoch- und Ingenieurbau. Die vielfältigen Möglichkeiten von Belastungsversuchen, angefangen bei der Untersuchung von Ankerschienen bis hin zum Test eines weit gespannten Daches und einer historischen Eisenbahnbrücke, rundeten das Tagungsprogramm ab.

Der Tagungsband kann auf der Homepage des Instituts eingesehen werden.



Peter Schöps (Jäger Ingenieure GmbH, Radebeul) stellte neueste Untersuchungen am Zwickauer Dom vor.



Prof. Opitz, der im März 2000 das SEUB ins Leben gerufen hatte, moderierte den Themenblock *Experimentelle Tragsicherheitsbestimmung durch Belastungsversuche*.



Prof. Marc Gutermann (HS Bremen), der über experimentelle Untersuchungen im Dortmunder 'Löwenhof' berichtet hatte, in der Diskussion mit den Gästen des Symposiums. | Alle Fotos: Marion Kaiser und Gabriel Ziegelschmid

# DIE 9. CARBON- UND TEXTILBETONTAGE IN DRESDEN – EIN VOLLER ERFOLG!



Die Eröffnung der Carbon- und Textilbetontage 2017 im große Konferenzsaal im Hilton Dresden durch Prof. Peter Offermann

Die Crème de la Crème der deutschen Bauwirtschaft traf sich am 26. und 27. September in Dresden. Der Anlass: die 9. Carbon- und Textilbetontage. Carbonbeton ist die korrosionsbeständige und nachhaltige Alternative zu Stahlbeton. Das Verbundmaterial aus Hochleistungs- und Bewehrung aus Kohlestofffasern revolutioniert aktuell die Baubranche und bietet zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten auch für Architekten. Die Tagung des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Projektes C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite und des TUDALIT e. V. fand im Herzen Dresdens statt, im Hotel Hilton, das sich in der unmittelbaren Nähe des Wahrzeichens von Dresden – der Frauenkirche – befindet.

Über 300 Teilnehmer haben diese Tagung zum Anlass genommen, um in die Landeshauptstadt zu reisen. Gute Gründe gab es zur Genüge.

Der Staatssekretär des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr – Dr. Hartmut Mangold – begrüßte am ersten Tag die zahlreichen Teilnehmer\*innen, wies auf die gute Relation zwischen Forschung und Wirtschaft hin und äußerte den Wunsch, diese weiterhin zu pflegen und stetig auszubauen. Genau dieses Ziel verfolgt auch die Konferenz. „Über 50 Vorträge in zwei Tagen sind schon



Der Staatssekretär des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dr. Hartmut Mangold, bei seinen Grußworten

sehr sportlich, aber wir wollen kompakt und umfangreich über die neueste Technologie im Bereich des Carbon- und Textilbetons berichten und Interessenten auf den neuesten Stand bringen“ – sagt Dr.-Ing. Frank Schladitz, Mitorganisator der Veranstaltung und Vertreter des Vorstandes von C<sup>3</sup>. Dies wusste auch das Publikum zu schätzen.

In den praxisnahen Vorträgen – von Bausatzkomponenten über Neubau, Verstärkungs- und Instandsetzungsmaßnahmen bis hin zu Arbeitsschutzanforderungen und Recycling sowie experimentellen Nachweisen und Bemessungs-

regeln – gaben Referent\*innen spannende Einblicke in aktuelle Projekte. Zu nennen sind beispielsweise der Start des Vorhabens CUBE, des weltweit ersten funktionsfähigen Carbonbetongebäudes, das Ende 2019/Anfang 2020 in Dresden entstehen soll. Die Bauweise des 200-m<sup>2</sup>-Gebäudes, das sich über zwei Etagen erstrecken wird, soll während des geplanten zehnjährigen Betriebes durch Langzeituntersuchungen validiert werden. Das Gebäude soll zudem für Vorträge und Präsentationen der breiten Öffentlichkeit geöffnet werden, um somit die Nutzerakzeptanz zu erhöhen und das Haus sowie die neue Bauweise erlebbar zu machen. Themen, wie die zukünftige Errichtung von Brücken aus Carbonbeton und die Verkleidung der weltweit höchsten Brückenpfeiler der Bosphorus-Brücke in Istanbul, trafen ebenfalls auf großes Interesse des Publikums.

Im Rahmen der Tagung wurde der Architekturpreis 2017 verliehen. Der erste Preis ging an Patric Trauschke vom Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart für seinen Entwurf einer segmentierten leichten Textilbetonschale, die als multifunktionale Begegnungsstätte in Anlehnung an das UNESCO-Weltkulturerbe in Lausanne konzipiert wurde.

Im bewusst klein gehaltenen Ausstellerbereich konnten sich die Teilnehmer\*innen über Innovationen und aktuelle Produkte im Bereich des Carbon- und Textilbetons informieren und mit den jeweiligen Ansprechpartner\*innen ins Gespräch kommen. Führende Unternehmen in textiler Bewehrung, wie V. Fraas GmbH, solidian GmbH oder Albani Group und der deutschlandweit erste Hersteller von marktreifen Carbonstäben, ThyssenKrupp Carbon Components, standen Interessent\*innen Rede und Antwort.

Die erfolgreiche Markteinführung von Carbon- und Textilbeton hat bereits begonnen. Konferenzen wie die Carbon- und Textilbetontage stellen dabei die entscheidenden Weichen für die sukzessive Etablierung der Bauweise und leisten einen wichtigen Beitrag für ein neues, nachhaltiges und innovatives Bauen.



Prof. Josef Hegger (RWTH Aachen, IMB) bei seinem praxisnahen Fachvortrag über „Filigrane Tragwerke und Fassaden aus Carbonbeton“



Die zahlreichen Fachvorträge fanden parallel in zwei Konferenzräumen statt. Hier Dipl.-Ing. Robert Zobel bei seinem Vortrag „NORMalität für 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 Konferenztag gab Gelegenheit zu weiteren interessanten Gesprächen. | Alle Fotos: Sven Hofmann

## CARBONBETON ZIEHT EIN IN DAS DEUTSCHE MUSEUM MÜNCHEN



Erstmals in der Geschichte des Deutschen Museums: Exponat aus Carbonbeton. | Foto: Ansgar Pudenz

Die Ausstellung „Aus Ideen Erfolge machen. Für die Menschen. Für das Land.“ des Deutschen Zukunftspreises im Deutschen Museum in München wird seit dem 13.09.2017 durch ein Exponat aus Carbonbeton bereichert. Traditionell präsentieren die Vorjahressieger des Deutschen Zukunftspreises ihre Innovationen in Form eines Moduls, seit der Eröffnung der Ausstellung 2006 kommen somit jährlich neue Exponate hinzu. Die nunmehr 10 Ausstellungsstücke sind zwar thematisch unterschiedlich, wurden jedoch immer aus dem Mineralwerkstoff Corian hergestellt. Erstmals wurde nun ein anderes Material verwendet – Carbonbeton. Im Jahr 2016 gewannen die Dresdner Carbonbetonforscher Manfred Curbach, Chokri Cherif und Peter Offermann den Deutschen Zukunftspreis, den Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation.

Das Modul besteht aus vier Teilen: Dem Einfallstor – einer spielerischen Einladung, sich mit dem Thema Carbonbeton auseinanderzusetzen; den wirtschaftlichen Komponenten – welchen Beitrag leistet die Innovation zur Schaffung von Arbeitsplätzen oder für die Entwicklung der Branche; der wissenschaftlichen Expertise und schließlich der Darstellung der Preisträger. Großformatige Abbildungen der Preisträger sind auf der Front der Ausstellung zu sehen; die „Hall of Fame“, eine moderne Analogie zum Ehrensaal

des Deutschen Museums. Das Architekturbüro HENN entwickelte für das Einfallstor des Moduls ein Modell einer Zukunftsstadt, die mit dem Material Carbonbeton gestaltet werden könnte.

„Den Mut etwas Neues zu machen, etwas Neues zu bauen, hatte das Deutsche Museum. Die Herstellung der Module aus Carbonbeton war durchaus mutig, denn vor einem halben Jahr wusste keiner von uns, ob das wirklich funktionieren würde.“ – so Manfred Curbach, der Preisträger und Vorsitzender des C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle dem Künstler Christoph Held für die konzeptionelle Arbeit, dem Messebauer Jens Dippel für die Begleitung und Betreuung in der Herstellungsphase, Matthias Hamann und der Tischlerei Hamann für die Herstellung der komplexen Schalungen und schließlich Rainer Belger vom Otto-Mohr-Laboratorium für die Umsetzung, die durchaus einer Meisterleistung gleicht.

Das Exponat aus Carbonbeton bleibt in den nächsten 10 Jahren Bestandteil der Ausstellung zum Deutschen Zukunftspreis. Nicht nur Anschauen, vor allem Anfassen ist ausdrücklich erwünscht. Carbonbeton ist ein junges, modernes Thema und leistet einen wesentlichen Beitrag in der Baubranche.

## BUNDESPRÄSIDENT FRANK-WALTER STEINMEIER ZU BESUCH AM INSTITUT

Im Rahmen seines Antrittsbesuchs in Sachsen konnten wir am 14.11.2017 Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier zusammen mit seiner Frau Elke Büdenbender an der TU Dresden begrüßen. Die hochrangigen Gäste besuchten das Centrum für Regenerative Therapien Dresden (CRTD) sowie die Deutschen Zukunftspreisträger 2016.

Der Rektor der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, und die Sächsische Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst, Frau Dr. Eva-Maria Stange, begrüßten die Gäste.

Beim ersten Themenschwerpunkt wurden Bundespräsident Steinmeier und seine Frau über die neuesten Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der regenerativen Therapien informiert. Das Institutsteam von Prof. Ezio Bonifacio ging dabei näher auf die Forschungsfelder der neurodegenerativen Augen- und Diabeteserkrankung ein.

Anschließend traf der Bundespräsident die Deutschen Zukunftspreisträger 2016, die ihm in einer Präsentation die Eigenschaften und Vorzüge des prämierten Materials Carbonbeton erläuterten.

Prof. Manfred Curbach, Prof. Peter Offermann (TUDAG) und Prof. Chokri Cherif (Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik) nutzten diese Gelegenheit, um in 45 Minuten dem Bundespräsidentenpaar das Thema Carbonbeton näher zu erläutern. Manfred Curbach wies in seiner Einleitung auf die aktuellen Problemstellungen des Bauwesens hin, zu deren Lösung der neue Verbundbaustoff Carbonbeton einen erheblichen Beitrag leisten wird. An drei Thementischen wurde von den Herren Professoren und jungen wissenschaftlichen Mitarbeitern anhand von zahlreichen Demonstratoren das große Potential des neuen Baustoffs veranschaulicht. Dabei konnten die Entstehung und die Vorteile von Carbon, der direkte Vergleich von Stahl- und Carbonbeton, die neuen technischen und ästhetischen Möglichkeiten des neuen Verbundwerkstoffs sowie die ökologischen und ökonomischen Vorteile der neuen Bauweise eindrucksvoll gezeigt werden. Der Bundespräsident und seine Frau befragten interessiert die Referenten zu weiteren Details, um das Thema Carbonbeton noch näher kennenzulernen.



Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier und Frau Elke Büdenbender im Gespräch mit den Preisträgern sowie wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts. | Foto: Sven Hofmann

## FESTKOLLOQUIUM ZUM 80. GEBURTSTAG VON PROF. JÜRGEN STRITZKE

Am 13. Dezember 2017 vollendete Prof. Jürgen Stritzke (ehemals Institut für Massivbau) sein 80. Lebensjahr. Ihm zu Ehren veranstaltete das Institut ein Festkolloquium im Festsaal der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden. Rund 120 seiner Berufskolleg\*innen, Wegbegleiter\*innen und Freunde waren erschienen und überbrachten dem Jubilar ihre Glückwünsche. Nach den einleitenden Worten von Prof. Manfred Curbach und dem Grußwort des Rektors der TU Dresden, Prof. Hans Müller-Steinhagen, der die akademischen Verdienste Prof. Stritzkes würdigte, hielt Ministerpräsident a. D., Prof. Dr. Kurt Biedenkopf, die Laudatio. Er wies besonders auf die große politische Bedeutung von Brücken als verbindendes Element hin.

Es folgten drei interessante Fachvorträge, die dem Festkolloquium den thematischen Rahmen verliehen. Prof. Oliver Fischer (TU München, Lehrstuhl für Massivbau) ging näher auf die Herausforderungen im Brückenbestand ein, Prof. Manfred Keuser (Universität der Bundeswehr München, Professur für Massivbau) widmete sich der kulturellen Bedeutung von Baudenkmälern, aufgezeigt an der Echelsbacher Brücke. Im dritten Vortrag von Prof. Reinhard Maurer (TU Dortmund, Lehrstuhl für Betonbau) wurde das Thema „Innovative und gut gestaltete Entwürfe für Betonbrücken“ näher behandelt.

Sichtlich gerührt dankte Prof. Stritzke allen anwesenden Gästen für die Glückwünsche sowie

Beiträge und weiteren Wegbegleiter\*innen und Freunden, die in seinem bisherigen Leben einen bedeutenden Platz eingenommen haben.

Ein kleiner Empfang im Foyer rundete das Festkolloquium ab.



Der Jubilar Prof. Jürgen Stritzke nimmt Glückwünsche und Geschenke entgegen.



Ministerpräsident a. D. Prof. Dr. Kurt Biedenkopf bei seiner Laudatio



Der Jubilar dankt seinen Gästen. | Alle Fotos: Sven Hofmann

## AUF DEN SPUREN VON PRAKTIKA UND CO. ... EINE ETWAS ANDERE WEIHNACHTSFEIER

Zum Jahresabschluss ging es 2017 in die Technischen Sammlungen Dresden. Dort empfing der Kustos des Hauses, Herr Dr. Pulla, die Gäste im Museumskino. In seinen begrüßenden Worten ging er auf die Geschichte des Gebäudes und die Entstehung der Technischen Sammlungen ein und gab einen Überblick über die aktuellen Ausstellungen. Anschließend blickte Institutsdirektor Prof. Curbach auf das ereignisreiche Jahr 2017 zurück und bedankte sich bei allen Kolleg\*innen für ihr Engagement. Begleitet von einer Fotodokumentation zu Versuchen und Experimenten 2017 hob er das gewachsene Renommee des Institutes bspw. anhand der sehr guten Zitationswerte in Fachzeitschriften hervor.

Bei einem Besuch in den Technischen Sammlungen kommt man natürlich nicht am Dresdner Kamerabau vorbei. Schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts etablierten Dresdner Fototechniker mit dem Bau erster Spiegelreflexkameras Marken wie Zeiss Ikon und Ihagee und machten die Ernemann-Werke an der Schandauer Straße weltberühmt. Ende der 1950er Jahre wurden verschiedene Betriebe der fotografischen Industrie in Dresden zu einem Kombinat zusammengeschlossen, welches 1964 in „VEB Pentacon Dresden“ benannt wurde. Fotoapparate aus Dresden waren über Jahrzehnte ein Synonym für Innovation und Fortschritt, das Symbol des Ernemannturms im Logo von Pentacon war gleichsam ein Qualitätssiegel. Dies und viele Geschichten von Zeitzeugen konnten die Kinobesucher in der Dokumentation „PRAKTIKA – Kameras aus Sachsen“ erfahren.

Im Anschluss standen die Ausstellungen im 2. Obergeschoss und das Erlebnisland Mathematik für einen Besuch offen. Dabei konnte man sich bei Logikrätseln ausprobieren oder im Team an verschiedenen Stationen spielerisch experimentieren. Zum Ausklang des Tages genossen wir die angenehme Atmosphäre des Turmcafés und die besondere Aussicht über das nächtliche Dresden vom Ernemannturm aus.



Der Leiter der Technischen Sammlungen Dresden, Herr Dr. Pulla, gibt Einblicke in die Entstehungsgeschichte seines Hauses.



Die interaktive Abteilung der Ausstellung animierte viele Mitarbeiter\*innen zum Mitmachen.



Neue Perspektiven wurden erkundet.



Die anschließende Weihnachtsfeier war perfekt organisiert. Alle Fotos: Sven Hofmann



Dipl.-Ing. Robert Zobel verteidigte Ende 2017 erfolgreich seine Dissertation und darf sich nun bald Dr.-Ing. nennen. | Dipl.-Ing. Robert Zobel's successful defense was in the end of 2017. | Photo: Sven Hofmann

## PROMOTIONEN

Michael Dimmer

# SOFTWARESYSTEM ZUR PLANUNGSUNTERSTÜTZUNG IM STRASSENBRÜCKENBAU

## SOFTWARE SYSTEM TO SUPPORT THE PLANNING PROCESS OF ROAD BRIDGES

Die Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Softwaresystems, welches einer großen Breite der am Brückenbau Beteiligten wertvolle Handlungsempfehlungen und Hilfestellungen bei der Erstellung optimaler Bauwerksentwürfe gibt.

Einführend wird dazu ausführlich auf bereits vorhandene Softwaresysteme sowie die Grundlagen der Datenverarbeitung eingegangen. Darüber hinaus wird die Thematik der künstlichen Intelligenz ausführlich erörtert und aufgezeigt, wie diese in planungsunterstützende Softwarealgorithmen integriert werden können.

*The thesis deals with the development of a software system which offers valuable recommendations for bridge construction and helps in the creation of optimal structural designs.*

*For this purpose, a detailed introduction to existing software systems as well as the basics of data processing is presented. Also, the topic of artificial intelligence is discussed in detail, as well as its integration into software algorithms that support planning.*

*One focus of the software system is the structured understanding/ documentation of a*

Ein Schwerpunkt des Softwaresystems liegt auf dem strukturierten Erfassen einer breit angelegten Wissensbasis im Brückenbau. Dabei werden ausschließlich Daten erfasst, die zur Bauwerksbeschreibung als maßgebend eingestuft werden. Im Fokus steht besonders das Erfassen von Kostenkennwerten, welche die Grundlage für die Bewertung von Life-Cycle-Costs und Kostenprognosen bilden.

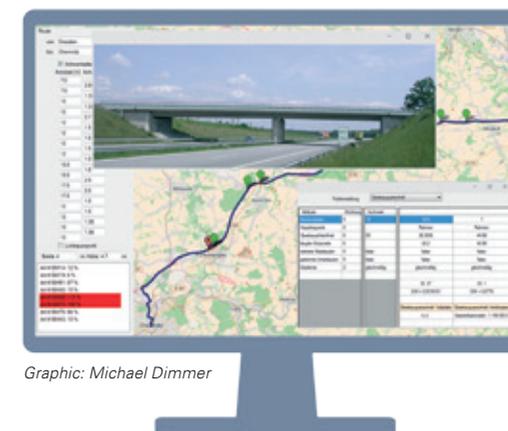
Um Lösungsmöglichkeiten für sämtliche Leistungsphasen im Brückenbau anzubieten, werden Softwarefeatures für verschiedene Anwendungsbereiche entwickelt. Zum einen wird zur besseren Finanzplanung in frühen Planungsphasen ein Tool zur Kostenprognose integriert. Zum anderen wird die Möglichkeit aufgezeigt, durch Fallbasiertes Schließen die vorhandene Datenbank hinsichtlich Schlüsselfaktoren, wie z. B. Baustoffverbrauch, Dauerhaftigkeit oder Life-Cycle-Costs zu wichten. Weiterhin ist ein Modul in das Softwaresystem implementiert, welches eine umfassende Routenplanung für Schwerlast- und Großraumtransporte ermöglicht. Anwendungsbeispiele demonstrieren die Leistungsfähigkeit der entwickelten Softwarealgorithmen.

Der in dem Softwaresystem generierte Know-how-Gewinn ist auf beliebige Projekte im Brückenbau übertragbar. Besonders in der zeitlich stark limitierten Planungsphase kann der Ingenieur interaktiv Hilfestellungen erstellen, welche die Konzeption und Errichtung besonders planungssicherer, nachhaltiger und kostengünstiger Bauwerke befördern.

*broad knowledge base in bridge construction. In this case, only data are recorded which are classified in a hierarchical order for the construction process. The focus is particularly on measuring cost parameters, which form the basis for assessing life-cycle costs and cost projections.*

*To offer solutions for all phases of bridge construction, software features are developed for various application areas. On the one hand, a cost forecasting tool is integrated into early planning phases for better financial planning. On the other hand, the option to weigh key factors (e.g., building material usage, durability or lifecycle costs) of the existing database by using case-based reasoning is given. Furthermore, a module is implemented in the software system, which enables comprehensive route planning for heavy duty and oversized vehicles. Application examples demonstrate the performance of the developed software algorithms.*

*The newly developed software system can be applied to a wide range of bridge construction projects. The compiled expert knowledge can be transferred to a given project in bridge construction. Particularly, within a short period, typical for the planning phase, the engineer can interactively create designs and support data, to define the feasibility of a conceptual design, which in turn promotes the planning and construction of structures, in a reliably sustainable and economical manner.*



Graphic: Michael Dimmer

### ► Gutachter | Experts

- Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, TU Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Holger Flederer, HTW Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Börsche, HTW Dresden

Sebastian Wilhelm

# EINSATZ VON UHPC-DRUCKGEHÄUSEN ZUM SCHUTZ VOR EXTREMEN UMGEBUNGS-BEDINGUNGEN DER TIEFSEE

## USE OF UHPC PRESSURE HOUSINGS TO PROTECT AGAINST EXTREME ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE DEEP SEA

Die Tiefseeforschung spielt eine wichtige Rolle, angetrieben von ökologischen und ökonomischen Aspekten. Bisher werden teure Gehäuse und Konstruktionen aus Titan verwendet, um den langfristigen Einsatz zu gewährleisten und um Korrosion zu vermeiden. Im Rahmen der Dissertation wurde die Eignung von ultrahochfestem Beton für Unterwasser-Druckgehäuse und Konstruktionen untersucht, um eine kostengünstige und dauerhafte Alternative zu schaffen.

Für Tiefseeanwendungen sind Tiefen von 3000 bis zu 6000 m von großem Interesse. Die stetige Verbesserung der Druckfestigkeit in den letzten Jahren hat zu ultrahochfesten Betonen (UHPCs) mit einer Festigkeit von bis zu 250 MPa und einer hohen Dichtigkeit aufgrund des minimalen Porenvolumens geführt. Die Untersuchung des zeitabhängigen Materialverhaltens, der Durchlässigkeit und der Dauerhaftigkeit von UHPC sowie die Entwicklung von Dichtungssystemen und Öffnungen für die Gehäuse waren Ziele des Testprogramms. Während des Forschungsvorhabens wurden unterschiedliche Geometrien entwickelt und stetig verbessert, um das Auftriebsverhalten zu optimieren.

Neben grundlegenden Untersuchungen zum Materialverhalten von UHPC, wie zeitabhängige Druckfestigkeit und E-Modul, Bruchdehnung, Größeneffekt, Einfluss von Wärmebehandlung und Salzwasserlagerung oder Porositätsmessungen, wurden auch Studien zu Konstruktionsgrundsätzen durchgeführt, um wiederverschließbare Druckgehäuse für die Tiefsee bis 3000 m

*Deep-sea research plays an important role, driven by environmental and economic aspects. So far, expensive housings and constructions made of titanium are used to avoid corrosion in the maritime environment and to guarantee long-term deployment. The suitability of high-strength concrete for underwater pressure housings and constructions is examined to provide a low cost and durable alternative.*

*For deep-sea applications, depths of 3000 up to 6000 m are of great interest. The improvement of concrete strength over the last years has resulted in ultra-high performance concretes (UHPCs) with strengths of up to 250 MPa and high impermeability due to a minimum of pore volume. Time-dependent behavior, permeability and durability as well as the development of sealing systems and openings were the objectives of the test program. During the research project different geometries were developed and constantly improved in order to optimize the buoyancy behavior.*

*In addition to fundamental investigations on the material behavior of UHPC, such as time-dependent compressive strength and elastic modulus, fracture strain, size effect, influence of heat treatment and salt water storage or porosity measurements, studies on design principles have also been carried out to achieve the goal of reclosable pressure vessels for the deep sea up to 3000 m depth. In order*

Einsatztiefe zu entwickeln. Um das Versagen vorherzusagen zu können, wurden die Materialeigenschaften von UHPC unter mehraxialer Beanspruchung bei verschiedenen Spannungsverhältnissen untersucht. Die Versuche wurden numerisch simuliert und das nichtlineare Materialmodell multiPlas in ANSYS anhand der gewonnenen experimentellen Daten kalibriert.

Während des Versuchsprogramms konnte gezeigt werden, dass Betondruckgehäuse mit 35 mm Wandstärke und 250 mm Außendurchmesser im Kurzzeitdruckversuch bis 60 MPa ohne Implosion belastbar sind.

Neben Kurzzeit-Druckversuchen wurde eine Tiefsee-Feldstudie mit einer Dauer von einem Jahr an der Arktis realisiert, um die Dauerhaftigkeit der Betongehäuse und den Einfluss der maritimen Umgebung auf UHPC zu untersuchen. Dabei standen die Untersuchung des Kriechens unter hoher Dauerlast, die Diffusionsdichtheit und der Einfluss der Calcit-Kompensationstiefe im Vordergrund.

Anhand der gewonnenen Daten wurden Bemessungsgleichungen und Bemessungsdiagramme auf Basis der Theorie der dickwandigen Schale (Lamé) entwickelt.

*to predict the failure, the material properties of UHPC were investigated under multiaxial load at different stress ratios. The experiments were numerically simulated and the non-linear material model multiPlas was calibrated in ANSYS on the basis of the experimental data obtained.*

*During the experiment it was shown that concrete pressure housings with 35 mm wall thickness and 250 mm outer diameter can be loaded in the short-term pressure test up to 60 MPa without implosion.*

*In addition to short-term pressure tests, a deep-sea field study with duration of one year was carried out at the Arctic to investigate the durability of the concrete housing and the influence of the maritime environment on UHPC. The focus was on the investigation of the creep under high static load, the permeability and the influence of the calcite-compensation-depth (CCD).*

*On the basis of the obtained data, design parameters and design diagrams were developed based on the theory of the thick-walled shell (Lamé).*



Druckgehäuse aus ultrahochfestem Beton mit Saphirglasscheibe  
Pressure housing made of ultra-high performance concrete with sapphire glass | Photo: Sebastian Wilhelm

### ► Gutachter | Experts

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, TU Dresden  
Prof. Dr.-Ing. Ludger Lohaus, Leibniz Universität Hannover  
Dr.-Ing. Johannes Lemburg, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven

Robert Zobel

# VERBUNDMODELLIERUNG VON BETON- UND SPANNSTAHL UNTER QUERZUG

## MODELLING OF THE BOND BEHAVIOUR OF REINFORCING AND PRESTRESSING STEEL UNDER TRANSVERSE TENSION

Containments aus Stahl- und Spannbeton nehmen in der Sicherheitsausrüstung bestehender Kernkraftwerke eine wichtige Stellung ein, wo sie im Allgemeinen als äußerer Schutz um den Reaktordruckbehälter angeordnet sind. Im Falle eines Störfalles, bei dem es beispielsweise zu extrem hohen Innentemperaturen kommen kann, werden die gekrümmten Wände des Containments einer zweiaxialen Zugbeanspruchung ausgesetzt, die beim Überschreiten einer kritischen Grenze eine Rissbildung bewirken kann. Ein vollständiger Schutz des Stahl- bzw. Spannbetoncontainments vor radioaktiver Kontamination ist dann u. U. nicht mehr gegeben. Daher ist es von großer Bedeutung, die Leckrate infolge Rissbildung auf ein festgelegtes Höchstmaß zu begrenzen. Dafür werden Analysemodelle aufgestellt, die mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode abgebildet und berechnet werden. Für eine hohe Qualität dieser Analysemodelle ist neben der realitätsnahen Erfassung der Einzelkomponenten Stahl und Beton auch die Berücksichtigung des Zusammenwirkens beider Materialien von großer Bedeutung. Die Annahme eines starren Verbundes, wie es bisher der Fall ist, führt zwangsläufig in den Analysemodellen zu geringeren Rissabständen und somit zu kleineren Rissbreiten. Eine Unterschätzung der Rissbreiten in den Simulationen der Containments ist die Folge.

Im Mittelpunkt der Arbeit stand daher die numerischen Untersuchungen des Verbundverhaltens zwischen Betonstahl und Beton sowie Spanngliedern im nachträglichen Verbund und Beton. Besonderes Augenmerk lag auf der durch eine zweiaxiale Zugbeanspruchung

*Containments made of reinforced concrete are crucial to guarantee the safe operation of the equipment in nuclear power plants. They are used as an outer protection for the reactor pressure vessels. In the case of an accidental hazard, which could lead to higher inner temperatures, the containment walls are being exposed to a biaxial tensile load state. Beyond certain critical boundary limits, those stresses can lead to crack initiation. Once concrete cracks, the protection provided by the outer containment against nuclear contamination and radioactivity no longer exist. Therefore, it is of high importance to minimize leakage due to cracks in the containment structure to a pre-set limit. For such a purpose, analysis models are being developed with the help of the finite element method. To gain a high-quality insight into those models, a realistic simulation of the individual components, steel, and concrete, as well as a realistic formulation of the interaction between the two materials are of great importance. The assumption of a rigid bond between concrete and steel inevitably leads to a smaller crack spacing, and therefore to smaller crack widths in the analysis models. As a result, the crack widths in the simulations of containment structures would be underestimated.*

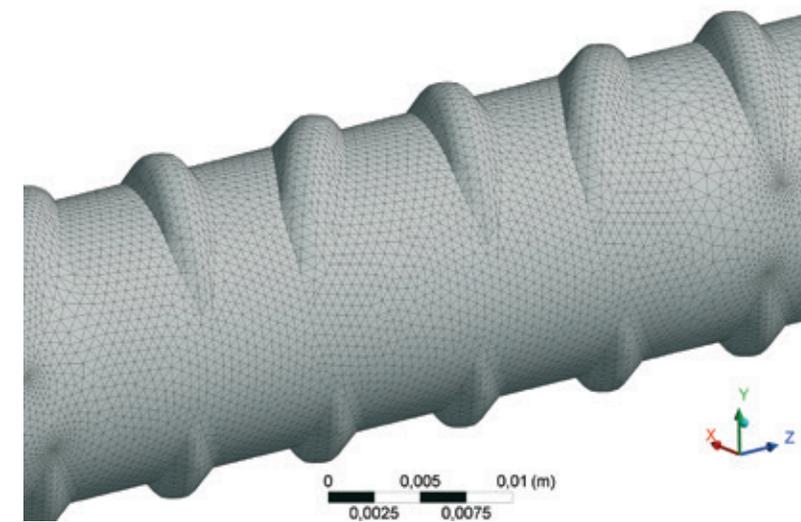
*The focus of the work was, therefore, the numerical investigation of the bond behavior between reinforcing steel and concrete, as well as between post-tensioned tendons and concrete. Special attention was paid to the effect of the transverse tensile load on the bond behavior of reinforcing steel and post-tensioned tendons. Based on the experimental results a detailed model of*

hervorgerufene Querkzugbelastung der Bewehrungsstäbe. Ausgehend von Versuchsergebnissen wurde zunächst eine detaillierte Modellierung des Verbundes vorgenommen. Neben verschiedenen Modellierungsvarianten und der Betrachtung des Querzeinflusses erfolgte zudem eine numerische Untersuchung zur Eignung des Ausziehversuchs zum Nachweis der Verbundeigenschaften. Basierend auf den gewonnenen Ergebnissen wurden anschließend Verbundmodelle zur Anwendung in der FE-Software ANSYS entwickelt, um das Verbundverhalten zwischen Stahl- und Betonelementen bei großen Bauteilsimulationen berücksichtigen zu können. Mit den implementierten Verbundmodellen erfolgten abschließend Simulationen von Stahl- und Spannbetonbauteilen unter einer zweiaxialen Zugbelastung, um die Verhältnisse in einer Containmentwand abzubilden.

Durch die zukünftige Verwendung der Verbundmodelle in ANSYS können Rissabstände und Rissbreiten, die bei Stahl- und Spannbetoncontainments eine entscheidende Rolle einnehmen, realitätsnaher bestimmt werden.

*the bond was created. In addition to various modeling variants and the consideration of transverse tension, a numerical investigation of the pull-out test suitability to determine the bond properties was also carried out. Based on the information gained, bond models were developed using the finite element software ANSYS which considered the bond behavior of reinforcing steel and post-tensioned tendons in large structural simulations. Finally, with the help of the implemented bond models, simulations of reinforced and prestressed structures were carried out to model the conditions in a containment wall.*

*Based on the implemented bond models, the effect of the bond on the cracking behavior could be analyzed in ANSYS. Also, the load bearing behavior of reinforced and prestressed concrete could be simulated more realistically.*



Detaillierte Modellierung der Rippen | Detailed modelling of the ribs  
Graphic: Robert Zobel

**► Gutachter | Experts**  
 Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, TU Dresden  
 Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, RWTH Aachen University  
 Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Leibniz Universität Hannover

Petr Máca

# UNTERSUCHUNG DES VERBUND- VERHALTENS VON STAHLSTÄBEN IN BETON BEI HOHEN BELASTUNGSRATEN

## INVESTIGATING OF THE BOND BEHAVIOUR OF STEEL BARS IN CONCRETE UNDER HIGH LOADING RATES

Heutzutage sind Stahlbetonbauwerke zunehmend extremen Belastungsereignissen wie Stößen, Explosionen und Erdbeben ausgesetzt. Stahlbeton ist ein Verbundwerkstoff, dessen Leistungsfähigkeit davon abhängt, wie gut die Lastübertragung zwischen Beton und Betonstahl funktioniert. Voraussetzung hierfür ist ein angemessener Verbund zwischen den beiden Komponenten. Dieser kann mit Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen charakterisiert werden. Im Rahmen der Dissertation wurde der Verbund unter quasistatischen und hohen Belastungsgeschwindigkeiten im Bereich von 0,01 mm/s bis 10 m/s untersucht. Es wurden gerippte Stahlstäbe mit einem Durchmesser von 10 mm untersucht, die in einen Beton mit moderater Festigkeit eingebettet waren. Ein tiefer Einblick in den experimentellen Aufbau und das technische Verfahren wird gegeben. Die Theorie der Wellenausbreitung durch einen elastischen Körper wird verwendet, um die gemessenen Ergebnisse zu analysieren.

Es wurden Push-in- und Pull-out-Tests durchgeführt, um Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen bei Impaktbelastung zu erhalten. In dieser Arbeit wurde eine neue Probengeometrie vorgeschlagen, die besser für Impakttests geeignet ist. Das experimentelle Programm beinhaltete Versuche in einem Fallturm sowie in einem modifizierten Split-Hopkinson-Bar. Der verwendete Versuchsaufbau und der Auswertungsprozess für die aufgezeichneten Daten wurden beschrieben. Auf dem Bewehrungsstahl wurden die Dehnungen direkt vor und nach der Verbundzone gemessen. Aus der Differenz wurde die Verbundspannung

*Reinforced concrete structures are increasingly subjected to extreme loading events such as impacts, explosions and earthquakes. Because reinforced concrete is a composite material, good load transfer between concrete and reinforcing steel is required. Such load transfer is provided by an adequate bond. In this dissertation, the bond stress-slip relationships were studied experimentally under quasi-static and high loading rates ranging from 0.01 mm/s to 10 m/s. Ribbed steel bars with a diameter of 10 mm, embedded in normal strength concrete, were investigated. Deep insight into experimental setup and techniques is provided. The theory of wave propagation through an elastic body is used to analyse the measured results.*

*Bond stress-slip relationships for impact loading were obtained during push-in and pull-out tests. A new specimen geometry which is more suitable for impact testing was proposed in this work. The experimental program included setting up a drop-tower as well as modified split Hopkinson pressure bar. The used experimental setups and the evaluation process of the recorded data are described. Strains were measured on the steel rebar in front of the bond zone and behind it. From the strain difference, the stress in the bond zone was derived, which was thereupon put into relation to the slip. Several aspects that influence the bond strength were discussed both for quasi-static and impact loading. The importance of different slip measurement approaches on the overall bond stress-slip relationship was illustrated. Also, the influence of the inertia of the specimen on the obtained data was discussed. It was shown that in the case of non-direct measurements, the*

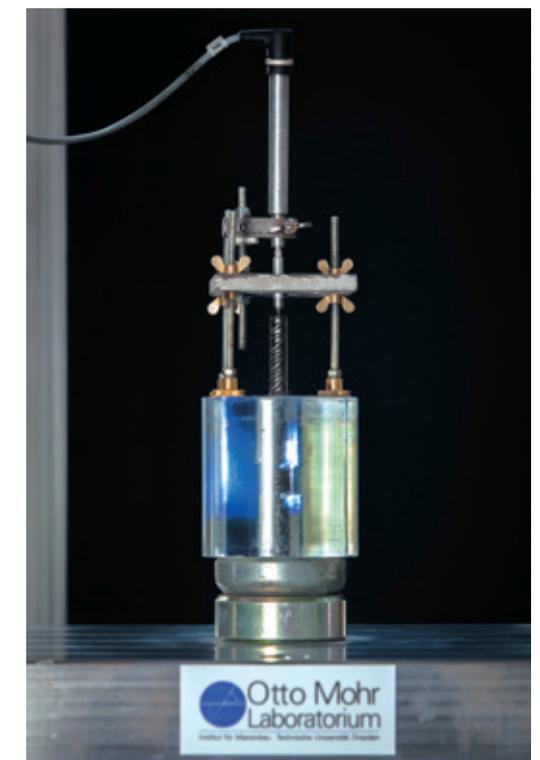
hergeleitet, die daraufhin in Beziehung zu dem Schlupf gebracht wurde. Mehrere Aspekte, die die Verbundfestigkeit beeinflussen, wurden sowohl für quasistatische als auch für Impaktbelastungen diskutiert. Die Bedeutung verschiedener Schlupfmessungsansätze für die gesamte Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung wurde veranschaulicht. Außerdem wurde der Einfluss der Trägheit der Probe auf die erhaltenen Daten diskutiert. Es zeigte sich, dass bei indirekten Messungen die Trägheitseffekte bei der Datenauswertung berücksichtigt werden müssen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf experimentellen Techniken und Bewertungsmethoden. Daher wurde nur eine Betonklasse mit einer durchschnittlichen Druckfestigkeit von 51 MPa untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass es nicht möglich ist, die Verbundspannungsrate oder Schlupfrate als einen einzelnen Wert zu definieren, da sie sich zeitlich ändern. Es wurde gefolgert, dass höhere Belastungsraten die Verbundfestigkeit erhöhen. Dieser Anstieg beträgt jedoch nur bis zu 30 % und ist viel niedriger als erwartet. In allen untersuchten Fällen bestand der Versagensmechanismus darin, dass die Betonkonsolen zwischen den Stahlrippen abscheren. Es wurde keine Änderung im Versagensmodus basierend auf der Belastungsrate oder der Art der Belastung beobachtet. Weiterhin wurde festgestellt, dass der Einfluss der Belastungsart fast vernachlässigbar ist. In den meisten Fällen war die Verbundfestigkeit bei Push-in-Belastung höher im Vergleich zum Auszug.

*inertial effects must be considered during the data evaluation process.*

*The main focus of this work was on experimental techniques and evaluation methods. Therefore, only one concrete class with an average compressive strength of 51 MPa was studied. The results show that it is not possible to define the bond stress or slip rate as a single value as they change in time. It was concluded that higher loading rates increase the bond strength. However, this increase is only up to 30%, and it is much lower than it was expected. In all investigated cases, the failure mechanism was by shearing off the concrete cantilevers between the steel ribs. No change in failure mode was observed based on the loading rate or type of loading. Nearly negligible influence of loading type was observed. In most cases, the bond resistance for push-in loading was higher in comparison to the pull-out type of loading.*

Auszugkörper (hier: aus Epoxidharz zu Demonstrationszwecken) mit kurzer mittiger Verbundzone | Pull-out specimen with short bond zone in the middle (here: specimen made of epoxy resin for demonstration purposes) | Photo: Sven Hofmann



► **Fachliche Betreuer | Supervisors**

prof. Ing. Petr Konvalinka, CSc.,  
Department of Mechanics, CTU Prague  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, TU Dresden  
Ing. Radoslav Sovják, Ph.D, Experimental Centre,  
CTU Prague

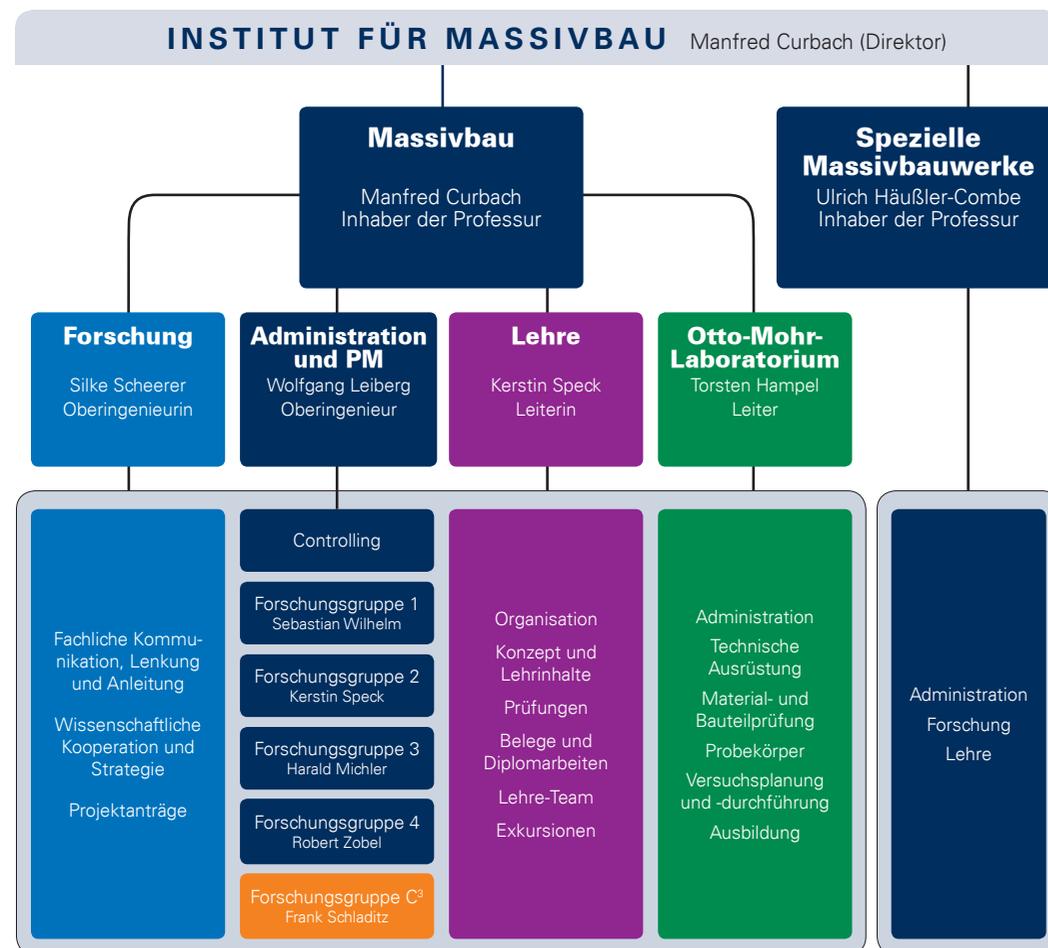
# DAS INSTITUT IN ZAHLEN UND FAKTEN

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. Neben der Forschung an textil- bzw. carbonbewehrtem Beton und Untersuchungen zum Leichtbau mit Beton sind Untersuchungen von Beton unter hochdynamischer, mehraxialer oder zyklischer Beanspruchung, unter Unterwasser- oder extraterrestrischer Beanspruchung und unter weiteren, speziellen

Aspekten – kurzum: die Untersuchung des Betonverhaltens in all seinen Facetten – Kern unserer Forschungsarbeit.

Die Grundausstattung des Instituts für Massivbau bestand im Jahr 2017 aus 50.952 EUR Sachmitteln. Aus Haushaltsmitteln wurden 10,5 Stellen für wissenschaftliche, 10 Stellen für technische Mitarbeiter sowie 2 Professorenstellen finanziert. Der Drittmittelumsatz wurde in diesem Jahr deutlich gesteigert und betrug annähernd 3,5 Mio EUR.

## Organisationsstruktur des Instituts

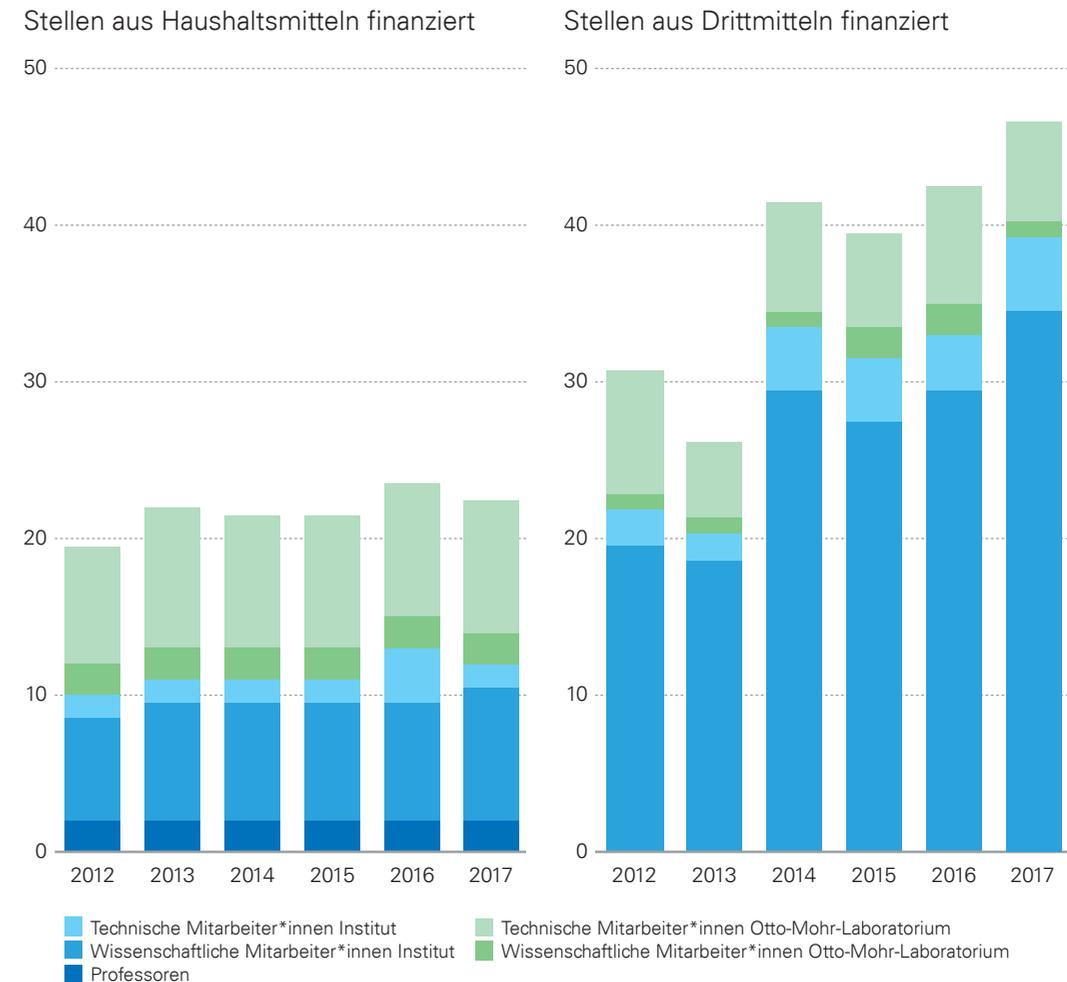


Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand 31.10.2017)

## Drittmittelausgaben in den Jahren 2013–2017

	2013	2014	2015	2016	2017
DFG	547.850 €	555.150 €	623.000 €	647.750 €	756.700 €
Bund/Länder	1.005.050 €	1.235.500 €	1.825.150 €	1.663.950 €	2.384.720 €
Stiftungen	18.700 €	73.100 €	95.500 €	98.600 €	57.270 €
Industrie	141.250 €	120.100 €	88.100 €	45.200 €	294.400 €
<b>Gesamt</b>	<b>1.712.850 €</b>	<b>1.983.850 €</b>	<b>2.631.750 €</b>	<b>2.455.500 €</b>	<b>3.493.090 €</b>

## Personalentwicklung (Stand vom 31.12.2017)



## ■ Forschungsprojekte

Im Folgenden sind die Forschungsprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2017 bearbeitet wurden.

### ► **Wissenschaftlich-Technische Betreuung (WTB) beim Projekt zur Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommerns**

Auftraggeber: Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern  
 Laufzeit: 01.05.2011–30.06.2017

### ► **Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit des SPP 1542**

Förderer: DFG / SPP 1542  
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1  
 01.10.2014–31.12.2018 – Phase 2

### ► **Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile**

Förderer: DFG / SPP 1542  
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1  
 01.10.2014–30.09.2018 – 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  
 01.05.2017–30.04.2019 – 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

### ► **ROBEX – Robotische Erkundung unter Extrembedingungen**

Förderer: Helmholtz-Gemeinschaft  
 Laufzeit: 01.10.2012–31.12.2017

### ► **Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen**

Förderer: DFG (Zukunftskonzept TU Dresden)  
 Laufzeit: 01.10.2013–31.10.2017

### ► **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

Förderer: BMBF / autartec®  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.09.2014–31.08.2017

### ► **Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.10.2014–31.12.2017

### ► **Zweiaxiale Betondruckfestigkeit unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: GRS  
 Laufzeit: 01.10.2014–31.12.2017

### ► **Willy Gehler (1876–1953): Spitzenforschung, politische Selbstmobilisierung und historische Rezeption eines bedeutenden Bauingenieurs und Hochschullehrers im "Jahrhundert der Extreme"**

Förderer: DFG  
 Laufzeit: 01.11.2014–31.10.2017

### ► **Materialeffiziente und praxiserichte Gestaltung von Verankerungen und Übergreifungen von Textilbetonbewehrungen aus Rovings hoher Feinheiten**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.01.2015–30.06.2018

### ► **C3-B1: Beschichtungen und Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau**

TP: C3-B1-I-c: Anforderungen an Bewehrungsstrukturen sowie Untersuchungen zum Verbundverhalten zwischen Textil und Beton

Förderer: BMBF / C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.05.2015–31.01.2017

### ► **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: 01.07.2015–31.12.2019

### ► **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 Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen**

TP C3-V1.2-I-a: Erstellung und Überprüfung von Sicherheits- und Bemessungskonzepten für Carbonbeton zur Erstellung eines normativen Regelwerkes

Förderer: BMBF / C<sup>3</sup>  
 Projektträger: FZ Jülich GmbH  
 Laufzeit: 01.01.2016–30.04.2018

► **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

► **Textilverstärkte Betonkonstruktionen für Impaktbeanspruchungen**

Förderer: BMWi  
 Projektträger: AiF  
 Laufzeit: 01.06.2016–30.11.2018

► **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

► **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 als Teilvorhaben

Förderer: BMBF  
 Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>  
 Laufzeit: 01.03.2017–28.02.2019

► **C3-VI.6: Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Brückenkappen durch den Einsatz von Carbonbewehrung**

TP C3-VI.6-2: Brückenkappen mit Carbonbewehrung – Überprüfung des Verbundverhaltens am Verbundkörper

Förderer: BMBF  
 Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>  
 Laufzeit: 01.03.2017–31.08.2018

► **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  
 Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>  
 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  
 Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2019

► **C3-V2.7: Erstellung von Gesamtkonzepten für die nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton**

TP: C3-V2.7-Ia: Bemessungsmodelle und Materialspezifikation

Förderer: BMBF  
 Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2020

► **GRK-TP A5: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impakt auf der impaktabgewandten Seite**

Förderer: DFG / GRK 2250/1  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2020

► **GRK-TP A6: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impakt auf der impaktzugewandten Seite**

Förderer: DFG / GRK 2250/1  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2020

► **GRK-TP B2: Modellierung des Bewehrung-Matrix-Verbundes und des mechanischen Verhaltens von Verstärkungskompositen bei kurzzeitdynamischen Einwirkungen**

Förderer: DFG / GRK 2250/1  
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2020

► **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  
 Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>  
 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  
 Projektträger: FZ Jülich / C<sup>3</sup>  
 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

## Ausgewählte Publikationen

Frenzel, M.; Curbach, M.: Shear strength of concrete interfaces with infra-lightweight and foam concrete. *Structural Concrete*, first published (online): 26.10.2017, 15 pages – 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*, first published (online): 22.11.2017, 10 pages – DOI: 10.1002/suco.201700157

Panteki, E.; Máca, P.; Häußler-Combe, U.: Finite element analysis of dynamic concrete-to-rebar bond experiments in the push-in configuration. *International Journal of Impact Engineering* 106 (2017), pp. 155–170 – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2017.03.016

## Ausgewählte Vorträge

Bochmann, J.; Jesse, F.; Curbach, M.: Experimental Determination of the stress-strain relation of fine grained concrete under compression. In: Justenes, H.; Martius-Hammer, T. A. (Eds.): *Proc. of 11th HPC & 2nd CIC*, 3.–8.3.2017 in Tromsø (Norway), 2017, full paper published digitally: paper no. 6, 10 pages

Máca, P.; Panteki, E.; Häußler-Combe, U.; Curbach, M.: Definition of Loading Rate for the Experimental and Numerical Investigation of Reinforcement's Bond in Concrete Under Impact Loading. In: Hordijk, D. A.; Luković, M. (eds.): *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet – Proc. of 2017 fib Symposium*, 12.–14.6.2017 in Maastricht (The Netherlands), Maastricht, 2017, book of abstracts: p. 104, full paper published digitally: paper no. 20170108, 9 pages – DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_108

Moussard, M.; Garibaldi, P.; Curbach, M.: The Invention of Reinforced Concrete (1848 – 1906). In: Hordijk, D. A.; Luković, M. (eds.): *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet – Proc. of 2017 fib Symposium*,

Schmidt, A.; Curbach, M.: Design optimization to increase the (buckling) stability of concrete columns. *Structural Concrete* 18 (2017) 5, pp. 680–692 – DOI: 10.1002/suco.201600183

Schumann, A.; Michler, H.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Parking slabs made of carbon reinforced concrete. *Structural Concrete*, first published (online): 21.11.2017, 9 pages – DOI: 10.1002/suco.201700147

Wilhelm, S.; Curbach, M.: Experimental and non-linear numerical analysis of underwater housings for the deep sea made of ultra-high performance concrete (UHPC). *Structural Concrete* 18 (2017) 1, pp. 216–224 – DOI: 10.1002/suco.201600018

12.–14.6.2017 in Maastricht (The Netherlands), Maastricht, 2017, book of abstracts: p. 214, full paper published digitally: paper no. 20170316, 10 pages – DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_316

Scheerer, S.; Schütze, E.; Curbach, M.: Strengthening and Repair with Carbon Concrete Composites – the First General Building Approval in Germany. In: Mechtcherine, V.; Slowik, V.; Kabele, P. (Eds.): *Proc. of SHCC4 – International Conference on Strain-Hardening Cement-Based Composites*, 18.–20.9.2017 in Dresden, RILEM Book series, Vol. 15, Dordrecht: Springer, pp. 743–751 – DOI: 10.1007/978-94-024-1194-2\_85

Senckpiel, T.; Häußler-Combe, U.: Experimental and computational investigations on shell structures made of carbon reinforced concrete. In: Bögle, A.; Grohmann, M. (Eds.): *Interfaces: architecture.engineering.science – Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017*, 25.–28.9.2017 in Hamburg, Hamburg: HCU & IASS, 2017, book of abstracts: p. 124, full paper published digitally: paper no. 9529, 8 pages

Steinbock, O.: Gallery Bridge. In: Schlaich, M.; Goldack, A. (Hrsg.): *The World's Footbridges for Berlin – 76 Footbridge Design Ideas for Six Locations in the City of Berlin*. Begleitband zur Footbridge-Conference 2017, 6.–8.9.2017 in Berlin, Berlin: Jovis, 2017, S. 91–93

Weselek, J.; Häußler-Combe, U.: Sensitivity Studies Within a Reliability Analysis of Cross Sections with Carbon Concrete. In: Caspeele, R.; Taerwe, L.; Proske, D. (Eds.): *Proc. of 14th International Probabilistic Workshop*, 5.–7.12.2016 in Ghent (Belgium), Ghent: Springer, 2017, S. 389–405

## Leistungen in der Lehre

### Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2016/2017

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 2017

Stahlbetonbau	V	4.	Speck	2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Speck, Wilhelm, Schumann	2/2	BIW
Stahlbetonkonstruktionslehre	V/Ü	6.	Häußler-Combe	2/1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V/Ü	8.	Scheerer, Bochmann, Hering, S. May, Michler, Quast, Schneider, Speck, Steinbock	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 2017

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende/Betreuer	SWS	Studiengang
Computational Engineering im Massivbau	V/Ü	8.	Häußler-Combe	2/1	BIW
Design of Concrete Structures	V/Ü	2.	Garibaldi, Michler	2/1	ACCESS
Computational Methods for Reinforced Concrete Structures	V/Ü	2.	Häußler-Combe	2/1	ACCESS
Cable stayed bridges	V/Ü	2.	Svensson, Garibaldi	2/1	ACCESS

Studienjahr | Academic year

	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17
Projektarbeiten	7	6	7	7	11	17	22	13	12
Project Works				7	14	11	16	7	17
Bachelorarbeiten							1		
Diplomarbeiten	5	5	7	9	11	19	17	26	15
Master's Theses	1	2		1	5	12	10	15	9

Wissenschaftlicher Nachwuchs

Promotionen am Institut 2017

Michael Dimmer

Softwaresystem zur Planungsunterstützung im Straßenbrückenbau

Sebastian Wilhelm

Einsatz von UHPC-Druckgehäusen zum Schutz vor extremen Umgebungsbedingungen der Tiefsee

Robert Zobel

Verbundmodellierung von Beton- und Spannstahl unter Querkraft

Petr Máca

Investigating of the bond behaviour of steel bars in concrete under high loading rates

(Diese Arbeit entstand am Institut für Massivbau; die Erstbetreuung erfolgte durch die CTU Prag.)

Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2010–2017

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Promotionen	1	5	1	3	4	2	1	3

Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2010–2017

Promotionen	1	1	1	1	1	1	1	5
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Austausch und Zusammenarbeit

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:

- Nationaler Delegierter des fib für Deutschland, bis Mai 1998 des Vorgängerverbandes CEB
- Convenor der fib Task Group 1.6 History of Concrete Structures
- Convenor 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 werden u. a. verschiedene Gutachten erstellt:

- Gutachten im Berufungsverfahren für eine Honorarprofessur an der Universität in Stuttgart;
- Stellungnahme BMWi zum Angebot „Weiterentwicklung der Analysemethoden zur Bewertung des Leck-vor-Bruch-Verhaltens metallischer Komponenten einschließlich Leckratenbestimmung“;

- Stellungnahme BMWi zum Angebot „Weiterentwicklung der Analysemethoden zur Bestimmung des Komponentenversagens bei Unfallbelastungen“;

- Stellungnahme BMWi zum Angebot „Methodik zur zuverlässigkeitsorientierten Nachrechnung und Bewertung bestehender kerntechnischer Bauwerke mit verlängerter Nutzungsdauer“; Teilprojekt „Methodik zur probabilistischen Bewertung“.

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.

# PREISE UND EHRUNGEN

## Verleihung des Kurt-Beyer-Preises 2017

Am 21. April wurde im Festsaal des Rektorats der Kurt-Beyer-Preis 2017 verliehen. Jeweils ein Absolvent der Fakultät Architektur und der Fakultät Bauingenieurwesen erhielten den mit 2500 Euro dotierten Preis für ihre überragenden Diplomarbeiten.

Dipl.-Ing. Alexander Schumann vom Institut für Massivbau erarbeitete innerhalb seiner Diplomarbeit einen Entwurf einer freitragenden Halle aus Carbonbeton. Bei der Verwendung von Carbonbeton können schlanke und filigrane Tragelemente konzipiert werden. Zusätzlich zum Einsatzgebiet bei Fassadenelementen und Verstärkungsmaßnahmen für bestehende Gebäude ist Carbonbeton für filigrane neue Bauwerke, insbesondere Flächentragwerke wie Schalen, Falterwerke, Gitterschalen usw., prädestiniert. Die von Alexander Schumann entworfene Halle weist eine stützenfreie Überdachung in Form einer doppelt gekrümmten Schale mit einer lichten Raumhöhe von 8 m auf. Sie ist aus einzelnen vorgefertigten Textilbetonsegmenten, Rautenstäben und einer sich zwischen den einzelnen Rauten befindenden

aussteifenden Textilbetonschicht gefertigt. Somit ist ein optisch ansprechender Entwurf entstanden, der aus einer schlanken und filigranen Tragstruktur besteht, die komplett vorgefertigt werden kann. Der Entwurf zeigt, dass ein Wandel weg vom Massiven hin zu einem leichten und energieeffizienten Bauen durch Einsatz von Carbonbeton vollzogen werden kann.



Die glücklichen Preisträger: Maximilian Kunze (li.) und Alexander Schumann (re.) | Foto: Sven Hofmann



Skizzen aus der Entwurfsphase: Vorzugsvarianten und Formfindung nach dem Prinzip der Translationsschale | Zeichnungen: Alexander Schumann



Finaler Entwurf | Visualisierung: Alexander Schumann

## 50 Jahre Promotion von Dr.-Ing. Hans Wiese

Genau vor 50 Jahren, am 16.06.1967, konnte Hans Wiese mit erfolgreicher Verteidigung seiner Dissertation zum Thema „Das Verhalten von Stahlbetonplattenbalken bei Rissbildung auf Grund theoretischer und praktischer Untersuchungen“ seine wissenschaftliche Befähigung nachweisen und seine Promotionsurkunde in Empfang nehmen. Am 16. Juni 2017 überreichte Prof. Manfred Curbach Herrn Dr. Hans Wiese die Goldene Urkunde der TU Dresden zum 50. Jubiläum der Verleihung des akademischen Grades bei einem Frühstück ihm zu Ehren. Der Laudator Manfred Curbach gab kurze Einblicke in das Leben und Wirken von Hans Wiese, stellte einige wichtige Schriften aus seiner Feder vor und animierte die jungen Mitarbeiter\*innen des Instituts, einen Blick in die ausliegende Dissertation zu werfen. Manfred Curbach sprach auch von der Strahlkraft des Fachmannes Hans Wiese auf seine eigene Entwicklung und dankte ihm dafür.

Im Anschluss konnten alle vom Jubilar bei einem Ausflug in die Vergangenheit einiges über seine Wurzeln in der Havelstadt Brandenburg und sein privates Leben erfahren. So zum Beispiel darüber, dass ein Kinofilm von Ingmar Bergman damals sein Interesse am Bauingenieurwesen geweckt

haben soll – ein imposantes Brückenbauwerk nahm für ihn in dem Film wohl die Hauptrolle ein. Auch die 1929 eingeweihte „Jahrtausendbrücke“ vor seiner Haustür hat die Entscheidung für seinen späteren beruflichen Werdegang mit beeinflusst.

In der anschließenden Feststunde bei lockerer Atmosphäre fanden noch zahlreiche intensive Gespräche statt, Wissenstransfer zwischen den Generationen an einem „Goldenen Morgen“ zu einem „Goldenen Anlass“.



Prof. Manfred Curbach überreicht die Goldene Urkunde der TU Dresden | Foto: Sven Hofmann

## Promotionsbetreuung <sup>Ausgezeichnet</sup>

Prof. Häußler-Combe war 2017 unter den Nominierten für den Preis für die beste Promotionsbetreuung. In diesem Jahr wurde, wie der Prorektor für Forschung der TU Dresden schreibt, von der Graduiertenakademie erstmals der Preis Promotionsbetreuung <sup>Ausgezeichnet</sup> ausgeschrieben; die Idee zur Ausschreibung des Preises kam aus der Professorenschaft selbst, um die Bedeutung einer guten Betreuung der Promovierenden stärker ins Blickfeld zu rücken. Die Resonanz unter den Promovierenden und Postdocs der Graduiertenakademie war hierzu groß. Mit der Nominierung für den Preis Promotionsbetreuung <sup>Ausgezeichnet</sup> gehört Prof. Häußler-Combe zu den besonders gewürdigten Betreuern von Promovierenden.



Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe  
Foto: Ulrich van Stipriaan



In der Sächsische Landesbibliothek - Staats- und Universitätsbibliothek Dresden | Foto: Sven Hofmann

## PUBLIKATIONEN

### ■ Monografien

- Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium. 13./14.3.2017 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, 202 S. \*)
- Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2016 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, 205 S. \*)
- Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 9. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, 21.9.2017 in Dresden, veröffentlicht in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 43, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, 216 S. \*)
- Fraunholz, U.; Schönrich, H.; Steinbock, O.; Milker, C.; Pfennig, P.: Willy Gehler – Karrieren eines deutschen Bauingenieurs. Begleitbroschüre zur gleichnamigen Ausstellung, Dresden: TU Dresden – Lehrstuhl für Technik- und Technikwissenschaftsgeschichte und Institut für Massivbau, 2017, 60 S. – online: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-224065>
- TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, 116 S.
- \*) online verfügbar u. a. unter: [https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/forschung/publikationen/Jahrbuch\\_Monographien/index](https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/forschung/publikationen/Jahrbuch_Monographien/index)

### ■ Ausgewählte Forschungsberichte

- Hering, M.; Kühn, T.; Curbach, M.: Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Behälter (Flugzeugtanks); Phase 1B: Quantifizierung der Schädigungen des Betongefüges, Teilprojekt: Fallturmversuche. Abschlussbericht zum Reaktorsicherheitsforschungs-Vorhaben Nr. 1501479, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Institut für Massivbau der TU Dresden, 1/2017, 415 S.
- Schmidt, N.; Hampel, T.; Steinbock, O.; Scheerer, S.; Curbach, M.; Fleder, H.; Wellner, S.: Wissenschaftlich-Technische Betreuung (WTB) beim Projekt zur Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie auf den Brückenbestand in Mecklenburg-Vorpommern. Projektbericht im Auftrag von LS M-V, Institut für Massivbau, TU Dresden, 12/2017, 227 S.

- Steinbock, O.; Curbach, M.; Hampel, T.; Ewertowski, M.; Schmidt, N.: Wissenschaftliche Untersuchung zum räumlichen Lastabtrag von Balkenreihenüberbauten am Beispiel des Brückenbauwerks A14-BW1 Ü4 Lübesse im Brückenbestand Mecklenburg-Vorpommern. Projektbericht im Auftrag von LS M-V, Institut für Massivbau, TU Dresden, 6/2017
- Steinbock, O.; Hampel, T.; Curbach, M.: Bearbeitung einer gutachterlichen Stellungnahme für das Bauwerk Brücke A19, AS Laage bei Kritzkow. Projektbericht im Auftrag von LS M-V, Institut für Massivbau, TU Dresden, 3/2017

### ■ Beiträge in Fachzeitschriften oder Monografien

- Bochmann, J.; Curbach, M.; Jesse, F.: Carbonbeton unter Druck – Erste Ergebnisse systematischer experimenteller Untersuchungen. *Beton- und Stahlbetonbau* 112 (2017) 5, S. 293–302.
- Bochmann, J.; Curbach, M.; Jesse, F.: Influence of artificial discontinuities in concrete under compression load – A literature review. *Structural Concrete*, first published (online): 8.8.2017, 9 pages – DOI: 10.1002/suco.201700041
- Curbach, M.; Müller, E.: Multifunctional precast elements made from carbon-reinforced concrete. *BFT International* 83 (2017) 2, S. 10 [Proc. der 61. Betontage, 14.–16.2.2017 in Neu-Ulm]
- Curbach, M.; Schladitz, F.; Müller, E.: Carbon concrete – from research to real life. *BFT International* 83 (2017) 1, S. 36–41
- Curbach, M.; Schladitz, F.; Weselek, J.; Zobel, R.: Eine Vision wird Realität: Der Betonbau der Zukunft ist nachhaltig, leicht, flexibel und formbar – dank Carbon. *Prüfingenieur* (2017) 51, S. 20–35
- Dinkelaker, M.; Michel, A.; Schladitz, F.; Aurbach, S.: Trockenbausystem aus Carbonbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 112 (2017) 11, S. 756–762 – DOI: 10.1002/best.201700061
- Frenzel, M.; Curbach, M.: Shear strength of concrete interfaces with infra-lightweight and foam concrete. *Structural Concrete*, first published (online): 26.10.2017, 15 pages – 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*, first published (online): 22.11.2017, 10 pages – DOI: 10.1002/suco.201700157
- Kirmse, S.; Kahnt, A.; Kraft, R.; Tietze, M.; Holschemacher, K.: Energiefassaden aus Textilbeton. Anforderungen der Zukunft. *BWI – BetonWerk International* 20 (2017) 3, S. 158–171
- Kühn, T.; Schmitt, D.; Millon, O.; Häntzschel, T.; Stolz, A.; Curbach, M.; Thoma, K.: Messtechnische Herausforderungen bei der Analyse von hochdynamischen Aufprallbeanspruchungen. *Bautechnik* 93 (2017), S. 717–724 – DOI: 10.1002/bate.201600055
- Panteki, E.; Máca, P.; Häußler-Combe, U.: Finite element parametric study on the effect of loading rate on the bond of reinforcement in concrete. *Procedia Engineering* 210 (2017), pp. 39–44 – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.046 [Proc. of 6<sup>th</sup> International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading, PROTECT2017, 11.–12.12.2017 in Guangzhou (China)]
- Panteki, E.; Máca, P.; Häußler-Combe, U.: Finite element analysis of dynamic concrete-to-rebar bond experiments in the push-in configuration. *International Journal of Impact Engineering* 106 (2017), pp. 155–170 – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2017.03.016
- Quast, M.; Curbach, M.: Concrete under biaxial dynamic compressive loading. *Procedia Engineering* 210 (2017), pp. 24–31 – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.044 [Proc. of 6<sup>th</sup> International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading, PROTECT2017, 11.–12.12.2017 in Guangzhou (China)]
- Reuter, U.; Sultan, A.; Reischl, D.: A comparative study of machine learning approaches for modelling concrete failure surfaces. *Advances in Engineering Software*, first published (online): 22.12.2017 (print: 116 (2018), pp. 67–79)
- Scheerer, S.; Chudoba, R.; Garibaldi, M. P.; Curbach, M.: Shells made of Textile Reinforced Concrete – Applications in Germany. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures J.IASS* 58 (2017) 1 – special issue: new directions for shell structures, pp. 79–93 – DOI: 10.20898/j.iass.2017.191.846
- Scheerer, S.; Frenzel, M.: Erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Verstärken mit Textilbeton – Z-31.10.-182. *Frilo-Magazin* (2017), S. 10–17

- Schladitz, F.; Curbach, M.: Carbon Concrete Composite. In: Holschemacher, K. (Hrsg.): Neue Herausforderungen im Betonbau. Hintergründe, Auslegungen, Neue Tendenzen. Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2017, S. 121–138
- Schladitz, F., Mende, K.: Abstandhaltersystem für Carbon- und Textilbeton. *BWI – BetonWerk International* 20 (2017) 5, S. 50–56
- Schmidt, A.; Curbach, M.: Design optimization to increase the (buckling) stability of concrete columns. *Structural Concrete* 18 (2017) 5, pp. 680–692 – DOI: 10.1002/suco.201600183
- Schneider, K.; Butler, M.; Lieboldt, M.; Mechtcherine, V.: Nachhaltige Bindemittel und Betone für die Zukunft. *BWI – BetonWerk International* 20 (2017) 6, S. 18–21
- Schneider, K.; Lieboldt, M.; Liebscher, M.; Fröhlich, M.; Hempel, S.; Butler, M.; Schröfl, C.; Mechtcherine, V.: Mineral-based Coating of Plasma-treated Carbon Fibre Rovings for Carbon Concrete Composites with Enhanced Mechanical Performance. *Materials* 10 (2017) 4, 17 S. – DOI: 10.3390/ma10040360
- Schumann, A.; Curbach, M.: Carbonbeton – die Renaissance der Schalenträgerwerke. In: George-Bähr-Forum für Baukultur, Ingenieurarchitektur und Ingenieurbaukunst (Hrsg.): George-Bähr-Forum – Jahrbuch 2016/2017, Dresden, 2017, S. 66–71
- Schumann, A.; Michler, H.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Parking slabs made of carbon reinforced concrete. *Structural Concrete*, first published (online): 21.11.2017, 9 pages – DOI: 10.1002/suco.201700147
- Steinbock, O.; Curbach, M.; Hänseroth, Th.: Willy Gehler – Versuch einer Einordnung – Workshop zu Leben und Wirken eines umstrittenen Hochschullehrers und Stahlbetonpioniers. *Beton- und Stahlbetonbau* 112 (2017) 6, S. 556–559 – DOI: 10.1002/best.201700030
- Steinbock, O.; Curbach, M.: Willy Gehler – Ein Fachmann für Kuppel und Schale. In: George-Bähr-Forum für Baukultur, Ingenieurarchitektur und Ingenieurbaukunst (Hrsg.): George-Bähr-Forum – Jahrbuch 2016/2017, Dresden, 2017, S. 120–126
- Wilhelm, S.; Curbach, M.: Experimental and non-linear numerical analysis of underwater housings for the deep sea made of ultra-high performance concrete (UHPC). *Structural Concrete* 18 (2017) 1, pp. 216–224 – DOI: 10.1002/suco.201600018
- Wilhelm, S.; Curbach, M.: Über den Tellerrand schauen – von der Tiefsee bis zum Mond. In: Beton – Herausforderungen in Forschung und Praxis, Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages von Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher, Ruhr Universität Bochum, 2017, S. 14–27
- Zobel, R.; Curbach, M.: Numerical study of reinforced and prestressed concrete components under biaxial tensile stresses. *Structural Concrete* 18 (2017) 2, pp. 356–365 – DOI: 10.1002/suco.201600077
- Hille, F.; Nery, G.; Kühn, T.; Hering, M.; Tschalkner, M.; Redmer, B.; Rogge, A.; Curbach, M.: Tomographic and load test investigations for post-impact damage characterization of RC plates. In: Proc. of SMiRT-24, 20.–25.8.2017 in Busan (Südkorea), 2017, 10 pages – published digitally
- Kühn, T.; Hering, M.; Wachtel, H.; Wellner, S.: Messtechnische Bewertung der dynamischen Tragfähigkeitsreserven eines Probefühnenbodens der Semperoper Dresden. In: Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 9. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, 21.9.2017 in Dresden, veröffentlicht in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 43, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, S. 189–206
- Kupke, M.; Müller, E.: Funktionsintegrierte Bauteile aus Carbonbeton (autartec®). In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 44/45
- Máca, P.; Panteki, E.; Häußler-Combe, U.; Curbach, M.: Definition of Loading Rate for the Experimental and Numerical Investigation of Reinforcement's Bond in Concrete Under Impact Loading. In: Hordijk, D. A.; Luković, M. (eds.): High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet – Proc. of 2017 fib Symposium, 12.–14.6.2017 in Maastricht (The Netherlands), Maastricht, 2017, book of abstracts: p. 104, full paper published digitally: paper no. 20170108, 9 pages – DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_108
- May, S.: Materialeffiziente Deckenelemente aus Carbonbeton. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 58/59
- Michler, H.: Konzepte für die Anwendung von Textilbeton im Fertigteilbau. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 52/53
- Moussard, M.; Garibaldi, P.; Curbach, M.: The Invention of Reinforced Concrete (1848 – 1906). In: Hordijk, D. A.; Luković, M. (eds.): High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet – Proc. of 2017 fib Symposium, 12.–14.6.2017 in Maastricht (The Netherlands), Maastricht, 2017, book of abstracts: p. 214, full paper published digitally: paper no. 20170316, 10 pages – DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_316
- Müller, E.: Gesamtkonzept Verstärken. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 104/105
- Panzer, J.: Qualitätssicherung von Carbonbeton. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 86/87
- Scheerer, S.; Schütze, E.; Curbach, M.: Strengthening and Repair with Carbon Concrete Composites – the First General Building Approval in Germany. In: Mechtcherine, V.; Slowik, V.; Kabele, P. (Eds.): Proc. of SHCC4 – International Conference on Strain-Hardening Cement-Based Composites, 18.–20.9.2017 in Dresden, RILEM Book series, Vol. 15, Dordrecht: Springer, pp. 743–751 – DOI: 10.1007/978-94-024-1194-2\_85
- Schmidt, A.; Curbach, M.: Architectural columns as a result of shape optimization. In: Bögle, A.; Grohmann, M. (Eds.): Interfaces: architecture.engineering.science – Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017, 25.–28.9.2017 in Hamburg, Hamburg: HCU & IASS, 2017, book of abstracts: p. 152, full paper published digitally: paper no. 9253, 8 pages
- Schumann, A.: Verbundverhalten von Carbonstäben. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 72/73
- Senckpiel, T.; Ehlig, D.: Mechanische Verankerung. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 130/131
- Senckpiel, T.; Häußler-Combe, U.: Experimental and computational investigations on shell structures made of carbon reinforced concrete. In: Bögle, A.; Grohmann, M. (Eds.): Interfaces: architecture.engineering.science – Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017, 25.–28.9.2017 in Hamburg, Hamburg: HCU & IASS, 2017, book of abstracts: p. 124, full paper published digitally: paper no. 9529, 8 pages
- Sovják, R.; Máca, P.; Imlauf, T.: Effect of Fibre Length on the Fracture Energy of UHPFRC. In: Kubica, J. (ed.): International Conference on Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures AMCM'2017, 5.–7.6.2017 in Gliwice, Procedia Engineering, Vol. 193, Elsevier, pp. 74–79 – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.06.188
- Spelter, A.; Wagner, J.: Dauerstandverhalten von Carbonbeton. In: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 96/97

## ■ Beiträge in Tagungsbänden

- Bochmann, J.; Jesse, F.; Curbach, M.: Experimental Determination of the stress-strain relation of fine grained concrete under compression. In: Justenes, H.; Martius-Hammer, T. A. (Eds.): Proc. of 11th HPC & 2nd CIC, 3.–8.3.2017 in Tromsø (Norway), 2017, full paper published digitally: paper no. 6, 10 pages
- Breitenbücher, R.; Curbach, M.: Brückenkappen mit Carbonbewehrung. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 156/157
- Breitenbücher, R.; Curbach, M.: Carbonbeton zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 140/141
- Curbach, M.: Laudatio anlässlich der Verleihung der Wackerbarth-Medaille an Dr.-Ing. Gerhard Wange. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium. 13./14.3.2017 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, S. 2–13
- Curbach, M.; Schladitz, F.: Carbonbeton sparsam, schonend, schön. In: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV, Hrsg.): Vorträge zum Deutschen Bautechnik-Tag am 27./28.4.2017 in Stuttgart, DBV-Heft 40, 2017, S. 145/146
- Frenzel, M.; Curbach, M.: Load-bearing behavior and efficiency of layered two-way slabs. In: Bögle, A.; Grohmann, M. (Eds.): Interfaces: architecture.engineering.science – Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017, 25.–28.9.2017 in Hamburg, Hamburg: HCU & IASS, 2017, book of abstracts: p. 153, full paper published digitally: paper no. 9868, 10 pages

- Steinbock, O.; Bochmann, J.: Brückenbauexkursion 2016 – Hup Holland Hup. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium. 13./14.3.2017 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, S. 177–185
- Steinbock, O.; Curbach, M.: The Hoyer-System – A Forgotten Pre-stressed Concrete System up to Date Again. In: Hordijk, D. A.; Luković, M. (eds.): High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet – Proc. of 2017 fib Symposium, 12.–14.6.2017 in Maastricht (Netherlands), Maastricht, 2017, book of abstracts: p. 216, full paper published digitally: paper no. 20170319, 8 pages – DOI: 10.1007/978-3-319-59471-2\_319
- Steinbock, O.: Gallery Bridge. In: Schlaich, M.; Goldack, A. (Hrsg.): The World's Footbridges for Berlin – 76 Footbridge Design Ideas for Six Locations in the City of Berlin. Begleitband zur Footbridge-Conference 2017, 6.–8.9.2017 in Berlin, Berlin: Jovis, 2017, S. 91–93
- Steinbock, O.; Mertzsch, O.; Hampel, T.; Schmidt, N.; Curbach, M.: Interaktion zwischen Praxis und Forschung – Systematische Nachrechnung des Brückenbestands in Mecklenburg-Vorpommern. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium. 13./14.3.2017 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, S. 117–128
- Steinbock, O.: Willy Gehler als Protagonist der experimentellen Bauwerksuntersuchung. In: Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 9. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, 21.9.2017 in Dresden, veröffentlicht in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 43, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, S. 7–22
- Tietze, M.: The NEW Way To Built – C<sup>3</sup> Carbon Concrete Composite – Challenges And Potentials. In: Klöckner, G. (Hrsg.): Proc. of ICCX Central Europe 2017, 7.–9.2.2017 in Warschau (Polen), 2017, S. 10
- Wellner, S.; Scheerer, S.; Hampel, T.: Untersuchungen des Otto-Mohr-Laboratoriums an historischer Bausubstanz in und um Dresden. In: Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 9. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, 21.9.2017 in Dresden, veröffentlicht in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden *kid*, Heft 43, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, S. 207–214
- Wellner, S. (zusammengestellt): Chronik des Brückenbaus. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium, 13./14.3.2017 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2017, S. 187–202
- Weselek, J.; Häußler-Combe, U.: Sensitivity Studies Within a Reliability Analysis of Cross Sections with Carbon Concrete. In: Caspeele, R.; Taerwe, L.; Proske, D. (Eds.): Proc. of 14<sup>th</sup> International Probabilistic Workshop, 5.–7.12.2016 in Ghent (Belgium), Ghent: Springer, 2017, S. 389–405
- Wilhelm, S.; Curbach, M.: Sealing systems for low-cost and corrosion-free pressure housings made of ultra-high performance concrete (UHPC). In: MTS/IEEE (Hrsg.): Proc. of OCEANS'17, 19.–22.6.2017 in Aberdeen (GB), 2017, 4 pages (published digitally on CD)
- Wink, R.; Tietze, M.: Wirtschaftlichkeit. In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e.V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 164/165
- Zobel, R.: Normalität für Carbonbeton In: TUDALIT e.V. und C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e.V. (Hrsg.): Tagungsband 9. Carbon- und Textilbetontage, 26./27.9.2017 in Dresden, 2017, S. 90/91
- Curbach, M.: Der faszinierende Baustoff Carbonbeton. Exzellent. Dresden forscht – Volkshochschule Dresden e.V., 23.5.2017
- Holz, K.: TRC under cyclic loads. Oral presentation at: ACI Spring Convention, 26.–30.3.2017 in Detroit (USA), (publication planned in 2018)
- Lieboldt, M.: Carbonbeton – Ein Materialverbund für das Bauen der Zukunft. Kolloquium „Tag der Forschung“ des Deutschen Beton und Bautechnik-Vereines e.V., 13.10.2017 in Berlin
- Lieboldt, M.: Carbonbeton im Ingenieurbau. Messe BAU 2017, 19.1.2017 in München
- Lieboldt, M.: Carbonbeton in der Betoninstandsetzung – Erfahrungen im Abwasserbereich. Seminar „Standpunkte zur Sanierung von Großprofilen“ des Stadtentwässerungsbetriebes der Landeshauptstadt Düsseldorf, 8.12.2017
- Lieboldt, M.: Carbon Concrete Composite – Forschung und Praxis. Regionalfachtagung des Verbandes Deutscher Betoningenieure e.V., 18.10.2017 in Hardheim
- Minar, S.: Carbonbeton – sparsam, schonend, schön. Henry Arnhold Dresden Summer School 2017, 19.9.2017 und Designers Open 2017/Green Product Award der White Lobster, 20.10.2017 in Leipzig
- Neumann, F.; Curbach, M.: Thermal treatment of desert sand to produce construction material. Oral presentation at: CMSS-2017 – Second International Congress on Materials & Structural Stability, 22.–25.11.2017 in Rabat (Morocco), (publication in preparation)
- Reischl, D. S.: Virtual Concrete Specimens – A Discrete Element Approach to the Generation of Densely Packed Ensembles of Virtual Aggregates. Oral presentation at: PARTICLES 2017 – V International Conference on Particle-based Methods; Fundamentals and Applications, 26.–28.9.2017 in Hannover
- Schladitz, F.: C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite. BMBF-Veranstaltung „Erfahrungsaustausch der Zwanzig20-Konsortien“, 19./20.9.2017 in Berlin
- Schladitz, F.: Carbonbeton – Die faszinierenden Möglichkeiten von Carbonbeton. Berliner Industriegespräch der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V., 1.11.2017
- Schladitz, F.: C<sup>3</sup> Carbonbeton – eine dauerhafte Verbindung wirkt. Transportbeton-Tage 2017 des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie e.V., 7./8.9.2017 in Augsburg
- Schladitz, F.: Neues vom Carbonbeton – Was ist schon möglich. 5. Jahrestagung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, 21.9.2017 in Kaiserslautern
- Tietze, M.: Carbon and concrete – The new way to build? ICCX Central Europe der Concrete Plant International, 8./9.2.2017 in Ossa (Polen)
- Tietze, M.: Carbon and concrete – The future of construction? International Summer School “B\_CON 2017 Bio-inspired Concepts for the Built Environment“ der TU Dresden, 21.8.2017
- Tietze, M.: Carbonbeton – Idee, Material und Anwendung. BBS International – Hochschule HAWK Hildesheim, 25.7.2017
- Tietze, M.: Carbonbeton bei Neubau und Instandsetzung. IBV Seminar – Bewirtschaftung begehrter Versorgungskanäle 2017, 26.10.2017 in Leipzig

## ■ Sonstige Beiträge, Messen und Ausstellungen

- Ausstellung zum Thema „Carbonbeton: Verbundmaterial der Superlative“ im InnoTruck des Bundesministerium für Bildung und Forschung, deutschlandweit unterwegs, 2017-2018
- Gut gerüstet für die nächste Evaluation. Interview mit Manfred Curbach, BAW Geschäftsbericht 2016, erschienen 9/2017, S. 4/5
- Messestand zum Carbonbeton auf der Weltleitmesse BAU, München, 16.-21. Januar 2017
- Sonntagsbrunch mit “Betonkopf“ Manfred Curbach. Sendung von MDR 1 Radio Sachsen am 29.1.2017
- Scheerer, S.: Institut für Massivbau der TU Dresden. DGM im Blickpunkt (2017), S. 80–89
- Schladitz, F.: Carbonbeton in der Baupraxis. INGENIEURSPIEGEL 1 (2017), S. 85/86

## ■ Vorträge

- Beckmann, B.; Curbach, M.: Discrete element simulation of concrete fracture using polygonal elements. Oral presentation at: PARTICLES 2017 – V International Conference on Particle-based Methods; Fundamentals and Applications, 26.–28.9.2017 in Hannover
- Curbach, M.: Carbonbeton – Eigenschaften und Chancen eines neuen Werkstoffs. Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste, 22.2.2017 in Düsseldorf und Sächsische Akademie der Wissenschaften, 10.4.2017 in Leipzig
- Curbach, M.: Forschung im Bauwesen – Warum so viele neue Ideen gefragt sind. Sommerschule des SPP 1542, 8.–12.5.2017 in Meisdorf (Harz)
- Curbach, M.: Impaktbeanspruchungen auf Bauteile und Bauwerke. Sommerschule des SPP 1542, 8.–12.5.2017 in Meisdorf (Harz)
- Curbach, M.: Carbon concrete – a fascinating material – economical, efficient, attractive. transCampus Dresden, 4.5.2017 in London (GB)

# TEAM 2017

Institut für Massivbau

## Professur für Massivbau

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

## Prof. Dr. rer. nat. Klaus Thoma

Honorarprofessor, Fachgebiet Kurzzeitdynamik

## Geschäftsführende Oberingenieurin

Dr.-Ing. Silke Scheerer

## Oberingenieur Projektmanagement

Dipl.-Krist. Wolfgang Leiberg

## Organisation Lehre

Dr.-Ing. Kerstin Speck

## Controlling/Sekretariat

Silvia Haubold (Controlling)

Sabine Hofmann (Sekretariat, SPP 1542)

Dajana Musiol (C<sup>3</sup>)

Jana Strauch (C<sup>3</sup>)

Lisa Friedrichs (C<sup>3</sup>)

## Professur für Spezielle Massivbauwerke

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

## Sekretariat

Angela Heller

## Wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen

### Forschungsgruppe 1: Verbund/Leicht Bauen

Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm (Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Ing. Kristina Farwig

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

Dipl.-Ing. Angela Schmidt

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

### Forschungsgruppe 2: UHPC/DEM/Impakt

Dr.-Ing. Kerstin Speck (Forschungsgruppenleiterin)

Dr.-Ing. Birgit Beckmann

Dipl.-Ing. Jakob Bochmann

Dipl.-Ing. Melchior Deutscher

Dipl.-Ing. Marcus Hering

Dipl.-Ing. Marc Koschemann

Tino Kühn M.Sc.

M. Eng. Petr Máca

Saeid Zabihi Moghaddam M.Sc.

Dipl.-Ing. Oliver Mosig

Dipl.-Ing. Evmorfia Panteki

Dipl.-Ing. Matthias Quast

Dipl.-Math. Dirk S. Reischl

Alaleh Shehni M. Sc.

### Forschungsgruppe 3: Textilbeton

Dr.-Ing. Harald Michler (Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow

Olga Diring M.Sc.

Dipl.-Ing. Daniel Karl

Dipl.-Ing. Sebastian May

Dipl.-Ing. Egbert Müller

Dipl.-Ing. (FH) Frank Neumann

Dipl.-Ing. Jan Panzer

Dipl.-Ing. Robert Schneider

Dr.-Ing. Thoralf Schober

Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel

### Forschungsgruppe 4: Carbonbeton

Dipl.-Ing. Robert Zobel (Forschungsgruppenleiter)

Dipl.-Ing. Daniel Ehlig

Dipl.-Ing. Karoline Holz

Dipl.-Ing. Maximilian May

Dipl.-Ing. Alexander Schumann

Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze

Dipl.-Ing. Juliane Wagner

Dipl.-Ing. Jörg Weselek

### Forschungsgruppe C<sup>3</sup>: Zwanzig20-Projekt C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite

Dr.-Ing. Frank Schladitz (Forschungsgruppenleiter)

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Stefan Minar M.Sc.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze

### Technischer Mitarbeiter

Matthias Zagermann

### Öffentlichkeitsarbeit

Chris Gärtner M.A.

Sven Hofmann

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**



**GRS** Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) mbH

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



STAATSBETRIEB IMMOBILIEN-  
UND BAUMANAGEMENT  
SIB | Freizeitzentrum  
SACHSEN

Landesamt für Straßenbau und Verkehr  
Mecklenburg-Vorpommern

HELMHOLTZ  
GEMEINSCHAFT



# BETON MEETS KULTUR

Halt. Stopp. Bitte noch mal mit etwas mehr **Betonung** ...



## 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

sabine.hofmann@tu-dresden.de  
www.massivbau.tu-dresden.de

### Redaktion

Silke Scheerer

### Texte

Birgit Beckmann, Jakob Bochmann, Manfred Curbach, Melchior Deutscher, Daniel Ehlig, Maik Erler, Kristina Farwig, Michael Frenzel, Maria Patricia Garibaldi, Chris Gärtner, Marcus Hering, Sven Hofmann, Karoline Holz, Marc Koschemann, Sandra Kranich, Tino Kühn, Petr Máca, Sebastian May, Stefan Minar, Saeid Zabihi Moghaddam, Oliver Mosig, Dajana Musiol, Egbert Müller, Frank Neumann, Jan Panzer, Matthias Quast, Evmorfia Panteki, Dirk Reischl, Silke Scheerer, Angela Schmidt, Robert Schneider, Alexander Schumann, Elisabeth Schütze, Tilo Senckpiel, Alaleh Shehni, Kerstin Speck, Oliver Steinbock, Matthias Tietze, Juliane Wagner, Sabine Wellner, Sebastian Wilhelm, Robert Zobel

Die Kurzfassungen aller Arbeiten (Projektarbeiten, Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen) wurden von den jeweiligen Studierenden und Doktorand\*innen verfasst.

### Mitarbeit/Korrektur

Maria Patricia Garibaldi, Angela Heller, Kerstin Speck

### Gestaltung

Sven Hofmann

### Druck

addprint AG, 2018

ISBN 978-3-86780-552-0

