



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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

MB 2019

**JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT**



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau | *Institute of Concrete Structures*

JAHRESBERICHT 2019

ANNUAL REPORT 2019



**„ES GIBT MEHR MENSCHEN, DIE ZU FRÜH
AUFGEBEN ALS SOLCHE, DIE SCHEITERN.“**

Henry Ford (1863–1947)
Gründer der Ford Motor Company



Wer weit springen möchte, muss gut Anlauf nehmen	11
FORSCHUNG <i>RESEARCH</i>	12
Forschung am IMB <i>Research at IMB</i>	14
Carbonbetonhaus CUBE – Bauantrag eingereicht! <i>Carbon reinforced concrete house CUBE – building permit submitted!</i>	16
Die Normung für Carbonbeton geht weiter <i>Regulations for carbon reinforced concrete continue</i>	18
Bauen mit Carbonbeton – ein wirtschaftlicher Megatrend <i>Building with carbon reinforced concrete – an economic megatrend</i>	20
Brandschutzmaßnahmen zur Erhöhung der Feuerwiderstandsdauer <i>Fire protection measures to increase fire resistance</i>	22
Die könn' ganz schön was ab! <i>Tough guys!</i>	24
Regelmäßiger Einsatz von Carbonbeton <i>Regular use of carbon reinforced concrete</i>	26
Stabwerkmodelle für Carbonbeton <i>Strut-and-tie model for carbon concrete</i>	28
Querkraftverstärkte Plattenbalken <i>Shear strengthening for T-beams</i>	30
Verbundsimulation von Carbonstäben <i>Bond simulation of carbon bars</i>	32
Mechanische Verankerung <i>Mechanical anchoring</i>	34
Deckenplatten aus Carbonbeton <i>Carbon concrete ceiling slabs</i>	36
Branchenübergreifende Innovation – Carbonbeton verbindet <i>Cross industry innovation – carbon reinforced concrete connects</i>	38
Verbindung von Holzkonstruktionen mit Carbonbeton <i>Joining of wooden constructions with carbon reinforced concrete</i>	40
Neuartige Profil-Carbonrovings für eine optimierte Betonbewehrung <i>Profile carbon rovings – new carbon fibre yarns for optimized concrete reinforcement</i>	42
Reduzierte Rissbreiten im Straßenbeton durch Carbonbewehrung <i>Reduced crack widths in pavement concrete by usage of carbon reinforcement</i>	44
Textilbewehrter Ortbeton als Basis für eine fugenlose Oberfläche von Betonfahrbahnen <i>Textile reinforced concrete as a basis for a jointless surface of concrete roadways</i>	46

TextonSilo – von der Idee bis zur Umsetzung <i>TextonSilo – from the idea to the implementation</i>	48
Bausystem 2.0 für Carbonbeton <i>Building system 2.0 for carbon concrete</i>	50
Carbonbewehrte Kanalhauben <i>Carbon reinforced canal covers</i>	52
Energiegeladene Fertigteile <i>Building integrated energy storage</i>	54
Leicht, leichter, Carbonbeton! <i>Light, lighter, carbon concrete!</i>	56
UHPC – Erwärmung durch Ermüdung <i>UHPC – heating through fatigue</i>	58
Schwingen für die Ewigkeit <i>Oscillate for eternity</i>	60
Vom Würfel zum Quader <i>From cube to cuboid</i>	62
Störenfriede im Beton <i>Troublemakers in concrete</i>	64
Stahlfaserverstärkter Beton unter Impact <i>Numerical modeling of dynamic spalling on plain concrete and SFRC composite</i>	66
Große Wellen schlagen <i>Big impact</i>	68
Kein Durchschlag erwünscht <i>No perforation wanted</i>	70
Höchstgeschwindigkeit bis 270 km/h <i>Reaching a maximum speed of up to 270 km/h</i>	72
Impactversuche rein virtueller Strukturen <i>Impact tests of purely virtual structures</i>	74
Diskrete-Elemente-Simulation des Betonmaterialverhaltens in 3D <i>Discrete element simulation of concrete's material behaviour in 3D</i>	76
Diskrete-Elemente-Simulation des Betonbruchverhaltens in 2D <i>2D simulation of concrete fracture with DEM</i>	78
Willy Gehler – Biografie 2.0 <i>Willy Gehler – on the tracks of an RC pioneer</i>	80

DAS C³-PROJEKT <i>THE C³ PROJECT</i>	82
Aktuelles zum C ³ -Projekt – Entwicklungen 2018 <i>Latest News about the C³ project</i>	84
Das C ³ -Projekt in der Öffentlichkeit <i>The C³ project in public</i>	89
LEHRE <i>TEACHING</i>	92
Lehrveranstaltungen des Instituts für Massivbau <i>Lectures at the Institute of Concrete Structures</i>	94
Projektarbeiten <i>Project Works</i>	100
Diplomarbeiten <i>Master's Theses</i>	107
Brückenbauexkursion 2019	120
OTTO-MOHR-LABORATORIUM <i>OTTO MOHR LABORTORY</i>	124
Testen auf höchstem Niveau <i>Testing at the highest level</i>	126
Leistungen <i>Services</i>	128
Ausstattung <i>Equipment</i>	130
Hydropulsprüfmaschine SINUS 250 kN <i>Hydro pulse testing machine SINUS 250 kN</i>	134
Baufortschritt im Beyer-Bau <i>Beyer-Bau in progress</i>	136
Geländerbelastung im Hülße-Bau <i>Load test on a railing in the Hülße-Bau</i>	138
Brettstapel und verdichtete Holzdübel <i>Laminated timber and CW dowels</i>	140
Gute Aussichten am Wolfshügelturn <i>Good prospects at the Wolfshügelturn</i>	142

DAS INSTITUT <i>THE INSTITUTE</i>	144
Einleitung	146
Dresdner Symposien im Doppelpack	147
Wissenschaft statt Kissenschlacht	150
Infrastrukturoffensive der Deutschen Bahn	152
Preise und Ehrungen	154
40. Jahrestag des Diploms	157
Zukunft trifft Vergangenheit	158
Lauffreudige Bauingenieure	159
Megatrend – Carbonbeton	160
Jahresausklang im Otto-Mohr-Laboratorium	161
Promotionen	162
Carbonbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung <i>Carbon concrete under uniaxial compression load</i>	162
Betondruckfestigkeit unter zweiachialer dynamischer Belastung <i>Concrete compressive strength under biaxial dynamic load</i>	164
Das Institut in Zahlen und Fakten	166
Austausch und Zusammenarbeit	177
Publikationen	178
Das Team 2019	186
Dank an unserer Förderer	187
Institutsalltag	188
Impressum	189



WER WEIT SPRINGEN MÖCHTE, MUSS GUT ANLAUF NEHMEN

Gut Anlauf nehmen: so könnte man einen Teil der Arbeiten am Institut für Massivbau im Jahre 2019 zusammenfassen.

Da sind z. B. die Arbeiten für einen neuen Sonderforschungsbereich/Transregio mit der Nummer 280, für dessen Antragstellung die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Mai 2019 die Genehmigung erteilt hat. 26 ausgewiesene Wissenschaftler*innen aus 18 Instituten der TU Dresden und der RWTH Aachen haben deshalb gemeinsam einen rund 400 Seiten umfassenden, wissenschaftlich tiefgreifenden Antrag mit dem Titel „Konstruktionsstrategien für materialminimierte Carbonbetonstrukturen – Grundlagen für eine neue Art zu bauen“ geschrieben, diesen Mitte November bei der DFG eingereicht und anschließend die zweitägige Begutachtung vorbereitet, die dann am 21. und 22. Januar 2020 stattgefunden hat. Diese Arbeiten sind an allen Instituten mit großem Engagement durchgeführt worden. Die gesamte Organisation, die Erstellung des physischen Antrags und die Vorbereitung der Begutachtung lag aufgrund der Sprecherschaft an den beiden Instituten für Massivbau in Dresden und Aachen, wodurch zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unmittelbar mit diesem Antrag befasst waren und die anderen durch Übernahme zusätzlicher Arbeiten ebenso am Gesamtvorhaben beteiligt waren. Allen gilt unser besonderer Dank.

Doch zur Sicherung der Zukunft bedurfte es noch weiterer Anstrengungen. Um die Kontinuität der Professur Massivbau aufrechtzuerhalten, bestand große Einigkeit, eine frühzeitige Parallelbesetzung zu organisieren. Für die Finanzierung dieser Übergangszeit konnte die Deutsche Bahn Netz AG als Stifterin gewonnen werden, so dass im Frühjahr 2019 eine Findungskommission ihre Arbeit aufgenommen hat, um eine optimale Person für die Besetzung zu identifizieren. Sowohl alle beteiligten Institutionen der TU Dresden – der Fakultätsrat, der Senat, der Rektor und die Verwaltung –

als auch die durch externe, exzellente Wissenschaftler besetzte Findungskommission haben es durch hervorragende Zusammenarbeit geschafft, dass in einer für ein solch komplexes Verfahren rekordverdächtigen Zeit Prof. Steffen Marx zum 1.2.2020 seine Arbeit am Institut für Massivbau aufnehmen konnte. Herzlichen Dank allen Beteiligten.

Das Vorwort der Jahresmitteilungen 2018 sprach von der Verpflichtung, die wir gegenüber unserer Geschichte und Tradition haben. 1903 wurden in Dresden die deutschlandweit ersten Vorlesungen im Eisenbetonbau von Prof. Max Förster gehalten. Heute ist es wieder die TU Dresden, an der die weltweit erste Professur für Carbonbeton geschaffen wurde und die voraussichtlich im Frühjahr 2020 besetzt werden wird. Die Professur wird im Rahmen des Tenure-Track-Programms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung für sechs Jahre gefördert, bevor sie dann – bei positiver Evaluation – vom Freistaat Sachsen, der TU Dresden und dem Institut für Massivbau weitergeführt wird.

Für die im Jahre 2019 nicht nur in diesen drei Bereichen, sondern für die gesamte am Institut für Massivbau geleistete Arbeit danken wir allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auf das Herzlichste. Dies alles wäre ohne ihren Enthusiasmus gar nicht möglich.

Allen geneigten Leser*innen unseres Jahresberichts aus allen Bereichen der Baubranche, der Wissenschaft und der Öffentlichkeit danken wir für ihr großes Interesse, ihre wohlwollende Begleitung und nachhaltige Unterstützung.

Manfred Curbach und 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 sechs Forschergruppen zu verschiedensten Themen rund um das Bauen mit Beton geforscht. Die Bandbreite reicht von der Modellierung des Zusammenwirkens einzelner Teilchen bis zur experimentellen Untersuchung von ganzen Bauteilen. Wir beschäftigen uns mit speziellen Materialeigenschaften von Beton, dessen Verbund zum Bewehrungsstahl, mit dem Einfluss unterschiedlichster Lastszenarien

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



Zug-Druckprüfmaschine (Typ Zwick) | Tension-compression testing machine (type Zwick) | Photo: Jörg Singer

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

Unsere aktuellen Projekte können folgenden Forschungsschwerpunkten zugeordnet werden:

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

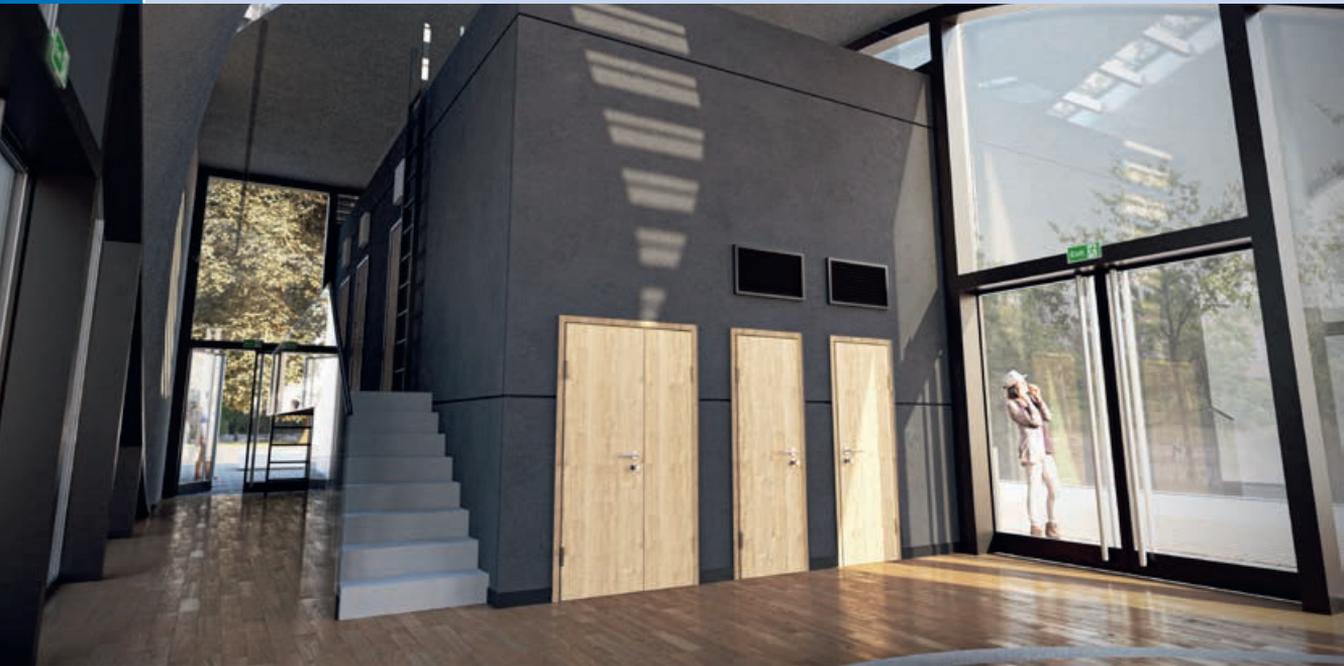
Neben der reinen Grundlagenforschung nehmen gemeinsame Projekte mit Praxispartnern einen hohen Stellenwert ein, denn dies ist die beste Methode, Forschungsergebnisse in die Baupraxis zu überführen. Auch der gegenseitige wissenschaftliche Austausch mit Forschern anderer Universitäten und Forschungseinrichtungen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

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

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

- *Properties of concretes of various composition,*
- *Bond between reinforcement and matrix,*
- *Special stress scenarios such as impact and multi-axial stresses in material and component tests,*
- *Simulation with FEM, development of constitutive laws and design procedures,*
- *Reinforcements – on the basis of endless filaments – 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 C³ 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.



Blick aus dem Gebäudeinneren auf die Fertigteil-BOX | View from the inside of the building to the precast-BOX | Rendering: Iurii Vakaliuk

CARBONBETONHAUS CUBE – BAUANTRAG EINGEREICHT!

CARBON REINFORCED CONCRETE HOUSE CUBE – BUILDING PERMIT SUBMITTED!

Auf Grundlage des im vergangenen Jahr fertiggestellten Gebäudeentwurfes erfolgte im ersten Halbjahr 2019 die weitere konstruktive Durchbildung des Carbonbetonhauses einschließlich statischer Berechnungen und geometrischer Anpassungen. Das Gebäude weist nun mit den seitlich auskragenden Flügeln eine Gesamtlänge von ca. 40,0 m, eine Breite von 7,2 m und eine maximale Höhe von etwa 6,9 m auf. Damit der CUBE an der Ecke Einsteinstraße/Zellescher Weg in Dresden gut positioniert und sichtbar ist, stellt der Eigentümer des Gebäudes, der Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, das gesamte 1650 m² große Flurstück zur Verfügung. Nach Abschluss der Entwurfsplanung im Sommer wurden alle Unterlagen für den Bauantrag fertiggestellt und im Oktober beim Dresdener Bauaufsichtsamt eingereicht.

Based on the architectural design of the CUBE building the further design of the carbon reinforced concrete house including structural calculations and geometric adjustments was carried out in the first half of 2019. With the wings projecting to the side, the building now has a total length of approx. 40 m, a width of 7.2 m and a maximum height of approx. 6.9 m. After the design planning was completed in summer 2019, all documents for the building permit request were compiled and submitted to the Dresden Construction Supervision Office in October 2019.

The work within the project CUBE in 2019 concentrated on the construction feasibility of the carbon reinforced concrete components. The building area BOX consists of semifinished double walls and prefabricated (hollow) ceilings. The project partners decided to plan, construct, manufacture and assemble five BOX double walls and a ceiling

Parallel konzentrierten sich die Arbeiten 2019 auf Herstellbarkeit der Carbonbetonbauteile. Der von außen dunkel gefärbte Gebäudebereich BOX besteht aus Halbfertigteildoppelwänden und Fertigteil(hohl)-decken. Im Vorfeld wurden fünf BOX-Doppelwände und ein Deckenelement im Maßstab 1:1 zu einem fertigen Demonstratorbau zusammengefügt. Bei den ausführenden Arbeiten waren die Projektpartner Betonwerk Oschatz, auf dessen Gelände der Bau steht, und bendl HTS Hoch- und Tiefbau maßgeblich beteiligt. Mit Hilfe von Technologietests ließen sich die Abläufe bei der Planung und Ausführung, die Material- und Zeitaufwendungen, Kosten und erzielbaren Qualitäten bestimmen und eindeutig festlegen.

Zudem wurde der Aufbau des weiß erscheinenden, gekrümmten TWIST-Daches anhand von statischen und bauphysikalischen Berechnungen festgelegt. Es besteht aus einer schlanken, hohlkammerähnlichen, carbonbewehrten Tragschale mit lediglich 30 mm starken Deckschichten, 60 mm breiten Stegen, einer Wärmedämmebene sowie einer nur 40 mm dicken Carbonbeton-Sichtwetterchale. Die technische und technologische Umsetzbarkeit wurden baupraktisch herausgearbeitet und überprüft. Dazu fertigten die Projektpartner mit dem Betonspritzteam der Pagel Spezial-Beton Probekörper an, testeten verschiedene Betonmischungen, Abdichtungs- und Dämmmaterialien und deren Zusammenwirken. Die CUBE-Arbeiten waren im Dezember 2019 so weit vorangeschritten, dass die Ausführungsplanung beginnen und der Bauantrag eingereicht werden konnten.



Ergebnis des Technologietests – BOX-Demonstrator | Result of the technology test – BOX-demonstrator | Photo: Bärbel Sprenger

element on a 1:1 scale and put them together to set up a demonstrator. The two project partners responsible for the construction, Betonwerk Oschatz GmbH and bendl HTS Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG played a key role in the execution of the work. With the help of technology tests, the planning and execution processes, the material and time expenditures, costs and achievable qualities were determined and exactly defined.

The structure of the curved TWIST roof was also determined on the basis of structural and building physics calculations. It consists of a slim, hollow chamberlike, carbon reinforced support shell with 30 mm thick cover layers, 60 mm wide webs, a thermal insulation layer and a 40 mm thick carbon reinforced concrete weatherproof shell. The technical and technological feasibility was also worked out and checked under practical terms. For this purpose, the project partners along with the concrete spraying team from Pagel Spezial-Beton GmbH & Co. KG made test specimens, and also tested various concrete mixes, sealing and insulation materials and their interaction. In December 2019, the CUBE work was so far advanced that the implementation planning began and the building permit was submitted.

► **Titel | Title**

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

TP C3-V3.1-1: 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: C³-technology demonstration house – CUBE

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – 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**

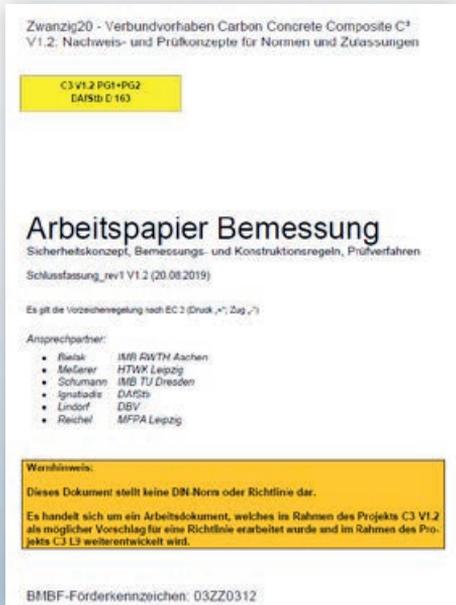
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Michael Frenzel, Dipl.-Ing. Angela Schmidt, Iurii Vakaliuk M.Sc., Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann

► **Projektpartner | Project partners**

6 Partner, davon 1 aus der Forschung, 4 Firmen und 1 Verband



Entwurf Arbeitspapier Bemessung (links); mit Carbonbeton verstärkte Stahlbetonplatte (rechts) | Draft working paper Dimensioning (left); steel reinforced concrete slab strengthened with carbon reinforced concrete (right) | Photos: Stefan Gröschel

DIE NORMUNG FÜR CARBONBETON GEHT WEITER

REGULATIONS FOR CARBON REINFORCED CONCRETE CONTINUE

Das Vorhaben C3-V1.2 hat sich das ambitionierte Ziel gesetzt, zum Ende des Projektes einen ersten Vorschlag für Regelwerke für den Werkstoff Carbonbeton liefern zu können. Dazu ist eine enge Zusammenarbeit aus Forschung und Praxis notwendig. In Summe arbeiten in diesem Vorhaben 21 Partner eng zusammen, womit das Vorhaben C3-V1.2 eines der größten Vorhaben im gesamten C³-Projekt darstellt. Das Projekt konnte dieses Jahr für die Mehrheit der Partner erfolgreich abgeschlossen werden. Dies bedeutet, dass für die verschiedenen Bereiche des Carbonbetons – für den Neubau, die Verstärkung von bestehenden Bauteilen mit Carbonbeton, für die Ausführung mit Carbonbeton sowie für die einzelnen Materialien Beton und Carbonbewehrung – erste Entwürfe von Regelwerken vorliegen, die nun dem gesamten C³-Konsortium zur Verfügung stehen. Die Regelwerke stellen die Grundlage für die

The project C3-V1.2 is publishing the first proposal of regulations for the carbon reinforced concrete material by the project's end. The partners from research and practice are working together in close collaboration. With 21 partners involved, the C3-V1.2 project it is the biggest part within the whole C³ project. The majority of the partners have finished their parts of the project successfully in the last year, so the first regulations in various fields – new buildings, strengthening of existing elements, construction with carbon reinforced concrete and for the single materials concrete and carbon reinforcement – are now available to the C³ consortium. The new rules and regulations are forming the basis for facilitating market entry of the material and the construction method. To check the functionality of the new regulations in real applications, an extension of the project was requested for three of the partners.

Verbreitung des Werkstoffs bzw. der Carbonbetonbauweise. Für drei Partner wurde eine Verlängerung des Projekts genehmigt, da die erarbeiteten Regelwerke nun an einem Bauvorhaben auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden sollen.

Im Konkreten soll 2020 eine Stahlbetonplattenbrücke mit einer Carbonbetonverstärkung ausgeführt werden. Ziel der Ertüchtigung ist eine Höherstufung der Brückenklasse, um dem erhöhtem Verkehrsaufkommen gerecht zu werden. Aufgrund der Neuartigkeit der Ausführung im Brückenbau waren ergänzende Untersuchungen notwendig, um eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) zu erhalten. Dabei konnte auf eine breite Basis von bereits durchgeführten Versuchen, im Rahmen des C³-Projektes, zurückgegriffen werden. Ergänzt wurden die vornehmlich kleinbauteiligen Versuchsreihen durch Prüfungen an biegeverstärkten Großbauteilen unter statischer und zyklischer Belastung. Das Versuchsprogramm und die Durchführung wurden seitens des Instituts für Massivbau in enger Abstimmung mit den Projektpartnern und Planern erbracht, so dass lediglich noch das notwendige Baurecht geschaffen werden muss. Die Wirksamkeit der Verstärkung soll in Anschluss an die Ausführung in situ getestet und das Tragverhalten daran validiert werden womit das Projekt auch abgeschlossen wird.



Ausgewähltes Plattentragwerk für die Verstärkungsmaßnahme | Slab for application of carbon reinforced concrete | Photo: Oliver Steinbock

In 2020, an existing slab bridge made of reinforced concrete will be strengthened. With this, a higher bridge category will be achieved resisting higher traffic. Because of the novel construction methods, some complementing investigations were necessary to get individual approval (ZiE).

A lot of experiments of the C³ project were already carried out and were referred. Small-scale tests, as well as few large-scale components with bending strengthening, were implemented with static and dynamic testing. The Institute of Concrete Structures executed the experimental program and the implementation in coordination with the project partner and designers. The essential building law must be created in the next step. Following the strengthening of the bridge, the effectivity of the method will be assessed in-situ, so that the load-bearing behaviour of the structure could be validated by the end of the project is completed.

► **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 / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

01.2016–08.2020

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

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

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

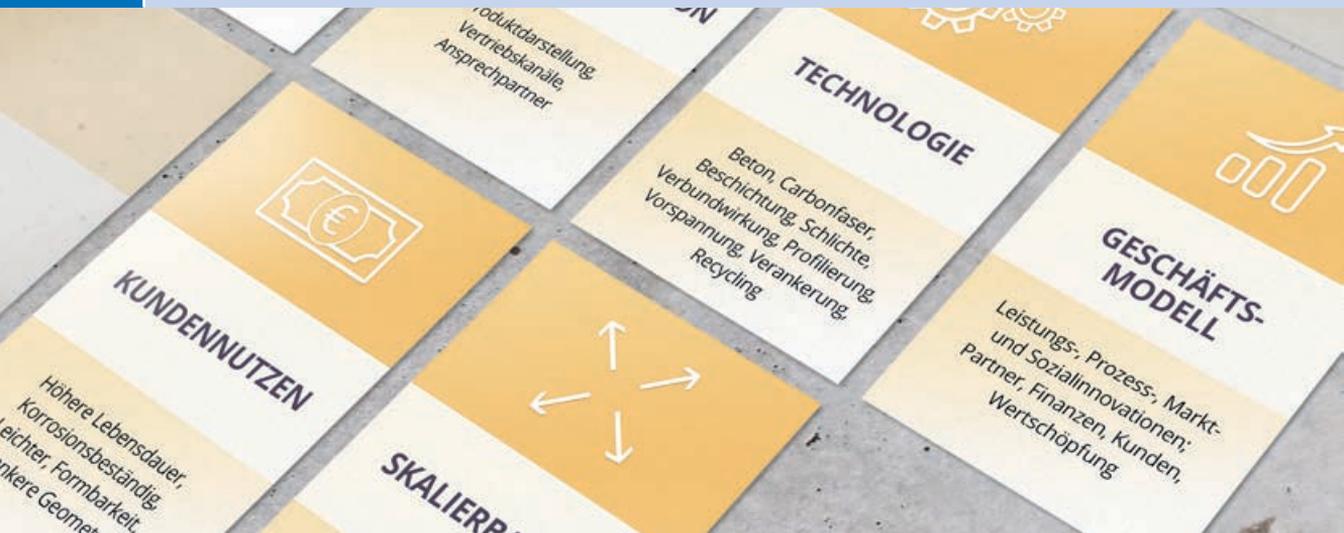
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

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

► **Projektpartner | Project partners**

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



Aspekte der Wirtschaftlichkeit | Economic aspects | Graphic: Stefan Gröschel

BAUEN MIT CARBONBETON – EIN WIRTSCHAFTLICHER MEGATREND

BUILDING WITH CARBON REINFORCED CONCRETE – AN ECONOMIC MEGATREND

Was kostet Carbonbeton? Wie wird er konkurrenzfähig? Genau diesen Fragen geht das C³-Vorhaben Wirtschaftlichkeit nach. Um sie beantworten zu können, kamen Methoden u. a. aus der Marktforschung zum Einsatz. Zu Beginn wurden die zu untersuchenden Anwendungen ausgewählt, die einen schnellen Markteintritt bei einem großen Marktvolumen ermöglichen (Massenbauteile und -anwendungen). Im nächsten Untersuchungsschritt wurden insgesamt fünf ausgewählte Anwendungen mit dem jeweiligen am Markt existierenden Technologieführer verglichen. Vor allem die Aufwandsfaktoren Kosten und Zeit wurden näher betrachtet.

Daraus wurden Teilwertschöpfungsketten entwickelt, die eine Carbonbetonherstellung, z. B. im Bereich der Fertigteilherstellung bis hin zur Umsetzung, detailliert darstellen und bewerten. Auch die Vorkette der Herstellung von Carbonbewehrungsmaterial wurde auf ihre Kostenstrukturen und Aufwandszeiten untersucht, analysiert und notwendige Anpassungsschritte für eine wirtschaftliche Carbonbeton-Wertschöpfungskette abgeleitet. Diese Untersuchungen dienen als Grundlage für die Analyse der Carbonbeton-

What does carbon reinforced concrete cost? How does it become competitive? These are exactly the questions that the C³ project pursues in terms of economic efficiency. In order to be able to answer them, methods from market research, among others, were used. At the beginning, the applications to be investigated were selected that would allow a fast market entry with a large market volume (mass components and -applications). In the next step of the investigation, a total of five selected applications were compared with the respective technology leader existing on the market. In particular, the cost and time factors were examined in detail.

From this, partial value-added chains were developed, which present and evaluate carbon reinforced concrete production in detail, e.g. in the area of precast concrete production up to the implementation. The upstream chain of the production of carbon reinforcement material was also examined and analysed with regard to its cost structures and expenditure times and the necessary adjustment steps for an economic carbon reinforced concrete value chain were derived. These investigations serve as a basis for the analysis of the carbon reinforced concrete value chain and the current state of the art

wertschöpfungskette und des aktuellen Standes der Technik auf der Unternehmens- und Herstellerseite und zwar im direkten Vergleich zur Wertschöpfungskette von Stahlbeton. Durch neue Rollen bereits bestehender Partner und Akteure können zudem die Veränderungen bewertet und eingeordnet sowie eine für die Zukunft marktfähige Wertschöpfungskette für Carbonbeton beschrieben werden.

Parallel dazu wird die Nachfragerseite mit Hilfe einer Präferenzanalyse näher betrachtet. Diese dient dazu herauszufinden, für welche Eigenschaften eines Bauproduktes der Vertreter der Nachfrage bereit ist zu zahlen. Hierbei kommt ein Instrument aus der Produktmarktforschung zum Einsatz, das im Bauwesen und der Bauwirtschaft noch keine Anwendung gefunden hat und zwar die Conjoint-Analyse (Verbundmessung).

Diese Analyse ermöglicht es, die Struktur der Präferenzen eines Nachfragers abzuschätzen. Sie setzt eine Datensammlung beispielsweise eine quantitative Umfrage voraus, um eine repräsentative und zuverlässige Datenbasis zu erhalten. Für diese Umfrage wurde ein Fragebogen erarbeitet, der auf 15 Experteninterviews basiert, die eine erste qualitative Datenbasis und Grundlage für den Fragebogen bilden. Durch die Nutzung eines Conjoint Fragebogens und Auswertungsinstrumentes ist es möglich, die Choice-based Conjoint-Analyse auf die C³-Partner zu übertragen. Neben den C³-Partnern werden Vertreter aus den Bereichen öffentlicher Verwaltung, Immobilienwirtschaft und Wohnungsverwaltungswirtschaft sowie Architekten und Ingenieure befragt, um die jeweiligen Präferenzen herauszufiltern.

Daraus werden dann Rückschlüsse auf die Wertschöpfungskette selbst möglich, indem besonders relevante Schritte durch ihre „Eigenschaftserzeugung“ identifiziert und Handlungsempfehlungen für die konkurrenzfähige Wertschöpfungskette abgeleitet werden.

on the company and manufacturer side, in direct comparison to the value chain of reinforced concrete. Furthermore, new roles of already existing partners and actors allow to evaluate and classify the changes and to describe a marketable value chain for carbon reinforced concrete for the future.

In parallel, the demand side is examined in more detail with the help of a preference analysis. This serves to find out for which properties of a building product the representative of the demand is willing to pay. Therefore, an instrument from product market research is used, which has not yet been applied in the building and construction industry, namely the conjoint analysis (composite measurement).

This analysis makes it possible to estimate the structure of the preferences of a consumer. It requires a data collection, e. g. a quantitative survey, in order to obtain a representative and reliable database. For this survey, a questionnaire was developed based on 15 expert interviews, which form a first qualitative data basis and basis for the questionnaire. By using a conjoint questionnaire and evaluation tool, it is possible to transfer the choice-based conjoint analysis to them. In addition to the C³ partners, representatives from the public administration, real estate and housing management sectors, as well as architects and engineers are interviewed to filter out their respective preferences.

Conclusions can then be drawn about the value chain itself by identifying particularly relevant steps through their “property generation” and deriving recommendations for action for the competitive value chain.

► **Titel | Title**

TP 2: Technische Aspekte und Analysen im Verbundvorhaben C3-W: Analyse der C³-Wertschöpfungskette und ihrer Wettbewerbsfähigkeit

TP 2: Technical aspects and analyses as part of the joint research project C3-W: Analysis of the C³ value chain and its competitiveness

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C3 – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

07.2017–06.2019

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

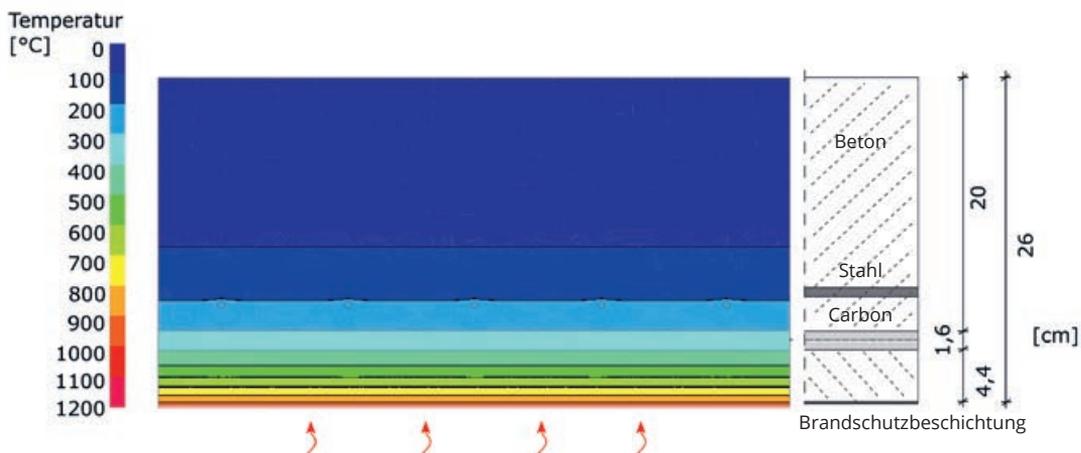
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Wirsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze, M.A.

► **Projektpartner | Project partner**

HTWK Leipzig, Lehrstuhl für VWL, Innovationsökonomik



Temperaturberechnung für die Stahlbetonplatte mit einer 16 mm Verstärkungsschicht und der Brandschutzbeschichtung Sika® Unitherm® Concrete S | Temperature calculation for steel reinforced concrete beam with a strengthening layer of 16 mm with fire protection coating Sika® Unitherm® Concrete S | Graphic: Clara Schramm

BRANDSCHUTZMASSNAHMEN ZUR ERHÖHUNG DER FEUERWIDERSTANDSDAUER

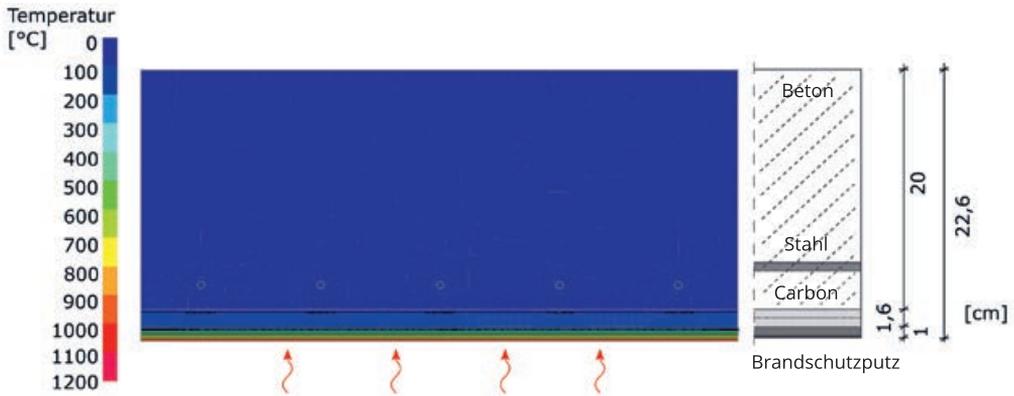
FIRE PROTECTION MEASURES TO INCREASE FIRE RESISTANCE

Im Vorhaben C3-V2.3 des Projekts C³ – Carbon Concrete Composite wird angestrebt, das Materialverhalten von Carbonbeton unter Brand- und Hochtemperaturbeanspruchung und die Feuerwiderstandsdauer eines mit Carbonbeton bewehrten Bauteils zu ermitteln. Die Analyse der gemessenen Materialkennwerte von Carbonbeton zeigte, dass die Zugfestigkeit und Verbundfestigkeit mit steigender Temperatur schnell abnehmen, weil die Tränkung der Carbonfasern beim Überschreiten der Glasübergangstemperatur stark erweicht. Ab einer Temperatur von ca. 600 °C verliert die Carbonbewehrung vollständig ihre Festigkeit. Deswegen sind zusätzliche Brandschutzmaßnahmen notwendig, um die Feuerwiderstandsklasse eines Bauteils zu erhöhen. Im Rahmen des Projekts wurden drei verschiedene Brandschutzsysteme hinsichtlich der Verbesserung der Feuerwiderstandsfähigkeit theoretisch und experimentell untersucht.

Zur Beurteilung der Brandschutzsysteme wurde ein mit Carbonbeton verstärkter Stahlbetonbalken mit einer Verstärkungsschicht von 16 mm gewählt. Zunächst wurde dieser mit Carbonbeton verstärkte Stahlbetonbalken ohne weitere Brandschutzmaßnahmen bei einer 90 min

In the project the material behaviour of carbon concrete under high temperature and the fire resistance of carbon reinforced concrete will be researched. Based on the previous experimental results of material characteristics of carbon concrete, the tensile strength and bond strength will decrease with an increase of temperature. The reason is that the impregnation of carbon fibres is softened after the glass transition temperature is reached. Above the temperature of 600 °C, the carbon fibre will completely lose its strength. So it is crucial to take fire protection measures to increase the fire resistance of building components.

Three different types of fire protection were researched, to compare their ability to fire resistance. A carbon textile-reinforced concrete beam with a strengthening layer of 16 mm was used for the experiments. During the first experiment, the beam was heated for 90 min, according to the temperature-time curve without extra fire protection measurements. The temperature in the strengthening layer reached 800 °C, which meant that the strengthening layer had lost his reinforcing effect. In the next steps, the experiments were carried out respectively with three different fire protection coatings. The first coating Sika® Unitherm® Concrete S



Temperaturberechnung für die Stahlbetonplatte mit einer 16 mm Verstärkungsschicht und dem Brandschutzputz Dossolan-Thermique | Temperature calculation for steel reinforced concrete beam with a strengthening layer of 16 mm with fire protection plaster Dossolan-Thermique | Graphic: Clara Schramm

Einwirkung der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) erhitzt. Die Untersuchung ergab, dass die Temperatur in der Verstärkungsschicht in Höhe der Carbonfasern über 800 °C betrug. Das führte dazu, dass die Verstärkungswirkung komplett verloren ging. Als zusätzliche Brandschutzmaßnahmen wurden jeweils die Brandschutzbeschichtung Sika® Unitherm® Concrete S, der Brandschutzputz Dossolan-Thermique mit einer Dicke von 10 mm und die Brandschutzplatten der Firma Promat eingesetzt.

Durch die Brandschutzbeschichtung ist die Temperatur in der Ebene der Carbonbewehrung bei der Einheitstemperaturkurve (ETK) von 90 min auf 300 °C bis 400 °C gesunken. Die Schichtdicke des Materials ist sehr gering und schäumt im Brandfall auf. Im Vergleich dazu lag die Temperatur in der Carbonverstärkungsschicht mit dem Brandschutzputz zwischen 100 °C und 200 °C. Damit wird eine Mitwirkung der Verstärkungsschicht bei einer 90 min Belastung mit der ETK gewährleistet. Bei den Brandschutzplatten ergab sich eine Temperatur in der Verstärkungsschicht von ca. 200 °C bis 300 °C. Anhand der Ergebnisse ist die Brandschutzbeschichtung für geringere Anforderungen an den Brandschutz geeignet. Bei höheren Anforderungen muss auf den Brandschutzputz oder die Brandschutzplatten zurückgegriffen werden.

showed, that the temperature in the strengthening layer reached 300–400 °C. This coating is extremely thin, and it will foam in case of fire. The second coating, Dossolan-Thermique, was a fire protection plaster. It reduced the temperature in the strengthening layer to 100–200 °C after heated for 90 min. Thus, the carbon fibres in the strengthening layer could contribute to the reinforcing effect. The last fire protection measure was a fire-resistant plate, which made it possible, that the temperature in the strengthening layer stayed between 200 °C and 300 °C. According to the achieved results, fire protection coatings are suitable for fire prevention with low requirements. If high requirements of fire prevention are needed, then the fire protection plaster or a fire-resistant plate must be applied.

► **Titel | Title**

TP C3-V2.3-1-a: Materialverhalten von Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung im Verbundvorhaben C3-V2.3: Brandverhalten von Carbonbeton

TP C3-V2.3-1-a: Material behaviour of carbon reinforced concrete exposed to high temperatures as part of the joint research project C3-V2.3: Fire behaviour of carbon reinforced concrete

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

05.2017–06.2020

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dr.-Ing. Daniel Ehlig, Dipl.-Ing. Olga Diring, Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze, Dipl.-Ing. Ronghua Xu

► **Projektpartner | Project partners**

4 Partner, davon 1 aus der Forschung und 3 Firmen



Bauteile im Biegeversuch können mehrere Tonnen an Gewicht über einen langen Zeitraum tragen | Structures under bending loads can withstand quite high loads over a long period of time | Photo: Elisabeth Schütze

DIE KÖNN' GANZ SCHÖN WAS AB! TOUGH GUYS!

Im Vorhaben C3-V2.1 wird kein Probekörper geschont. Für die zuverlässige Gewährleistung einer langen Lebensdauer von Carbonbeton in verschiedensten Anwendungsfällen muss dessen Materialverhalten unter Dauerbeanspruchung genauestens bekannt sein. Hierfür werden zahlreiche Dauerversuche sowohl unter ruhender als auch unter zyklischer Dauerbelastung durchgeführt.

Zunächst werden zahlreiche kleinteilige Probekörper über verschiedene Belastungszeiträume mit verschiedenen Lastniveaus und Belastungsregimes getestet. Hierbei werden Ansätze für die Prognose des Materialverhaltens aufgestellt und validiert. Anhand von Bauteilversuchen zur Biege- und Querkrafttragfähigkeit soll anschließend die Übertragbarkeit des in den kleinteiligen Versuchen nachgewiesenen Materialverhaltens auf große Bauteile überprüft werden. Dafür wird – soweit verfügbar – auf bestehende Ingenieurmodelle für das Tragverhalten von Carbonbetonbauteilen zurückgegriffen (diese beruhen

In the joint research project, C3-V2.1 specimens can't take it easy. For the reliable guarantee of long service life of carbon reinforced concrete at different applications, its material behaviour under permanent loading has to be well known. Therefore, numerous static and cyclic fatigue tests have to be done.

Initially, a lot of small specimens were tested over different loading periods at different loads and load scenarios. In doing so, approaches for the prediction of the material behaviour were developed and validated. Afterwards, the transferability of the results from the small-scaled tests to large-scaled structures was tested in bending and shear force tests on structural elements. Therefore, existing engineering models for the load-bearing behaviour of carbon reinforced concrete are used. These models are usually created with the results from short term tests; their applicability on the material behaviour under static and dynamic fatigue has to be tested during the project.

zumeist auf Kurzzeitversuchen). Deren Übertragbarkeit auf das Bauteilverhalten unter zyklischer bzw. statischer Dauerbelastung ist zu prüfen.

Deshalb stehen seit Mitte 2019 mehrere Bauteile in unseren Versuchshallen, deren Anblick den Betrachter staunen lässt. Es handelt sich dabei um Plattenbalken und Platten zur Überprüfung der Querkraft- und Biegetragfähigkeit unter statischer Dauerlast. Beide Bauteilarten bestehen aus einem Grundkörper aus Stahlbeton mit einer zusätzlichen einlagigen Verstärkungsschicht aus Carbonbeton.

Um die extrem hohen Lasten aufzubringen, wurden die Plattenbalken zur Aufbringung einer Querkraftbelastung gegeneinander gespannt. In beiden Bauteilen herrscht somit nahezu das gleiche Lastniveau vor, welches ca. 60 % der Traglast quasistatisch belasteter Referenzbauteile entspricht. Die zwei Biegeplatten wurden mittels Totlasten aus Stahlgewichten belastet. Mit Lasten von 70 bzw. 85 % der Referenzlast in Textilebene tragen die Bauteile somit teilweise über 7 Tonnen an Gewicht. Die hohen Belastungen sieht man allen Bauteilen an. Ist jedoch das in den kleinteiligen Versuchen ermittelte Tragverhalten auf die Bauteile übertragbar, so sollten diese trotz großer Verformungen die Standzeit von 5000 Stunden ohne Versagen überdauern. Da kann man nur anerkennend sagen: starke Dinger!



Für die Prüfung der Querkrafttragfähigkeit unter Dauerlast wurden zwei Bauteile gegeneinander gespannt | To test the shear capacity under permanent loads two structures were braced against each other | Photo: Elisabeth Schütze

For that reason, various structural elements have been studied in our laboratory since the summer of 2019. These elements were either T-beams for testing the shear strength or beams for testing the bending strength under static fatigue load. Both types were steel reinforced concrete elements which had been strengthened with one layer of carbon reinforced concrete.

For generating the extremely high loads for the shear tests, the T-beams were braced against each other. Therefore, both elements received nearly the same load of approx. 60% of the reference strength. The two beams for testing the bending capacity were loaded with steel weights. The loads reached a level of 70 or 85% of the reference strength in the textile layer and each of the elements carried a weight of more than 7 tons. Due to the high loads, all of the elements shown a clearly visible deformation. However, if the material behaviour of the small-scaled tests could be transferred to the structural elements, they should survive a time period of 5000 h. So there is nothing left to say but: Tough guys!

► **Titel | Title**

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

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

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

09.2017–06.2020

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

► **Projektpartner | Project partners**

7 Partner, davon 4 aus der Forschung und 3 Firmen



Einbau von Carbongelege | Installation of carbon reinforcement | Photo: Stefan Gräschel

REGELMÄSSIGER EINSATZ VON CARBONBETON

REGULAR USE OF CARBON REINFORCED CONCRETE

Ziel des Vorhabens C3-L9 ist es, Verfahrenswege und Nachweiskonzepte für Richtlinien, Normen und Zulassungen im Bereich des Neubaus und der Verstärkung mit Carbonbeton vorzubereiten, um den Werkstoff in der Praxis zu etablieren. Das Vorhaben schließt sich als „Lückenschluss“ an das Vorhaben C3-V1.2 an, welches sich bereits ausführlich mit dem Vorschlag von Regelwerken für den Carbonbetonbau beschäftigt hat, jedoch noch nicht alle relevanten Ergebnisse abschließend behandeln konnte. Während die Bearbeitung einzelner Themenbereiche, wie die Biegebemessung, bereits weit fortgeschritten ist, wird der Schwerpunkt des Gesamtvorhabens Lückenschluss vor allem auf die Gebrauchstauglichkeit, Ermüdung, Dauerstandverhalten, Querkraft, Durchstanzen und Torsion, Theorie II. Ordnung, Vorspannung und resultierenden Bewehrungs- und Konstruktionsregeln sowie die Bauausführung gelegt. Das Institut für Massivbau soll vor allem die Verstärkung von Bestandsbauwerken bearbeiten.

Das Projekt startete im Mai 2019 mit einer Analyse des Wissensstands. Zu diesem Zweck fanden bereits zwei Treffen der beteiligten Projektpartner statt, bei denen die als Ergeb-

The aim of the C3-L9 project is to prepare process paths and verification concepts for guidelines, standards and approvals in the area of new construction and reinforcement with carbon concrete in order to establish the material in practice. The project serves as a gap closure to the project C3-V1.2, which has already dealt with the proposal of regulations for carbon reinforced concrete in detail but could not yet conclusively treat all relevant results. Some topics, such as the bending design, are already well advanced, but others are not. For this reason, the focus of the follow-up project C3-L9 is mainly on the limit state of serviceability, fatigue, endurance, shear force, punching shear, torsion, the theory of second-order, prestressing and reinforcement and construction rules. The IMB of the TU Dresden is mainly responsible for the strengthening of existing structures.

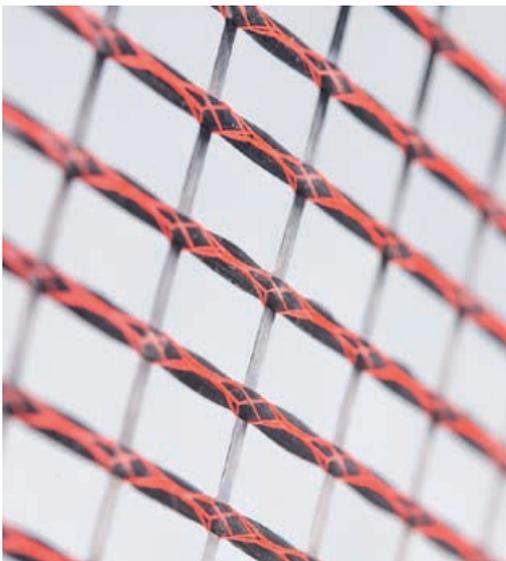
The project started in May 2019 and its first aim was to analyse the state of knowledge. For this purpose, two meetings among the participating project partners have already taken place, in which the working papers produced as a result of V1.2 were analysed, taking into consideration the relevant open questions. Afterwards, it was discussed which projects can contribute to a solution to the

nis von C3-V1.2 erstellten Arbeitspapiere nach offenen Fragestellungen analysiert wurden. Anschließend wurde diskutiert, welche C³-Projekte zu einer Lösung der Problemstellungen beitragen können und in wessen Zuständigkeit die Auswertung dieser fällt. Dazu zählen neben den noch laufenden Projekten auch bereits abgeschlossene, aber noch nicht final ausgewertete Ergebnisse.

Bis zu dem nächsten Treffen Ende Januar 2020 werden zu den offenen Punkten allgemeine und projektspezifische Fragenkataloge erstellt und in Ergebnisinterviews mit den Projektbearbeitern abgearbeitet. Experimentelle Untersuchungen sind im Rahmen von C3-L9 nicht vorgesehen. Es soll vorrangig um die Auswertung bereits vorliegender Daten aus laufenden und abgeschlossenen Projekten gehen sowie auch darum, Hinweise für weitere Untersuchungen laufender Projekte zu geben, um bisher nicht berücksichtigte Problemstellungen abzudecken.

problems and in whose competence the evaluation of these falls. In addition to the ongoing projects of the four project partners, these also include projects of former project partners from C3-V1.2, who are no longer directly involved in C3-L9, and whose project are either completed or ongoing.

The next meeting will take place at the end of January 2020. Until then, general and project-specific questionnaires will be prepared to address the open points. Interviews with the project team members will follow-up. There are no experiments planned for C3-L9, with priority given to the evaluation of existing data from current and completed projects, as well as providing information for further investigations of ongoing projects in order to cover previously unaddressed issues.



Carbongelege | Carbon textile | Photo: Stefan Gröschel

► **Titel | Title**

TP C3-L9-II: Zusammenführung und Erstellung von Sicherheits- und Bemessungskonzepten für Carbonbeton zur Erstellung eines normativen Regelwerkes im Verbundvorhaben C3-V-L9: Regelwerke

TP C3-L9-II: Combining and development of design and safety concepts for carbon reinforced concrete to create normative regulations as part of the joint research project C3-V-L9: Regulations

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

01.05.2019–30.04.2021

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

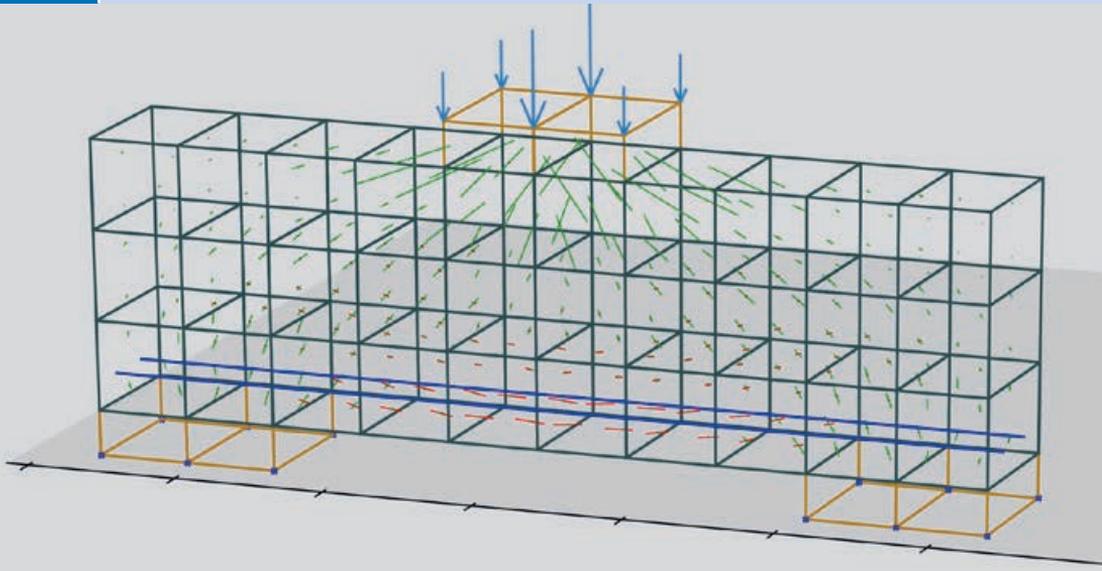
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Peter Betz

► **Projektpartner | Project partners**

Institut für Massivbau, RWTH Aachen | Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V., Berlin | Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin



3D-Modell eines wandartigen Trägers aus Carbonbeton | 3D Model of a carbon reinforced concrete deep beam | Graphic: Ahmad Chihadeh

STABWERKMODELLE FÜR CARBONBETON

STRUT-AND-TIE MODEL FOR CARBON CONCRETE

Für die Konstruktion von Stahlbetontragwerken hat sich die Methode der Stabwerkmodelle (SWM) über viele Jahre bewährt. Um Planern Zugang zur Carbonbetonbauweise zu ermöglichen, ist der Einsatz dieser Methode für die Bemessung von Carbonbetonkonstruktionen unerlässlich. Mit der Frage, ob die bisher verwendeten Prinzipien der SWM bei der Konstruktion von Stahlbetontragwerken auch im Bereich des Carbonbetons genutzt werden können, setzen sich die Projektpartner im Rahmen des Verbundprojektes C³ – Carbon Concrete Composite im Teilprojekt C3-L6 „Bemessung und bauliche Durchbildung“ auseinander.

Vor allem bei der Bemessung von wandartigen Trägern finden SWM in der Baupraxis Anwendung, um effiziente Tragwerke zu konstruieren. Damit die Anwendbarkeit von SWM auf Bauteile aus Carbonbeton validiert werden kann, wird ein Modell in der hauseigenen FEM-Software „CaeFem“ entwickelt. Dieses dient beispielsweise der Überprüfung von Berechnungsergebnissen von Simulationsmodellen. Um in den experimentellen Untersuchungen unterschiedliche Versagensmodi beobachten zu können, wurden verschiedene Bewehrungsvarianten

The Strut-and-Tie Model (STM) is one of the main methods used for structural analysis and the design of steel reinforced concrete. The investigation of its applicability on carbon reinforced concrete becomes imperative. Such investigation is in progress in one of the subprojects of the joint research project C3-L6 “Dimensioning and construction”.

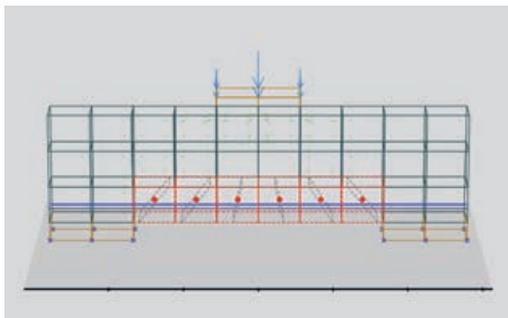
A typical structural element, where the STM is applied, is the deep beam. Therefore, a model is being developed to simulate the behaviour of the carbon reinforced concrete deep beam. The in-house software “CaeFem” is used to implement the simulation. The numerical simulation of the beam will then be compared with the results of experimental tests on the beam. The test specimens have a different amount of reinforcement and different sizes of the supports to obtain different modes of failure which are concrete compression failure, bar tensile failure, and anchorage failure.

Two and three-dimensional models are conducted based on the number of bars used in the experimental tests. The bars are embedded in the surrounding solid elements representing the

und Auflagrößen verwendet. Bei den zu beobachtenden Versagensarten handelt es sich um das Betondruckversagen, das Zugversagen der einzelnen Bewehrungsglieder und das Verbundversagen der Bewehrung.

Zur Untersuchung der Tragwirkung wurden je nach Versuchs- und Bewehrungskonfiguration zwei- oder dreidimensionale Simulationsmodelle aufgestellt. Die Bewehrung wurde hierbei als Balkenelement modelliert und in die umgebenden Volumenelemente eingebettet, die die Betonmatrix repräsentieren. Die Kopplung von Bewehrungsstäben und der umgebenden Betonmatrix erfolgt mithilfe von Verbundelementen. Durch dieses Vorgehen wird eine unabhängige Diskretisierung von Balken- und Volumenelementen ermöglicht. Hierdurch wird der Vernetzungsprozess für das Modell erheblich vereinfacht. Zudem ist es möglich, voneinander unterschiedliche Abmessungen für Volumen- und Balkenelemente zu verwenden.

Neben einem isotropen, einem plastisch-isotropen Schädigungsmodell sowie einem anisotropen Microplane-Schädigungsmodell wurde darüber hinaus noch ein Modell implementiert, welches den Ansatz starker Diskontinuitäten verwendet. Die Ergebnisse der experimentellen Tests werden für die Überprüfung der Ergebnisse der einzelnen Materialmodelle verwendet.



Rissoberflächen und -orientierungen, die durch die Simulation eines wandartigen Trägers aus Carbonbeton mit dem Ansatz starker Diskontinuitäten erhalten wurden | *Crack's surfaces and orientations obtained from a simulation of carbon reinforced concrete deep beam using Strong Discontinuity Approach (SDA)* | Graphic: Ahmad Chihadeh

concrete matrix. The bars and the solid elements are coupled together by bond elements allowing for the independent discretization of bar elements with respect to solid elements. This simplifies the meshing process and gives the ability to choose bar elements and continuum elements with different dimensions.

Different material models are being implemented as well. In addition to the Strong Discontinuity Approach, isotropic damage, plastic-isotropic damage, and micro-plane anisotropic damage have been considered. The results obtained from the experimental tests are used for the verification of the result of each material model.

► **Titel | Title**

TP C3-L6-II: Entwurf und Bemessung von Carbonbeton-Bauteilen mit Stabwerkmodellen und für Torsionsbeanspruchungen im Verbundvorhaben C3-L6: Bemessung und bauliche Durchbildung

TP C3-L6-II: Design and dimensioning of carbon reinforced concrete components with strut-and-tie models and for torsional stress as part of the joint research project C3-L6: Dimensioning and construction

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

01.2019–06.2020

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Ahmad Chihadeh M.Sc.

► **Projektpartner | Project partners**

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



Versuchsaufbau der verstärkten Plattenbalken | Test setup for strengthened T-beams | Photo: Sebastian May

QUERKRAFTVERSTÄRKTE PLATTENBALKEN SHEAR STRENGTHENING FOR T-BEAMS

Das Vorhaben C3-V2.7 befindet sich im dritten Bearbeitungsjahr und viele Großbauteilver-
suche wurden bereits durchgeführt. Zuerst
wurden biegebeanspruchte Plattenstreifen
mit Carbonbeton verstärkt. Unter den gewähl-
ten Randbedingungen, d. h. mit einem niedrigen
Stahlbewehrungsgehalt und einem Beton
der Festigkeitsklasse C50/60, konnte mit den
verwendeten Carbonbewehrungen bei einer
einlagigen Verstärkungsschicht eine Laststeige-
rung von bis zu 400 % erreicht werden. Werden
zwei Lagen Carbonbewehrung aufgetragen, ist
eine weitere Laststeigerung möglich. Anstel-
le des Biegeversagens tritt eine Kombination
aus Biegeschub- bzw. Querkraftversagen und
Delamination der Carbonbetonschicht ein. Ein
ähnliches Versagensverhalten ist bei einem hö-
heren Stahlbewehrungsgehalt mit zwei Lagen
Carbonbewehrung zu beobachten.

Eine Querkraftverstärkung aus Carbonbeton
wurde an schlanken und gedrungenen Platt-
tenbalken mit einer oder zwei Lagen Carbon-
bewehrung bzw. nur einer Spritzbetonschicht

*The project C3-V2.7 is in the third year and
many large component tests have already been
carried out. First of all, reinforced concrete
plates designed for bending were strengthened
with carbon concrete. Under the selected
boundary conditions, i.e. with a low steel rein-
forcement ratio and concrete of strength class
C50/60, a load increase of up to 400% could be
achieved with the carbon reinforcements used
in a single reinforcement layer. If two layers of
carbon reinforcement are applied, a further
load increase is possible. Instead of bending
failure, a combination of bending failure, shear
failure and delamination of the carbon concrete
layer occurs. A similar failure behaviour can be
observed with a higher steel reinforcement ratio
and with two layers of carbon reinforcement.*

*A shear strengthening made of carbon concrete
was investigated on slender and compact
T-beams with one or two layers of carbon rein-
forcement and with one layer of shotcrete only.
The reinforcement was applied either laterally
to the web or by means of L-profiles surrounding*

untersucht. Die Verstärkung wurde entweder nur seitlich am Steg oder mittels L-Profilen umschließend am gesamten Steg angebracht. Die Faserstränge wurden im $0/90^\circ$ - oder $\pm 45/45^\circ$ -Winkel zueinander appliziert.

Mit einer reinen Spritzbetonschicht konnte bei den schlanken Plattenbalken eine Laststeigerung von circa 10 % erreicht werden. Durch eine seitliche Stegverstärkung konnte der Lastwiderstand, unabhängig von der Carbonbewehrung, der Faserstrangausrichtung oder der Lagenanzahl, um 40 % angehoben werden. Wurde die Carbonbewehrung mittels L-Profilen ausgeführt, war eine Laststeigerung um 45 % möglich. Als Versagensmechanismus trat ein Ablösen der Carbonbetonschicht zum Altbeton ein.

Das Tragverhalten unterscheidet sich bei den gedrungeneren Plattenbalken. Werden die Stege seitlich mit der Wilhelm Kneitz oder der solidian Carbonbewehrung verstärkt, kann die Last um ca. 20 % erhöht werden. Es trat jedoch ein Biegedruckversagen auf, bei dem die Einschnürung der Betondruckzone maßgebend wurde. Wurde die Verstärkung mit der solidian GRID Q85/85-CCE-21 Carbonbewehrung (Ausrichtung: $0/90^\circ$, einlagig), seitlich bzw. den Steg umschließend, ausgeführt, konnte die Last um ca. 35 % gesteigert werden. Dabei trat ein Biegeschubversagen ein, in dem die Stahlbewehrungsbügel versagten.



Biegeschubversagen eines Plattenbalkens | *Shear failure of a T-beam* | Photo: Sebastian May

the entire web. The fibre strands were oriented at $0/90^\circ$ or $\pm 45/45^\circ$ angle to each other.

With a pure shotcrete layer, a load increase of about 10% could be achieved for the slender T-beams. When using carbon reinforcement, strengthening of the webs at its lateral surface only increased the load resistance by 40%, irrespective of the carbon reinforcement, the fibre strand orientation or the number of layers. If the carbon reinforcement was implemented using L-sections, a load increase of 45% was possible. The failure mechanism was a delamination of the carbon concrete layer from the old concrete.

The load-bearing behaviour differed for the non-slender T-beams. If the webs were reinforced laterally with Wilhelm Kneitz or solidian carbon reinforcement, the ultimate load increased by approx. 20%. However, bending compression failure occurred, in which the necking of the concrete compression zone became decisive. If the reinforcement was carried out with the solidian GRID Q85/85-CCE-21 carbon reinforcement (orientation: $0/90^\circ$, single layer), laterally or enclosing the web, the ultimate load increased by approx. 35%. This resulted in a bending shear failure.

► **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 / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

05.2017–04.2020

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

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

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

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

► **Projektpartner | Project partners**

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



Verschiedene Geometrien von Carbonstäben | Various geometries of carbon bars | Photo: Sven Hofmann

VERBUNDSIMULATION VON CARBONSTÄBEN

BOND SIMULATION OF CARBON BARS

Carbonbewehrte Bauteile können extrem tragfähig sein. Die Forschung beschäftigt sich bisher größtenteils mit den textilen Carbongelegen, aber auch Carbonstäbe zeichnen sich durch ihre hohe Festigkeit in Längsrichtung aus. Die im Gegensatz zu Stahlstäben erhöhte Querdruckempfindlichkeit bringt jedoch auch einige Herausforderungen mit sich, insbesondere im Hinblick auf die Wahl geeigneter Verankerungen und Oberflächenprofilierungen.

Zur Etablierung von Carbonstäben ist im Bauwesen eine gezielte Ausnutzung ihres hohen Tragfähigkeitspotentials erforderlich, weshalb die bereits erarbeiteten grundlegenden Bewehrungsstabstrukturen weiterentwickelt und u. a. durch neue innovative Oberflächenstrukturierungen ergänzt werden.

Im Vorhaben C3-V2.5A ist die Aufgabe des Instituts für Massivbau die numerische Simulation des komplexen Verbundverhaltens zwi-

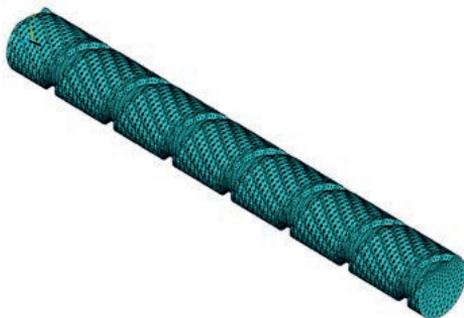
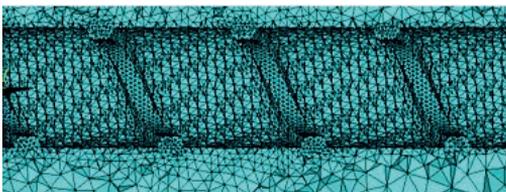
Carbon reinforced constructions can reach many times the load-bearing capacity of steel reinforcement – this has been shown in many carbon reinforcement research projects. However, such research projects had focused mainly on carbon textiles. Carbon bars have the same high longitudinal strength characteristics. The high cross-sensitivity to pressure, however, entails some challenges especially with regard to the choice of suitable anchorages and the surface profiles.

In order to establish carbon bars in the construction industry, targeted exploitation of the high load-bearing potential of the carbon reinforcement is necessary. That is why the basic reinforcement bar topologies developed in the basic project C3-B1 are further optimized – among other things as innovative surface structures – to overcome the market entry barriers.

Within the project, the task of the Institute of Concrete Structures comprises the numerical

schen Carbonstäben und Beton. Hierbei steht insbesondere die konstruktive Gestaltung der Carbonstäbe für einen ausreichenden Form- bzw. Kraftschluss zur Sicherstellung der Verbundwirkung unabhängig vom Tränkungs- material im Mittelpunkt des Projektes. Dazu wurde ein von den Projektpartnern verwendeter Carbonstab ausgemessen und als 3D-Modell in ein FE-Programm eingearbeitet sowie eine zweidimensionale Vereinfachung des Versuchs erstellt, die deutlich weniger Rechenleistung benötigt. Anhand experimenteller Versuche der Projektpartner sollen die verschiedenen detaillierten FEM-Modelle kalibriert und validiert werden, sodass die Versuche nachgebildet werden können. Anschließend erfolgt eine ausführliche numerische Parametervariation, um weiterführende Erkenntnisse über das Verbundverhalten der gerippten Carbonstäbe mit dem umgebenden Beton und möglichen Versagensmechanismen zu erlangen. Darauf aufbauend kann das Verbundverhalten von Carbonstäben analog zum Stahlbetonbau klassifiziert werden.

Aus den Erkenntnissen dieser numerischen Simulationen soll es schlussendlich möglich sein, eine weitestgehend effiziente Oberflächenprofilierung der Carbonstäbe zu ermitteln, die eine großserienfähige Produktion und den wirtschaftlichen Einsatz ermöglichen.



Dreidimensionale Modellierung eines Auszugversuchs und eines Carbonstabs | *Three-dimensional modeling of a pull-out test and a carbon bar* | Graphic: Alexander Schumann

simulation of the complex bond behaviour between the carbon bars and the concrete. The main focus is the constructive design of the bars for a sufficient force and form-fitting connection to ensure the bond effect regardless of the impregnation material. For this purpose, a basic carbon bar, used as a starting point by the project partners, was measured and incorporated into the finite element program as a three-dimensional model. A two-dimensional simplification of the experiment was created, which required significantly less computing power. On the basis of experimental tests by the project partners, the FEM models are to be calibrated and validated so that the test results can be reproduced. This is followed by a detailed numerical parameter variation in order to gain further knowledge about the bond behaviour of the ribbed carbon bars with the surrounding concrete and possible failure mechanisms. Based on those results the bond behaviour of carbon bars can be classified analogical to that of steel reinforcement.

From the findings of these numerical simulations, it should ultimately be possible to determine a largely efficient surface profile of the carbon bars, which enables large-scale production and economical use.

► **Titel | Title**

TP C3-V2.5A-I-b: Numerische Simulation des Verbundverhaltens zwischen Carbonstrukturen und Beton im Verbundvorhaben C3-V2.5A: Beanspruchungsgerechte Carbonbewehrungsstäbe für einen wirtschaftlichen Einsatz im Bauwesen

TP C3-V2.5A-I-b: Numerical simulation of the bond behaviour between carbon structures and concrete as part of the joint project C3-V2.5A: Stress-related carbon reinforcement bars for economical use in civil engineering

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

01.01.2019–31.03.2020

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Alexander Schumann

► **Projektpartner | Project partners**

4 Partner, davon 2 aus der Forschung und 2 Firmen



Mechanisch wirkende Verankerungsstruktur im Verbund zwischen Carbonfaserstrang und Beton | *Mechanical anchoring structure in bond between carbon fiber yarn and concrete* | Photo: Stefan Gröschel

MECHANISCHE VERANKERUNG

MECHANICAL ANCHORING

Im Vorhaben C3-V3.4 werden mechanisch wirkende Verankerungsstrukturen erforscht, durch deren Applikation ein verbesserter Verbund zwischen textiler Carbonbewehrung und Beton erreicht und eine Reduzierung der Verankerungslänge bewirkt werden sollen.

Ziel ist es, einzelne Bereiche der Textilbewehrung so zu verändern, dass eine lokale Verankerung auf kurzer Länge unter Berücksichtigung einer höchstmöglichen Materialausnutzung erfolgt. Die zusätzlich auf das Textil applizierten Strukturen wirken nach dem Prinzip des Formschlusses und stellen den Verbund anhand ihrer Geometrie sicher. Aus der Vorbetrachtung ergaben sich viele Faktoren, die einen Einfluss auf Form und Größe solcher Strukturen haben. Der Wunsch nach geringen Betondeckungen und die Geometrie der Textilgitter begrenzen die Verankerungsstrukturen in ihren Dimensionen. Die Dauerhaftigkeit des Verbundes zwischen Struktur, Beton und Carbongarn muss ebenfalls sichergestellt werden, wodurch Anforde-

The C3-V3.4 project investigates mechanical anchoring structures that are supposed to improve the bond between carbon fibres and concrete and, as a result, reduce anchorage length. The ambition is to modify certain areas of the textile reinforcement to create local short-length anchorages while maximizing utilization of material. Additional topologies, which are applied to the textile, also secure anchorage by utilizing their geometry.

The preliminary considerations yield many parameters that influence the form and dimension of those structures. The dimension of those structures, in turn, is limited by the geometry of the textile grid and the desire for a thin concrete covering. The durability of the bond between structure, concrete and carbon fibre also has to be ensured, which results in certain requirements concerning material and application of geometrical structures.

rungen an das Material und den Prozess der Applikation der Strukturen entstehen.

Als Basis für die Versuche und als Referenz wurde ein flexibles Textil verwendet, das innerhalb des Vorhabens mit den Projektpartnern weiterentwickelt wurde. Das Augenmerk lag hierbei auf der Biegsamkeit des Textils sowie den Anforderungen an die Verbundeigenschaften. Einige Lösungsansätze mit unterschiedlichen Verankerungsstrukturen (Form, Material, Art der Applikation) erwiesen sich in den bereits durchgeführten Versuchen als vielversprechend und erzielten eine Steigerung der Verbundkennwerte. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern werden diese weiterentwickelt und Lösungen für die mechanische Verankerung von flexiblen Textilbewehrungen im Carbonbeton geschaffen. So befindet sich zum Beispiel ein thermoformbares Carbongitter in der Entwicklung, das die Fähigkeit besitzt, durch Einbringung von Wärmeenergie verformt werden zu können. So soll es möglich sein, einzelne Bereiche der Textilbewehrung einer definierten geometrischen Form, z. B. Faltung oder Schlaufe anzupassen und durch diese Form eine Verankerung im Beton zu gewährleisten.



Carbongelege mit zusätzlicher Polymerbeschichtung zur Verbesserung der Verbundeigenschaften | Carbon grid with additional polymer coating to improve the bond behaviour | Photo: Stefan Gröschel

The experiments were based on a flexible textile, which was developed further in cooperation with the project partners. Main aspects were flexibility and the requirements for composite properties. Several approaches for different anchoring structures (form, material, type of application) turned out to be promising and resulted in an increase of composite characteristics. In collaboration with the project partners, they are developed further, and solutions for mechanically anchoring textile reinforcement within the concrete are found.

For example, there is a carbon grid under development which is capable of being formable during heat treatment. Hence single areas of the textile reinforcement can be adjusted to match certain geometries (e.g. folds, loops), thus providing mechanical anchoring within the concrete due to their shape.

► **Titel | Title**

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

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

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

04.2018–03.2020

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

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

► **Projektpartner | Project partners**

3 Partner, davon 1 aus der Forschung und 2 Firmen



Modell einer Schlaufe aus Carbon | Model of a carbon loop | Photo: Dominik Schlüter

DECKENPLATTEN AUS CARBONBETON

CARBON CONCRETE CEILING SLABS

Durch den Einsatz einer Bewehrung aus Carbon soll die Dauerhaftigkeit und die Wirtschaftlichkeit stark beanspruchter Deckenplatten erhöht werden. Insbesondere bei Parkhausdeckenplatten unterliegen die Bauteile starken mechanischen Einwirkungen. Durch chloridhaltige Taumittel, welchen die Deckenplatten insbesondere im Winter ausgesetzt sind, kommt eine weitere signifikante chemische Einwirkung hinzu. Sowohl aus technischer als auch aus ökonomischer Sicht verspricht in diesem Anwendungsfall der Einsatz einer Carbonbewehrung einen großen Vorteil. Die Deckenplatten liegen zumeist auf Unterzügen mit relativ geringer Auflagertiefe. Es besteht daher die Notwendigkeit, die Bewehrung auf einer kurzen Länge zu verankern. Somit ist im Rahmen dieses Vorhabens eine optimierte Endverankerungslösung zu entwickeln. Darüber hinaus besteht die Gefahr eines Querkraftversagens. Auch diesem kann durch eine geeignete Endverankerungslösung entgegengewirkt werden, wenn die Bewehrung in Richtung der Hauptzugspannungen angeordnet wird.

The use of carbon reinforcement is intended to increase the durability and cost-effectiveness of heavily stressed ceiling slabs. Particularly in the case of multi-storey car park ceiling slabs, the components are subjected to strong mechanical and chemical effects. A significant chemical effect is caused by chloride-containing de-icing agents to which the ceiling slabs are exposed, especially in winter. From both a technical and economic point of view, the use of carbon reinforcement promises a great advantage in this application. The ceiling slabs are usually fixed to supporting beams with a relatively small depth. It is, therefore, necessary to anchor the reinforcement within a short length. Therefore, an optimized end anchoring solution has to be developed within the scope of this project. Furthermore, there is a risk of shear force failure. This can also be counteracted by a suitable end anchorage solution.

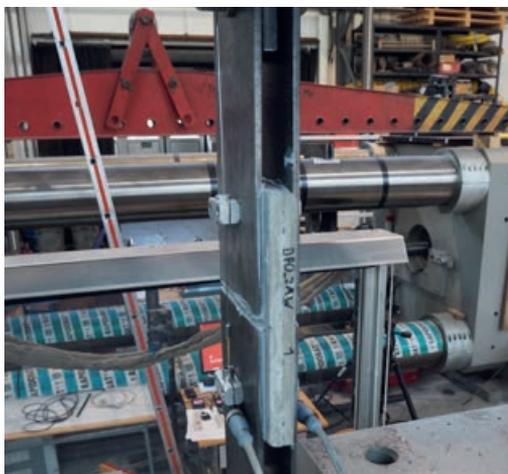
The Institute of Concrete Structures is dealing with several aspects of this project. First, a preliminary geometry and material selection of the concrete mix and the reinforcement of

Das Institut für Massivbau befasst sich mit mehreren Aspekten dieses Vorhabens. So wurde zunächst eine Vorbemessung der im Projekt anvisierten Deckenplatten durchgeführt.

Darüber hinaus wurde eine Materialauswahl der zukünftig einzusetzenden Betonrezeptur und der Bewehrung getroffen. Diese konnte anhand experimenteller Untersuchungen validiert werden. Mithilfe von Übergreifungs- und Dehnkörperversuchen wurde das Trag- und Verbundverhalten dieser Vorzugslösung quantifiziert. Mit computergestützten Programmen wurde daraufhin das Resonanzverhalten der geplanten Deckenplatten untersucht.

Darüber hinaus wurden unterschiedliche Schlaufenkonzepte für die Endverankerung der Bewehrung entwickelt, die im nächsten Schritt mithilfe experimenteller Untersuchungen bewertet werden. Dabei wird insbesondere deren Wirkung auf die Verbundlänge als auch auf das Querkrafttragverhalten der Platte untersucht. Ein wichtiger Aspekt bei der Auswahl einer Vorzugsvariante ist neben der reinen Tragfähigkeit, die Notwendigkeit einer ökonomisch sinnvollen Herstellung und Montage.

Im weiteren Verlauf sollen diese Endverankerungslösungen auf ein Großbauteil übertragen und anhand eines Großbauteilversuchs validiert werden.



Experimentelle Untersuchung der Verbundtragfähigkeit | Experimental investigation of the bond load-bearing capacity | Photo: Dominik Schlüter

the ceiling was carried out. This selection was validated by experimental investigations. With the help of material tests, the load-bearing and bond behaviour of this preferred solution were quantified. Through computer-aided programs the resonance behaviour of the planned slabs was investigated.

In addition, different loop concepts for the final anchoring of the reinforcement were developed. They will be evaluated in the next step by means of experimental investigations. In particular, their effect on the bond length as well as their effect on the shear force bearing behaviour will be investigated. An important aspect in the design of the anchoring, apart from the pure load-bearing capacity, is the necessity of an economically reasonable production and installation.

In the further course, these end anchorage solutions are to be transferred to a large component and validated by means of a large component test.

▶ **Titel | Title**

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

TP C3-V4.19-III: Investigation of the bond behaviour and the end anchorage of carbon reinforcements as part of the joint research project C3-V4.19: Carbon reinforced ceiling slabs for parking garages

▶ **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

▶ **Zeitraum | Period**

04.2018–03.2020

▶ **Leiter Teilprojekt | Subproject manager**

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

▶ **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

▶ **Projektpartner | Project partners**

Dreßler Bau GmbH, Stockstadt | Institut für Massivbau, TU Darmstadt



Rendering eines Torsionsankers aus FGL | Rendering of a shape memory alloy torsion anchor | Graphic: Dominik Schlüter

BRANCHENÜBERGREIFENDE INNOVATION – CARBONBETON VERBINDET

CROSS INDUSTRY INNOVATION – CARBON REINFORCED CONCRETE CONNECTS

Momentan besteht ein großer Bedarf an günstigen Bildungs-, Gewerbe- und Wohnbauten. Flexible Bauverfahren und Modularität haben das Potential, diesem Bedarf zu begegnen. Dabei bestehen Teile des Bauwerks – wie etwa die Fassade – aus vorgefertigten Modulen. Diese Einzelmodule werden konventionell mittels Einlegteilen oder Vergussverbindungen miteinander verbunden. Dies setzt eine mechanische Zugänglichkeit der Verbindungsstellen für die Montage bzw. Demontage voraus. Wird die Verbindung mittels Verguss realisiert, so ist ein Lösen überhaupt nicht mehr möglich; ein Wiederverwenden der Bauteile wird somit erschwert.

Im Projekt „TAVIMBA“ sollen smarte Verbindungen entwickelt werden, welche ohne mechanische Zugänglichkeit verschlossen und ggf. wieder geöffnet werden können. Dafür sollen auf Basis thermischer Formgedächtnislegierungen

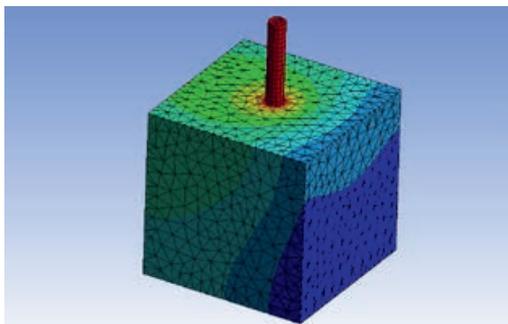
Currently, there is a great demand in Germany for educational, commercial and residential buildings. Flexible construction methods such as “modular construction” have the potential to meet this demand. Within this construction method, parts of the building - such as the facade - consist of prefabricated modules that will be assembled on-site. The individual modules are conventionally connected to each other by means of inserts or grouted joints. This requires mechanical accessibility of the joints for assembly and disassembly. If the connection is made by means of grouting, it is no longer possible to loosen them at all, making it difficult to reuse the components.

In the project “Thermally activated joints in modular construction (TAVIMBA)” smart joints are to be developed which can be closed and, if necessary, reopened without mechanical accessibility. For this purpose, solutions based

(FGL) Lösungen entwickelt werden, welche mittels thermischer bzw. elektrischer Stimulation geöffnet und ggf. wieder geschlossen werden können. Durch deren nahezu 100 %ige Strukturintegration sollen Verbindungen ermöglicht werden, welche weniger raumintensiv sind und somit auch eine einfache Verbindung dünner Bauteile aus Carbonbeton ermöglichen.

Thermische Formgedächtnislegierungen haben die Fähigkeit, auf Änderungen des thermischen Feldes mit reversiblen mechanischen Änderungen zu reagieren. Im martensitischen Zustand kann ein Element aus FGL scheinbar plastisch (pseudoplastisch) verformt werden. Erhitzt man das Element im Anschluss über seine Umwandlungstemperatur, nimmt es die zuvor eingeprägte Form wieder ein. Mithilfe dieses Effektes sollen Verbindungselemente entwickelt werden, welche auf sichere, schnelle und zuverlässige Weise modulare Bauteile (Fassaden, Betonplatten, Balken, Stützen ...) verbinden.

Das IMB beschäftigt sich mit den Grundlagen der Auslegung und unterstützt bei der Entwicklung des Gesamtdesigns der Verbindung. Dieses muss derart gestaltet sein, dass alle bautechnisch relevanten Anforderungen erfüllt werden. Dazu müssen die sicherheitsrelevanten statischen Anforderungen bezüglich der Verbindungselemente auch für eine sichere Lasteinleitung in dünne Bauteile erfüllt werden. Um das Projektziel zu erreichen, sind sowohl theoretische Überlegungen, also das klassische Konstruieren, wie auch praktische Erprobungen und Bestimmen von Bauteilwiderständen, also der Lastkapazität der Verbindung selbst und deren Einbindung in Bauteile, notwendig.



Thermische Analyse bei Aktivierung der FGL | Thermal analysis of the shape memory alloy at activation | Graphic: Dominik Schlüter

on thermal shape memory alloys (SMA) are to be developed which can be opened and, if necessary, closed again by means of thermal or electrical stimulation. Their almost 100 % structural integration should enable connections that are less space-intensive and thus enable a connection of thin components made of carbon concrete.

Thermal shape memory alloys have the ability to react to changes in the thermal field with reversible mechanical changes. In the martensitic state, an element made of SMA can apparently be deformed plastically (pseudoplastic). If the element is subsequently heated above its transformation temperature, it resumes its previously imprinted shape. With the help of this effect, connecting elements are to be developed which connect modular components (facades, concrete slabs, beams, columns, ...) in a safe, fast and reliable way.

The Institute of Concrete Structures supports the development of the overall design of the connection. The connection must be designed in such a way that all the safety-relevant static requirements and a safe load transfer into thin components are guaranteed. In order to achieve this goal, both theoretical considerations and practical testing and determination of component resistances have to be carried out.

► **Titel | Title**

TP 4: Auslegung der Verbindungen gemäß bautechnischer Anforderungen im Verbundprojekt: Thermisch aktivierte Verbindungen im Modularen Bauen (TAVIMBA)

TP4: Design of the connections according to structural requirements as part of the joint research project: Thermally activated connections in modular construction (TAVIMBA)

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / smart³

► **Zeitraum | Period**

09.2018–02.2021

► **Leiter Teilprojekt | Subproject manager**

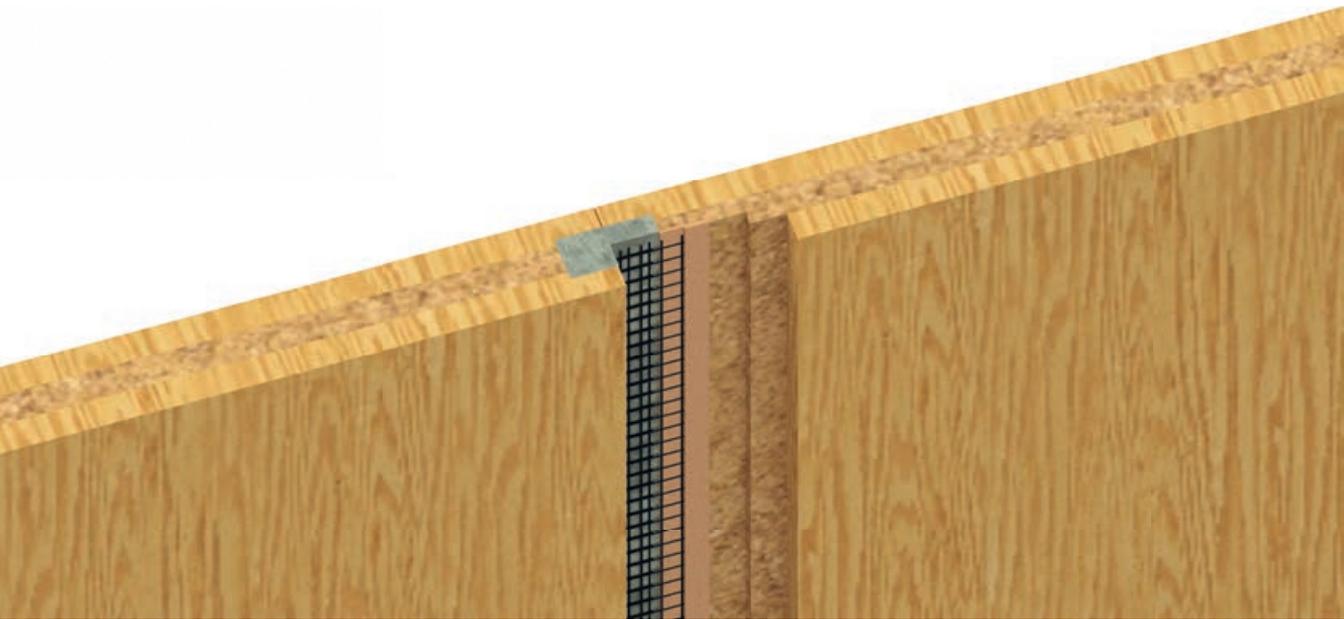
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

► **Projektpartner | Project partners**

4 Partner, davon 2 aus der Forschung und 2 Firmen



Verbindung von Brettsperrholzwänden mit Carbonbeton | *Connecting cross laminated timber walls with carbon reinforced concrete* |
 Graphic: Kristina Farwig

VERBINDUNG VON HOLZKONSTRUKTIONEN MIT CARBONBETON

JOINING OF WOODEN CONSTRUCTIONS WITH CARBON REINFORCED CONCRETE

Der globale Klimawandel erfordert auch ein Umdenken im Bauwesen hin zu einer ressourcenschonenderen Bauweise. Zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes wird daher an alternativen Bauweisen geforscht, die auf dem Markt mit dem herkömmlichen Stahlbetonbau konkurrieren können. Neben der Entwicklung neuer, leistungsfähiger Baustoffe spielt auch die Kombination verschiedener Materialien eine große Rolle. Die Holz-Beton-Verbundbauweise ist eine Möglichkeit, die vorhandenen Materialien entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit sinnvoll im Bauteilquerschnitt einzusetzen. Sie findet nicht nur bei der Sanierung von Deckentragwerken, sondern auch im Neubau ihren Einsatz.

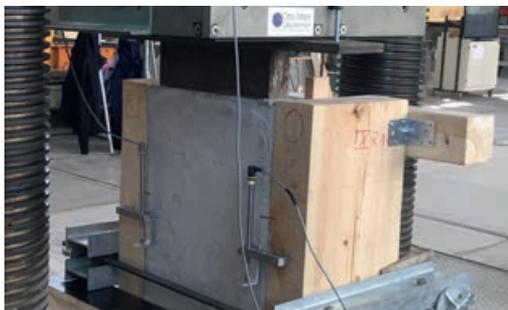
Im Zuge der Herstellung von Bauwerken, die aus mehreren Materialkomponenten bestehen, spielt die Effizienz auf der Baustelle eine große Rolle. Durch einen hohen Grad an Vorfertigung kann diese gesteigert werden. Einzelne Bau-

Global discussions about climate change also call for a rethink in the construction industry, which goes hand in hand with more resource-efficient construction methods. Therefore, to reduce CO₂ emissions, research that focuses on alternative construction methods that can compete with conventional reinforced concrete construction on the market is being conducted. In addition to the development of new, high-performance building materials, the combination of different materials also plays a major role. The wood-concrete-composite construction method is one way of using the existing materials within the cross section of the component according to their efficiency. It is not only used for the renovation of ceiling structures but also in new buildings.

In the course of the construction of buildings consisting of several material components, the efficiency at the construction site plays an

teile müssen vor Ort lediglich entsprechend zusammengefügt werden. Bei bspw. Wohnhäusern bis Gebäudeklasse 3 ermöglicht die Fertigteilbauweise mit Brettsperrholz, die als Wand- oder Deckenelemente auf die Baustelle transportiert werden, ein wirtschaftliches und zugleich nachhaltiges Bauen mit dem natürlichen Rohstoff Holz. Der erfüllt zudem ästhetische Anforderungen von planenden Architekten und der Nutzer der Gebäude.

Ein Nachteil der Fertigteilbauweise mit Holz und Holzwerkstoffen ergibt sich jedoch u. a. aus dem Zusammenfügen der Elemente auf der Baustelle. Dieses gestaltet sich teilweise aufwendig und erfordert eine hohe Anzahl an metallischen Verbindungsmitteln. Alternativ kann eine Verbindung der Bauteile vor Ort über das Vergießen der Fuge im Anschluss der Fertigteilwand mit Beton geschaffen werden. Das Zusammenfügen der Wände oder auch Wand-Decken-Anschlüsse kann mit Beton in Form einer Nut-Feder-Verbindung in jeglichem Winkel erfolgen. Diese Verbindung soll in verschiedenen Varianten analytisch und experimentell untersucht werden. Aufgrund des geringen Platzes, der zur Verfügung steht, wird u. a. der Einsatz von eingeklebter, textiler Bewehrung zur Aufnahme von Zugspannungen infolge Schubbeanspruchung in Betracht gezogen. Daraus resultiert ein Verbindungssystem mit hohem Schubwiderstand, das in Zukunft auch in extremeren Anwendungsfällen, wie bei Hoch- oder Parkhäusern, Anwendung finden könnte.



Scherversuch am Holz-Beton-Verbundkörper im Otto-Mohr-Laboratorium im Rahmen der Diplomarbeit von Franziska Rößger (Fakultät Architektur) | *Shear test on the wood-concrete composite specimen in the Otto Mohr Laboratory as part of the diploma thesis of Franziska Rößger* | Photo: Kristina Farwig

important role. This can be increased by a high degree of prefabrication. Individual components only have to be assembled on site. For example, in residential buildings, up to building class 3, the prefabricated construction method with cross-laminated timber, comprising wall or ceiling elements which are transported to the construction site, enables economical and sustainable construction with the natural raw material wood, and it also meets the aesthetic requirements of planning architects and the users of the buildings.

However, one disadvantage of prefabricated construction with wood and wood-based materials, is that the elements are assembled on site. This is partly complex and requires a high number of metallic fasteners. Alternatively, the components can be connected on-site by filling the joint in the connection of the precast wall with concrete. The joining of the walls or wall-ceiling connections can be carried out at all angles with concrete in the form of a tongue-and-groove connection. This connection system will be investigated analytically and experimentally in different variants. Due to the limited space available for the connection, the use of glued-in textile reinforcement to absorb tensile stresses due to shear stress is considered. This results in a connection system with high shear resistance, which could also be used in the future in more extreme applications, such as high-rise or multi-storey parking garages.

► **Titel | Title**

Entwicklung einer Verbindungsmitteltechnologie für Brettsperrholz-Wandkonstruktionen mit hohem Schubwiderstand

Development of a joint technology for cross laminated timber wall constructions with high shear resistance

► **Förderer | Funding**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); Forschungsinitiative ZukunftBAU

► **Zeitraum | Period**

12.2018–08.2020

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

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

► **Bearbeiterin | Contributor**

Dipl.-Ing. Kristina Farwig

► **Projektpartner | Project partners**

Auerbach und Hahn GmbH, Wilsdruff | AIB GmbH, Bautzen



Gitteranordnung der Textilbewehrung aus Profil-Carbonrovings | Grid structure made of profile yarns | Photo: Martin Waldmann

NEUARTIGE PROFIL-CARBONROVINGS FÜR EINE OPTIMIERTE BETONBEWEHRUNG

PROFILE CARBON ROVINGS – NEW CARBON FIBRE YARNS FOR OPTIMIZED CONCRETE REINFORCEMENT

Der Verbund zwischen Bewehrung und Beton beeinflusst das Trag- und Verformungsverhalten des Bauteils. Im Stahlbeton wird über die Rippengeometrie der Bewehrungsstähe ein mechanischer Verbund durch Formschluss geschaffen. Die Interaktion zwischen den Stahlrippen und den Betonkonsolen wurde über Jahrzehnte erforscht und in Normen erfasst. Die bisher entwickelten Textilbewehrungen zeigen in ihrem Verbundverhalten unterschiedliche Mechanismen auf, welche maßgeblich durch die Steifigkeit der Polymertränkung und die Querschnittsform der Garne geprägt werden.

Am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) wurden profilierte Faserstränge aus Carbonrovings – kurz Profilgarne – hergestellt, deren Geometrie definiert und reproduzierbar gefertigt

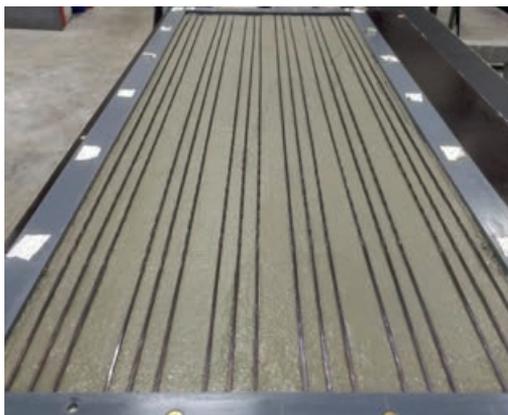
The load-bearing and deformation behaviour in carbon reinforced concrete depends on the bond between concrete and reinforcement. The mechanical bonding in steel reinforced concrete is created by the distinctive form and due to the rip geometry of the steel reinforcement. The interaction between steel ribs and concrete has been investigated for decades and registered as unified standards. The textile reinforcements, which have been invented so far, demonstrate several different bonding mechanisms, which are defined mostly by their cross section geometry and the rigidity of the utilized polymer impregnation.

The Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology (ITM) produced profiled threads made from carbon rovings, short "profile yarn", which have a defined and reproducible geometry. The yarn has a tetrahedron profile and their parameters can be adjusted to

werden kann. Die Garne besitzen eine Tetraeder-profilierung, deren Parameter eingestellt und so an die Anwendung angepasst werden können. Die einzelnen Filamente werden während der Fertigung parallel und lastgerecht angeordnet und homogen durchtränkt. Dies bildet die Grundlage für eine hohe Ausnutzung der Eigenschaften des Carbon-werkstoffes.

Am Institut für Massivbau (IMB) wurden zwei verschiedene Serien der Profilgarne mit unterschiedlicher Profilierung getestet. Für die Charakterisierung wurden Dehn- und Verbundprobekörper hergestellt und geprüft. Die ermittelte Garnzugfestigkeit lag im Vergleich zu einem maschinell gefertigten Gelege mit gleicher Bewehrungskonfiguration um 24 % höher. In den Verbundversuchen konnten ebenfalls sehr hohe Verbundkräfte erzielt werden. Anhand des mechanischen Formschlusses über die Garnprofilierung zum Beton kann eine Verankerung unter Ausnutzung der hohen Festigkeit auf kurzer Länge im Bauteil sichergestellt werden.

In zukünftigen Forschungsvorhaben sollen verschiedene Parameter hinsichtlich der Profilierung sowie der Gitteranordnung für eine Bewehrungsstruktur untersucht werden. Eine Normung für die Profilierung der Carbonrovings, ähnlich zur Rippengeometrie im Stahlbeton, könnte erstellt werden und eine neue Generation der Bewehrungen im Carbonbeton begründen.



Dehnkörperbetonage der Profil-Carbonrovings | Production of carbon concrete with profile yarns | Photo: Maximilian May

the intended use. The filaments are oriented parallel, adapted to the load and are homogeneous. This is the basis for high utilization of the carbon properties. The ITM produced two different series of profile yarn, each having a unique topology. The characterization methods were tension tests and single pull out (SPO) tests.

The resulting yarn strength was 24% higher than the one of a machine-made grid with the same reinforcement configuration. During the SPO tests, very high bonding forces were achieved as well. With the help of yarn profiling, a short anchorage length was achieved which utilized the high bonding strength of the new form profile

Future projects aim to investigate different parameters for reinforcement structures regarding profiling as well as grid arrangement. Standardization of carbon rovings profile, similar to the that of the rib geometry in steel reinforced concrete, could be established and a new generation of carbon reinforced concrete could be founded.

► **Titel | Title**

Profil-Carbonrovings – neuartige Carbonfaserstränge für eine optimierte Betonbewehrung

Profile carbon rovings – new carbon fiber yarns for optimized concrete reinforcement

► **Förderer | Funding**

Institut für Massivbau, TU Dresden

► **Zeitraum | Period**

08.2018–09.2019

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Maximilian May

► **Projektpartner | Project partners**

Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden | Prof. Offermann, Dresden



Photogrammetrische Messung der Risse im Carbonbeton in ARAMIS® | Photogrammetric measurement of cracks in carbon concrete in ARAMIS® | Graphic: Sandra Zögermann, Kristina Farwig

REDUZIERTER RISSBREITEN IM STRASSEN- BETON DURCH CARBONBEWEHRUNG

REDUCED CRACK WIDTHS IN PAVEMENT CONCRETE BY USAGE OF CARBON REINFORCEMENT

Unbewehrte Betonfahrbahndecken bedürfen aufgrund der vorhandenen Fugen eines hohen Wartungsaufwandes und weisen häufig Schäden auf. Eine sowohl ökonomische als auch ökologische Methode zur Instandsetzung dieser besteht darin, die beschädigte Fahrbahn mit einer dünnen Schicht aus Carbonbeton zu sanieren. Die auf Fahrbahndecken wirkenden, hohen mechanischen sowie thermischen und hygri-schen Beanspruchungen führen zu Zwangsspannungen in der fugenlosen Carbonbetonschicht, die mit dem Altbeton im Verbund wirkt. Im Bereich der Fuge wird der Verbund daher für einen bestimmten Bereich getrennt, so dass eine gleichmäßige Rissverteilung generiert werden kann. Um die in der Carbonbetonschicht zu erwartenden Rissabstände und -breiten experimentell erfassen und rechnerisch nachweisen zu können, wurden Dehnkörper- sowie Auszugversuche

Unreinforced concrete pavements require a high level of maintenance due to the existing joints and are often damaged. An economical and ecological method for the maintenance is to refurbish the damaged road with a thin layer of carbon concrete. The high mechanical as well as thermal and hygric stresses acting on the pavement cause constraining stresses in the jointless carbon concrete layer, which acts in conjunction with the old concrete. In the area of the joint, the bond is therefore separated for a certain area so that a uniform crack distribution can be generated. In order to be able to record the expected crack spacings and widths in the carbon concrete layer experimentally and to verify them mathematically, tensile tests and pull-out tests were carried out at 20 °C, -18 °C and +80 °C in the Otto Mohr Laboratory of the TU Dresden. The 3 cm thick tension specimens were each provided with a centrally arranged layer of textile reinforcement,

bei +20 °C, -18 °C und +80 °C durchgeführt. Die 3 cm starken Dehnkörper wurden sowohl mit einer mittig angeordneten Lage als auch mit zwei Textillagen versehen. Mittels Photogrammetrie wurden die Rissabstände und -breiten am Dehnkörper mit einer hohen Messgenauigkeit aufgezeichnet.

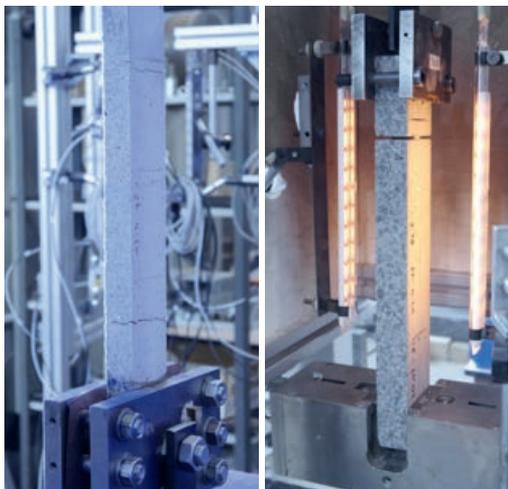
Die Auszugversuche dienten zur Bestimmung der Verbundeigenschaften zwischen Textil- und Betonmatrix. Die ermittelte Kraft-Rissöffnungs-Beziehung kann mithilfe eines numerischen Berechnungstools in eine Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung überführt und für die Berechnung der Rissabstände und -breiten verwendet werden. Der Vergleich von Berechnung und Versuch zeigt, dass die berechneten minimalen und maximalen Rissabstände bei den einlagig bewehrten Probekörpern gut mit den gemessenen übereinstimmen. Durch den Einsatz von zwei Textillagen wird der Abstand der Risse um fast die Hälfte reduziert. Die Rissbreiten können mit zwei Textillagen ebenfalls halbiert werden.

Bei 20 °C werden bei zweilagig bewehrten Dehnkörpern unter Gebrauchslast Rissbreiten von 0,10 bis 0,15 mm abgelesen.

and compared to specimens with two layers, with each layer having a thickness of 10 mm. With the aid of a photogrammetric measuring system, the crack distances and widths at the tension specimens could be recorded with a high degree of measuring accuracy.

The pull-out tests, on the other hand, served to determine the composite properties between the textile roving and the concrete matrix. The force-crack opening relationship determined can be converted into a composite stress-slip relationship using a numerical calculation tool and is used to calculate the crack distances and widths. The comparison of calculation and test shows that the calculated minimum and maximum crack distances of the single layer reinforced test specimens correspond well with the values measured at 20 °C, -18 °C and +80 °C. The largest variation of the measured values was recorded at 80 °C. The use of two textile layers reduced both the distance between the cracks and the crack widths by almost half. Particularly, a large scattering of the results was measured at 80 °C.

At 20 °C, crack widths of 0.10 to 0.15 mm are recorded from specimens with two layers of reinforcement under service load. In contrast to the minimum and maximum crack spacings, the mean crack widths can be recorded less precisely with the aid of the calculation.



Rissbildung am Dehnkörper (links), Aufheizen eines einseitigen Auszugskörpers (rechts) | Crack formation at a tensile specimen (left), heating of a single-sided pull-out specimen (right) | Photo: Robert Schneider

► **Titel | Title**

TP C3-V4.12-II: Rissbreitenuntersuchung im Verbundvorhaben C3-V4.12: Carbonbeton zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken

TP C3-V4.12-II: Research of crack growth as part of the joint research 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 / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

03.2017–08.2019

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

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

► **Bearbeiterin | Contributor**

Dipl.-Ing. Kristina Farwig

► **Projektpartner | Project partner**

Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum



Rissbild eines Dehnkörpers aus Carbonbeton | Crack pattern in a specimen of carbon concrete under tension | Photos: Philipp Riegelmann

TEXTILBEWEHRTER ORTBETON ALS BASIS FÜR EINE FUGENLOSE OBERFLÄCHE VON BETONFAHRBAHNEN

TEXTILE REINFORCED CONCRETE AS A BASIS FOR A JOINTLESS SURFACE OF CONCRETE ROADWAYS

Die in Deutschland gebräuchliche Bauweise von durch Längs- und Quertrennfugen unterteilten Betonfahrbahndecken ist aufgrund der erforderlichen Fugenabdichtungen wartungsintensiv. Um diesen Aufwand künftig vermeiden zu können, wird im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in diesem Forschungsvorhaben eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, auf eine Unterbetonschicht eine 50–70 mm starke fugenfreie textilbewehrte Betonschicht aufzubringen. Die textile Bewehrung dient dabei primär der Rissbreitenbeschränkung und Verteilung der auftretenden Risse.

Das Forschungsprojekt, welches in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt wird, baut dabei auf ersten Erkenntnissen aus dem Projekt C3-V4.12 „Carbonbeton

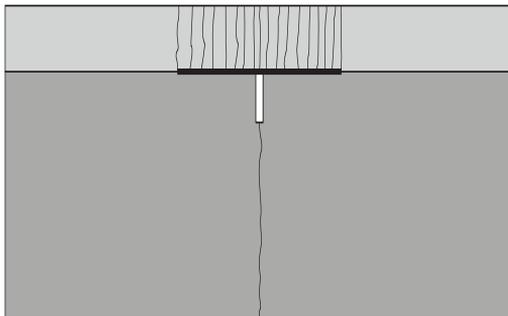
Concrete pavements are usually subdivided by longitudinal and transverse joints which have high maintenance due to the required joint seals. To avoid this expense in the future, a method should be developed, in this research project, which makes it possible to apply a 50–70 mm thick, seamless, textile-reinforced concrete layer to a sub-concrete layer. The textile reinforcement primarily limits the crack width, and it distributes the cracks in a uniform manner. This research integrates recommendations by the German Federal Highway Research Institute (BASt)

The research project, which is carried out in cooperation with the Ruhr-Universität Bochum, is based on initial findings from the C³ project “V4.12 Carbon Concrete for Seamless Repair

zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken“ auf, wobei die untersuchten Materialien erweitert werden, um ein noch feineres Rissbild erzielen zu können. Die zur ersten Einschätzung des Tragverhaltens der neuen Materialkombination durchgeführten Tastversuche werden im späteren Projektablauf um statische und zyklische Zug- und Biegezugversuche erweitert.

Der Fokus bei der Textilauswahl liegt auf der Sicherstellung der technischen Realisierbarkeit in der Praxis und damit in der Möglichkeit, das entwickelte System zur Instandsetzung von gefügten Fahrbahnplatten verwenden zu können. Die Hauptanforderung an die textile Bewehrungsstruktur ist, neben der Sicherstellung eines möglichst feinen Rissbildes, dass das Textil auf eine Rolle aufgewickelt werden kann, um bei der Instandsetzung der Fahrbahn einen möglichst hohen Grad an maschineller Fertigung zu erzielen. Um möglichst mehrere feine Risse innerhalb der carbonbewehrten Aufbetonschicht im Bereich der Fugen zu erzeugen, wird zudem eine mögliche Verbundtrennung zwischen Unterbeton und Aufbeton im Bereich der Fuge untersucht. Diese Verbundtrennung stellt sicher, dass sich die Bewegung der Fuge nicht lokal in die Aufbetonschicht überträgt, sondern über eine größere Länge über eine Vielzahl mehrerer kleiner Risse in der Instandsetzungsschicht aufgeteilt wird.

Am Institut für Massivbau erfolgt die Untersuchung der Materialkombination in Form von Dehnkörpern unter statischer und zyklischer Belastung sowie unter dem Einfluss von Temperaturen zwischen -20 und $+60^{\circ}\text{C}$.



Rissverteilung eines Risses im Altbeton auf mehrere kleinere Risse in der Instandsetzungsschicht | *Crack distribution of a crack in old concrete to several smaller cracks in the repair layer* | Graphic: Philipp Riegelmann

of Damaged Concrete Road Pavements.” The investigated materials are expanded to achieve an even finer crack pattern. The tests carried out to initially assess the load-bearing behaviour of the new material combination will be extended to include static and cyclic tensile and flexural tests in the later course of the project.

The focus of the textile selection is on ensuring technical feasibility in practice and thus on the possibility of using the developed system for repairing grouted roadway slabs. The main requirement for the textile reinforcement structure, in addition to ensuring that the crack pattern is as fine as possible, is the possibility of winding the textile onto a roll in order to achieve a high degree of mechanical production when repairing the roadway. In order to achieve the greatest possible number of cracks within the carbon-reinforced concrete in the area of the joints, a possible bond separation between bottom concrete and top concrete in the area of the joint is also investigated in the course of this project. This composite separation ensures that the movement of the joint is not transferred locally into the upper concrete layer, but is distributed over a greater length over a number of several small cracks in the repair layer.

At the Institute of Concrete Structures, the material combination is investigated under static and cyclic loading as well as under the influence of temperatures between -20 and $+60^{\circ}\text{C}$.

► **Titel | Title**

Textilbewehrter Oberbeton als Basis für eine fugenlose Oberfläche von Betonfahrbahnen (TOBFOB)

Textile reinforced concrete as a basis for a jointless surface of concrete roadways (TOBFOB)

► **Förderer | Funding**

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

► **Zeitraum | Period**

05.2019–10.2020

► **Leiter | Project manager**

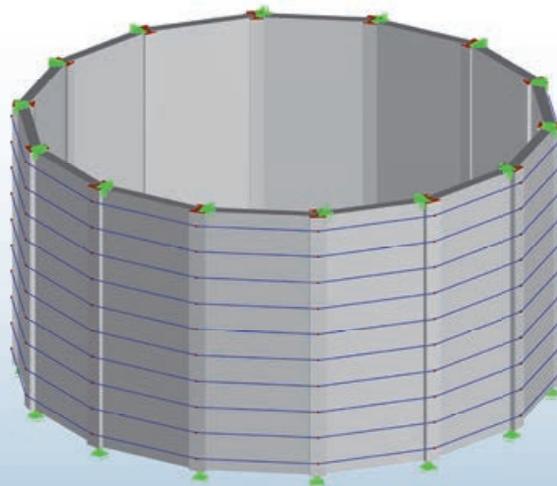
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Enrico Baumgärtel, Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann

► **Projektpartner | Project partner**

Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum



3D-Visualisierung des Behälters in Textilbeton-Segmentbauweise | 3D visualization of the container | Graphic: Clemens Geißler

TEXTONSILO – VON DER IDEE BIS ZUR UMSETZUNG

TEXTONSILO – FROM THE IDEA TO THE IMPLEMENTATION

In diesem Projekt wird die Entwicklung eines in Carbonbetonbauweise herstellbaren Großbehälters von der ersten Idee und Bemessung hin zu Bauteilprototypen vorangetrieben. Im Vergleich mit den bisherigen Technologien im Großbehälterbau stellt die geplante Elementbauweise aus Textilbeton mit externer Vorspannung und Stützständerwerk eine wesentlich flexiblere und weltweit einsetzbare Form des Behälterbaus dar, deren Umsetzung vor Ort keine Spezialfirmen erfordert. Die neuartige Elementbauweise ermöglicht zudem eine temporäre Aufstellung und Nutzung, sodass eine spätere Weiterverwendung an einem anderen Standort möglich ist und keine irreversible Demontage (Abriss) stattfinden muss.

Die geplanten Einzelelemente, die zu einem 10 m hohen Behälter mit einem Durchmesser von 20 m zusammengesetzt werden, sollen eine Länge von 4,25 m haben. Durch integrierte Hohlkörper im Einzelbauteil kann der Bedarf an Beton deutlich reduziert werden, ohne dass dadurch die statische Nutzhöhe und damit die Biegetragfähigkeit des Bauteils reduziert werden.

The development of a container that can be manufactured in carbon concrete is led from the initial idea and design to the testing of first prototypes. In comparison to the previous technologies in container construction, the planned element construction method made of textile concrete with external prestressing and support frame structure represents a more flexible and globally applicable way of container construction, which does not require any specialist companies at the construction site. The new construction method also enables temporary installation of the large containers so that they can be used later at another location.

The individual elements, which will be assembled into a 10 metre high container with a diameter of 20 metres, have a length of 4.25 metres. The need for concrete can be significantly reduced by integrating hollow bodies into the individual component without having to reduce the static height and thus the bending capacity of the component.

Zusammen mit den beteiligten Projektpartnern wird die geplante Bauteilgeometrie für Lasten aus Lagerung von Weizen optimiert und die Bewehrungsführung an die im Querschnitt auftretenden Biegezug- und Normalspannungen angepasst.

Eine aus betongetränktem Flies bestehende integrierte Schalung dient hierbei der Herstellung der im Bauteil liegenden Hohlkörper. Zur Formstabilisierung wird zudem eine textile Bewehrung in dieses Flies integriert, welche ebenfalls am Lastabtrag beteiligt ist.

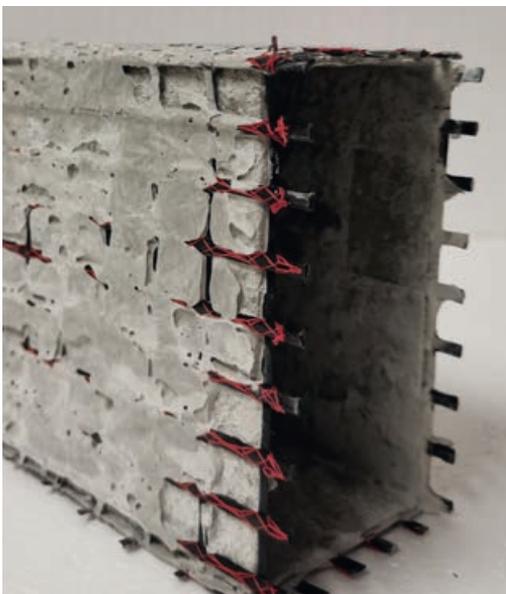
Die Herstellung der Bauteile soll in einer stehenden Schalung erfolgen. Hierfür wird eine Dosier- und Befüllstation entwickelt, die auf die Eigenschaften der eigens für die Herstellung der Bauteile entworfenen Betonrezeptur angepasst wird.

Am Institut für Massivbau erfolgt die Materialentwicklung und -prüfung von Fertigteilen aus Textilbeton für den Bau dieser Großbehälter.

Together with the project partners, the component geometry will be optimized with respect to the expected loads of a container with a height of 10 meters and a diameter of 20 meters for the storage of wheat. The reinforcement will be adapted to the tensile stresses occurring in the cross-section.

An integrated formwork consisting of a concrete-impregnated fleece is used for the production of the hollow bodies lying in the component. To stabilize the shape of those hollow bodies, a textile reinforcement is also integrated into this fleece, which is also involved in load transfer. The components will be produced in a vertical formwork having a height of 4.25 metres. For this purpose, a mixing and filling station, which is adapted to the properties of the concrete designed for the components, will be developed.

The material development and testing of precast parts made of textile concrete for the construction of these containers take place at the Institute of Concrete Structures.



Betongetränktes Flies mit Bewehrung als integrierte Schalung | Concrete impregnated fleece with reinforcement as integrated formwork | Photo: Michael Zocher

► **Titel | Title**

TP: Materialentwicklung und -prüfung von Fertigteilen aus Textilbeton für den Bau von Großbehältern im Verbundprojekt: Entwicklung der technisch-technologischen Lösung zur Dimensionierung und Herstellung von Textilbetonelementen für modular und formflexibel gestaltbare portable Großbehälter (TextonSilo)

TP: Material development and testing of prefabricated parts made of textile concrete for the construction of large containers as part of the joint research project: Development of the technical-technological solution for a dimensioning and production of textile reinforced concrete elements for modular and portable containers (TextonSilo)

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Projektträger: AIF/ZiM

► **Zeitraum | Period**

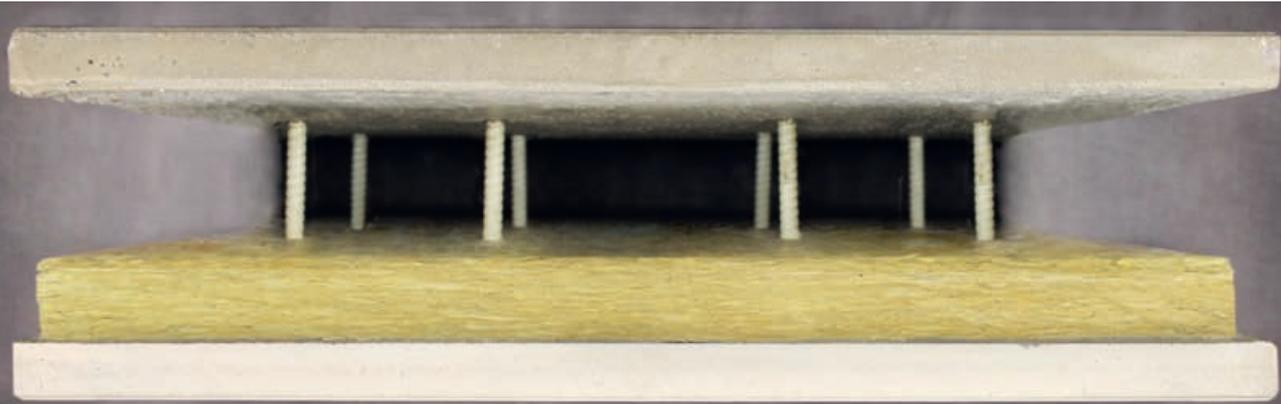
06.2019–05.2021

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann,
Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

► **Projektpartner | Project partners**

BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH, Dresden |
DASAG GmbH Verfahrenstechnik – Anlagenbau, Nordhausen |
Jäger Ingenieure GmbH, Radebeul | texton e. V., Dresden



Elementwand aus Carbonbeton | Element wall made of carbon concrete | Photo: Otto Grauer

BAUSYSTEM 2.0 FÜR CARBONBETON

BUILDING SYSTEM 2.0 FOR CARBON CONCRETE

Um die Markteinführung von Bauprodukten sowie -arten unter Verwendung des neuen Verbundwerkstoffs Carbonbeton zu erleichtern und zu beschleunigen, haben sich in diesem Projekt Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, um ihre jeweiligen speziellen Erfahrungen für eine Produktentwicklung zu bündeln.

Vor dem Hintergrund verstärkter Forderungen nach höherer Kosten-, Zeit- und Energieeffizienz neu gebauter Gebäude zielt das Vorhaben auf die Entwicklung einer lebenszyklusoptimierten, modularen Bauweise unter angepassten Planungs- sowie Ausführungsschritten ab. Bei der Bauwerksplanung sollen die Planer, Bauherren und eventuell die späteren Nutzer durch einen neu entwickelten Gebäudekonfigurator frühzeitig die Möglichkeit haben, Entscheidungen nach individuellen Nachhaltigkeitskriterien treffen zu können. Dies erfolgt durch die Integration von Preis- und Kosteninformationen sowie Energieverbrauchs- und Rohstoffdaten innerhalb des Konfigurators, welcher Planungen nach verschiedenen Nachhaltigkeitskriterien bewertet und optimiert.

Ziel der Optimierung wird dabei eine möglichst hohe Kosteneffizienz im gesamten Gebäudele-

In order to facilitate and accelerate the market entry of building products and construction methods using the new composite material carbon concrete, companies and research institutes have joined forces in this project to integrate their respective specific experience for product development.

Against the background of increased demands for higher cost, time and energy efficiency of newly constructed buildings, the project aims at the development of a life cycle-optimized, modular construction with adapted planning and execution steps. In the building planning process, a newly developed building configurator should enable planners, builders and possibly later users to make decisions based on individual sustainability criteria at an early stage.

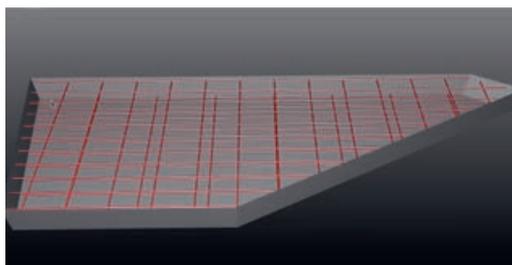
This is achieved by integrating price and cost information as well as energy consumption and raw material data within the configurator, which evaluates and optimizes planning according to various sustainability criteria.

The aim of the optimisation is to achieve the highest possible cost efficiency in the entire building life cycle while at the same time ensuring that the building is ecologically and sustainably

benszyklus bei gleichzeitig ökologischer sowie nachhaltiger Gestaltung des Gebäudes sein. Diese Anforderungen lassen sich mit verschiedenen Ansätzen erfüllen. Dazu gehören eine hocheffiziente Planung, das Bauen mit vorgefertigten Elementen und – eng damit verbunden – das modulare Bauen.

Das im Gebäudekonfigurator verankerte Planungssystem soll dabei durch die Kombination neuartiger Werkstoffe wie Carbonbeton, optimierte Bauteile und darauf abgestimmte Bauweise sowie eine weitgehend automatisierte Fertigung und eine integrierte Wertschöpfungskette, eine Gebäudeplanung nach variablen Zielkriterien ermöglichen. Realisiert werden soll dies durch eine gewerkeübergreifende cloudbasierte Planung an einem gemeinsamen 3D-Modell. Möglichkeiten von Visualisierungen durch Virtual Reality, Echtzeit-FEM-Bemessungen einzelner Bauteile sowie des Gesamttragwerks und Erstellen eines Brandschutzkonzepts sollen dabei abgestimmt auf die verschiedenen Leistungsphasen der HOAI das Bauvorhaben unterstützend begleiten.

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



Elementierung eines Deckensegments im Gebäudekonfigurator
 | Elementation of wall elements in the building configurator | Graphic:
 Jörg Weselek

designed. These requirements can be met with different approaches. These include highly efficient planning, building with prefabricated elements and – closely related to this – modular construction.

The planning system anchored in the building configurator is intended to enable building planning according to variable target criteria by combining new materials such as carbon concrete, optimized components and construction methods tailored to these, as well as largely automated production and an integrated value-added chain.

This is to be realised by means of cross-trade cloud-based planning on a common 3D model. Possibilities of visualizations through virtual reality, real-time measurements through FEM of individual components as well as the entire structure and the creation of a fire protection concept are to support the building project in accordance with the different work phases of the HOAI.

For the development of the building system 2.0 for carbon concrete, individual sub-goals are worked on in teams of project partners. The development of suitable components, as well as construction types, is the first sub-goal, which runs parallel to the programming of the configurator for planning, production and assembly - a second sub-goal. Further, the establishment of the new value chain for the building system 2.0 is the third subgoal.

► **Titel | Title**

Bausystem 2.0 für Carbonbeton – Bezahlbares Bauen durch eine digitalisierte und automatisierte Wertschöpfungskette

Building system 2.0 for carbon concrete – Affordable construction through a digitized and automated value chain

► **Förderer | Funding**

Europäische Union (Mittel des ESF) und Freistaat Sachsen

► **Zeitraum | Period**

05.2018–04.2021

► **Leiter Teilvorhaben | Subproject manager**

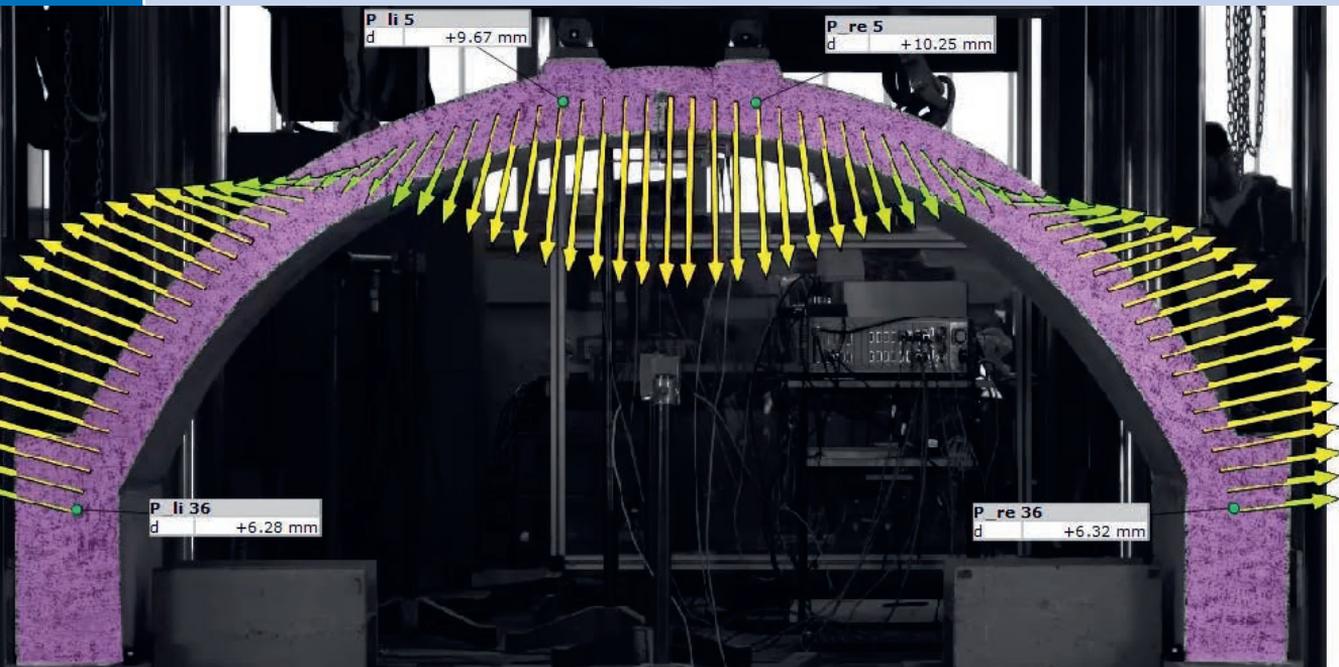
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dr.-Ing. Daniel Ehlig

► **Projektpartner | Project partners**

NU Informationssysteme GmbH, Riesa | AIB GmbH, Bautzen | BWB, Hohnstein | EnergieAutark GmbH, Vetschau | HTWK Leipzig | Institut für Bauklimatik der TU Dresden



Photogrammetrisch bestimmte Verschiebungen kurz vor dem Eintreten der Delamination | *Photogrammetrically determined displacements shortly before delamination occurs* | Photo: Thomas Häntzschel

CARBONBEWEHRTE KANALHAUBEN

CARBON REINFORCED CANAL COVERS

Fernwärme ist ein elementarer Baustein der sauberen Energieversorgung von Städten. Ob Heizkörper in privaten Wohnungen oder Industriebauten – viele sind für den täglichen Bedarf auf die Bereitstellung von heißem Wasser angewiesen. Das Funktionsprinzip dahinter ist denkbar einfach: Wasser wird in lokalen Kraftwerken erhitzt und durch große Rohrleitungen zu Endverbrauchern bzw. in Gewerbegebiete transportiert. Dort fließt es durch Heizkörper und erwärmt so die lokale Umgebung. Das abgekühlte Wasser wird anschließend zurück in das Kraftwerk geleitet, wo es erneut erhitzt wird. Dieser geschlossene Kreislauf ist auf eine verlässliche Infrastruktur angewiesen.

Für den Transport über Rohrleitungen kommen verschiedene Systeme zur Anwendung: oberirdisch sichtbare Leitungen, vollisolierte erdverlegte Leitungen sowie unterirdisch kanalverlegte Rohrleitungen. Alle Varianten sind mit umfangreichen Tiefbauarbeiten für Aushub oder Gründung verbunden. Die Aus-

District heating is a basic component of the clean energy supply of cities. Whether radiators in private homes or industrial buildings are used many depend on the delivery of hot water for their daily needs. There is a simple mechanism behind it: water is heated in local power stations and transported under pressure through large pipelines to end consumers or industrial estates. There, it flows through radiators and, thus it heats the local environment. The cooled water is then returned to the power plant, where it is heated again. This cycle depends on a reliable infrastructure.

Various systems are used for transport via pipelines: above-ground visible pipelines, fully insulated underground pipelines and underground canal pipelines. All variants involve extensive civil engineering work for excavation or foundation. The underground canal alternative offers the advantage that the infrastructure is not visible from the outside and can still be inspected with a robot.

führung in Kanalbauweise bietet den Vorteil, dass die Rohrleitungen äußerlich nicht sichtbar und gleichzeitig zugänglich sind. Mit einem Kanalroboter können regelmäßige Wartungen durchgeführt werden.

Für die Abdeckung werden aktuell kastenförmige Stahlbeton-Kanalhauben verwendet. Durch den dauerhaften Kontakt mit Erdreich sind diese starken Umwelteinflüssen ausgesetzt. Neben oberirdischen Nutzungsänderungen stellt vor allem die Korrosion der Stahlbewehrung ein Hauptproblem dar. Im Havariefall entstehen sehr hohe Sanierungskosten für den Eigentümer.

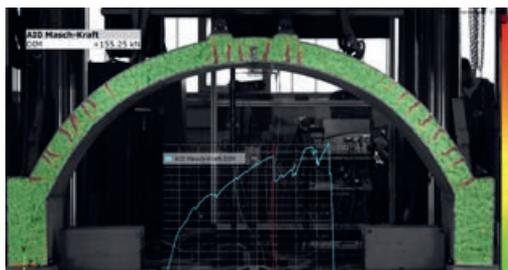
Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde untersucht, inwieweit der Einsatz von Carbonbeton die bisherigen Probleme der Stahlbetonvariante lösen kann. Ziel der Untersuchung war es, eine wirtschaftliche Lösung zu schaffen, die nach dem aktuellen Stand der Technik ausführbar ist.

Im Ergebnis konnte bei gleichem Bauteilwiderstand eine form- und materialoptimierte Carbonbeton-Kanalhaube modelliert und erfolgreich getestet werden. Bezogen auf einen Meter Bauteil konnte das Gesamtgewicht von 3,98 t auf 1,85 t reduziert werden. Die Stahlbewehrung von 214 kg wurde durch 8 kg Carbon ersetzt. Durch den Einsatz von Carbon konnte das Problem der Korrosion eliminiert werden. Diese Eigenschaft erhöht letztendlich die Lebensdauer der Bauwerke und trägt damit zur Versorgungs- und Kostensicherheit bei.

Currently, box-shaped steel-reinforced concrete canal hoods are used for the covering. Due to the permanent contact with soil, these are exposed to strong environmental effects. In addition to above-ground changes in use, corrosion of the steel reinforcement is a major problem. In case of damage, very high costs arise for the owner.

The feasibility study investigated how the use of carbon concrete can solve the problems of the steel-reinforced concrete variant. The aim of the investigation was to create an economical solution that can be implemented according to the current state-of-the-art.

As a result, a shape and material-optimized carbon concrete canal hood with the same component resistance was modelled and successfully tested. In relation to one meter of component, the total weight was reduced from 3.98 t to 1.85 t. The steel reinforcement of 214 kg was replaced by 8 kg carbon. By using carbon reinforcement, the problem of corrosion could be eliminated. This property ultimately increases the service life of the structures and thus contributes to supply and cost security.



Abgeschlossene Rissbildung kurz vor dem Versagen | Completed crack formations shortly before failure | Photo: Thomas Häntzschel

► **Titel | Title**

Machbarkeitsstudie zum Einsatz von Carbonbeton bei Infrastrukturbauwerken

Feasibility study for the use of carbon concrete in infrastructure

► **Förderer | Funding**

Sächsische Aufbaubank (SAB)

► **Zeitraum | Period**

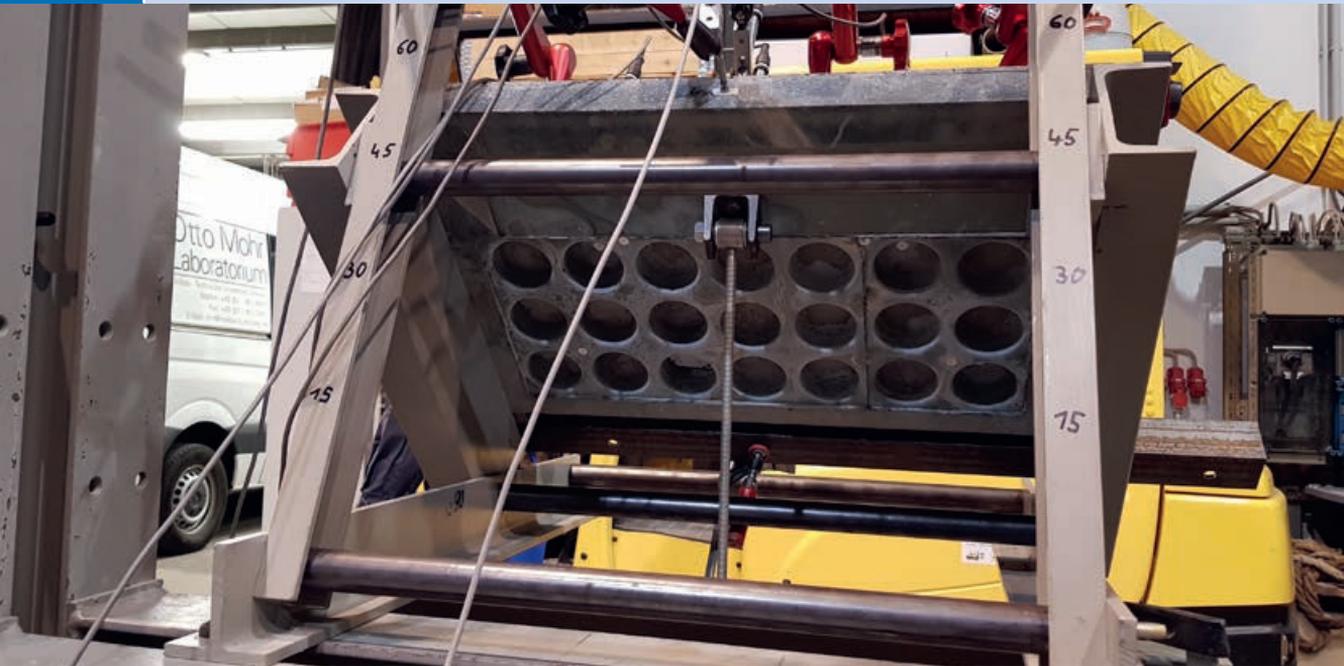
10.2018–06.2019

► **Leiter | Project manager**

Dr.-Ing. Frank Schladitz

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Marc Koschemann



Schrägzugversuch zur Untersuchung von Verbindungselementen für funktionalisierte Bauelemente | *Inclined tensile test for the investigation of connecting elements for functionalised elements* | Photo: Dominik Schlüter

ENERGIEGELADENE FERTIGTEILE BUILDING INTEGRATED ENERGY STORAGE

Der Einsatz von erneuerbaren Energien schon die Umwelt. Um die Adaptionsrate erneuerbarer Energietechnologien zu steigern, müssen für die Nutzer wirtschaftliche Vorteile geschaffen werden und der Planungs- sowie Investitionsaufwand verringert werden. Ein Ansatz, der dies ermöglichen soll, ist die Integration erneuerbarer Energietechnologien in den Prozess der Fertigteilherstellung.

Ein wichtiger Teil des Energiesystems sind dabei elektrische Speicher. Innerhalb dieses Forschungsprojektes werden Ansätze entwickelt, um energiespeichernde Materialien in Bauprodukte zu integrieren.

Das Institut für Massivbau beschäftigt sich vorwiegend mit der Entwicklung einer geeigneten Bauteilkonstruktion. Die besondere Herausforderung: Die Energiespeicher müssen derart in das Bauteil integriert werden, dass sie i) die Tragfähigkeit des Bauteils möglichst wenig beeinflussen, ii)

The use of renewable energies protects the environment. In order to increase the adaptation rate of renewable energy technologies, planning and investment costs must be reduced. One approach to achieve this objective is the integration of renewable energy technologies – and especially electrical storage devices – into the process of precast concrete production.

The Institute of Concrete Structures is mainly concerned with the development of a suitable design of the carrying structure. The particular challenge: The energy storage devices must be integrated into the structure in such a way that they i) have as little influence as possible on the load-bearing capacity, ii) can be manufactured in an economically viable way, and iii) their long-term operational reliability can be guaranteed.

To this end, three variants were initially designed and investigated. Variant 1 provides for the direct use of the textile reinforcement as an electrode; electrolyte pockets are integrated into the textile for this purpose. This variant has

ökonomisch sinnvoll gefertigt werden können und iii) deren Funktionsfähigkeit nicht beeinflusst wird.

Dafür wurden zunächst drei Varianten konzipiert und untersucht. Variante 1 sieht die unmittelbare Nutzung der textilen Bewehrung als Elektrode vor; Elektrolyttaschen werden dafür in das Textil integriert. Diese Variante besitzt eine geringe Speicherkapazität und reduziert die Tragfähigkeit des Bauteils maßgeblich.

Variante 2 sieht die Integration von Speicherelementen zwischen zwei Textillagen vor. Die Speicherelemente befinden sich in gering belasteten Zonen, wodurch die Tragfähigkeit des Bauteils nur geringfügig beeinflusst wird. Die Speicherkapazität wird im Vergleich zu Variante 1 erhöht. Variante 3 nutzt zur Integration eine Aufnahmestruktur, in welche Speichermodule eingefügt werden. Die Speichermodule sind dabei frei zugänglich und können im Bedarfsfall ausgetauscht werden.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden das Design des Bauteils, die Leitungsführung sowie die Speichermodule und deren Regelung weiter optimiert. Darüber hinaus werden momentan geeignete Fertigungskonzepte entwickelt und die Skalierbarkeit derartiger bauteilintegrierter Stromspeicher untersucht. In Zukunft könnten Bauteile dieser Art beispielsweise als Fassadenplatten an bestehende Gebäude oder Neubauten angebracht werden, um so eine Stromversorgung der Bewohner aus erneuerbaren Energien zu ermöglichen.



Bauteil mit Hohlräumen zur Funktionsintegration im Versuchsstand | Building element with cavities for function integration in a test facility | Photo: Dominik Schlüter

low storage capacity and significantly reduces the load-bearing capacity of the component. Variant 2 provides for the integration of storage elements between two textile layers. The storage elements are located in zones with low load-bearing capacity, which only slightly affects the load-bearing capacity of the component. The storage capacity is massively increased compared to variant 1. Variant 3 uses a support structure for integration, into which electrical modules are inserted. The modules are freely accessible and can be replaced if necessary.

In the further course of the project, the design of the structure and the cable routing will be further optimized. In addition, suitable manufacturing concepts are currently being developed and the scalability of such component-integrated storage devices is being investigated.

In the future, components of this type could be attached to existing buildings or new buildings in order to enable residents to be supplied with electricity from previously stored renewable energies.

► **Titel | Title**

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

TP C3-V4.6-II: Design concept of a functionally integrated structural element as part of the joint research project C3-V4.6: Energy storing carbon concrete

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Projektträger: FZ Jülich GmbH / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

04.2018–03.2020

► **Leiter Teilprojekt | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

► **Projektpartner | Project partners**

Technische Chemie 1, TU Darmstadt | Betonwerk Oschatz GmbH, Oschatz | Wilhelm Kneitz Solutions in Textile GmbH, Hof



Visualisierung der Ausstellungsbrücke aus Carbonbeton | Visualization of the carbon concrete exhibition bridge | Rendering: Iurii Vakaliuk

LEICHT, LEICHTER, CARBONBETON! LIGHT, LIGHTER, CARBON CONCRETE!

Museen gelten in der Regel als Orte des Vergangenen und bieten den Besuchern einen geschichtlichen Rückblick. Das Deutsche Museum München traut sich den Blick nach vorn und bietet zukunftsfähigen Innovationen mehr Raum. Im Zuge der Neuordnung des Bereiches Brücken- und Wasserbau wird es bald auch eine Ausstellungsbrücke aus Carbonbeton zu betrachten geben.

Diese Brücke ist als filigrane Konstruktion aus zwei flach geneigten Stielen und einem dreigeteilten Überbau mit einer Länge von 9,50 m geplant und zeigt die gestalterischen und konstruktiven Möglichkeiten des leichten Bauens mit Beton und Carbonbeton auf. Das Konstruktionsgewicht beträgt dabei lediglich 2,0 t bei einer Breite von 1,20 m. Die beiden V-förmigen Stiele besitzen eine Länge von ca. 3,0 m und werden mit einer Dicke von 50 mm in Carbonbeton ausgeführt. Um die Stabilität gegen ein mögliches Knicken zu erhöhen, wurden ein Kreissegmentquerschnitt und eine leichte Überhöhung in Längsrichtung gewählt.

Der Überbau besteht aus einem 3,6 m langen mittleren Segment und zwei spiegelgleichen Randfeldern. Der dreischichtige Aufbau variiert in der Dicke zwischen 60 und 180 mm. Die

Museums are generally regarded as places of the past and offer visitors a historical retrospective. The Deutsches Museum Munich dares to look ahead and offers more space for future-oriented innovations. As part of the reorganisation of the bridge and hydraulic engineering section, a bridge made of carbon concrete will soon be on display.

This bridge is planned as a filigree construction of two slim and inclined columns with a three-section superstructure. Having a total length of 9.50 m, the structure demonstrates the design and fabrication possibilities of lightweight constructions using layered high-performance concrete and carbon reinforcement. The construction weight is only 2.0 t and has a width of 1.20 m. The two v-shaped columns have a length of approx. 3.0 m and are made of carbon concrete with a thickness of 50 mm. In order to increase the stability against possible buckling, a segment with a circular cross-section and a slight elevation in the longitudinal direction were chosen. The superstructure consists of a 3.60 m middle segment and two mirrored edge fields. The construction is made in three layers and varies in height between 60 mm and 180 mm. The biaxial curved underside is produced with a

zweiachsig gekrümmte Unterseite wird mit einer Carbonbetonschicht von 20 mm hergestellt. Die mittlere Schicht besteht aus Infralichtbeton mit einer Dichte von weniger als 1000 kg/m^3 . Eine ebene obere Schicht Carbonbeton komplettiert den Sandwichtaufbau.

Zur Geometriefindung und Optimierung des Tragverhaltens wurde ein parametrisiertes 3D-Modell der Brücke, mithilfe von Rhino und Grasshopper, erstellt. Die Parametrisierung ermöglichte eine umfassende Variantenuntersuchung, angefangen vom Stützweitenverhältnis bis hin zu Detailpunkten, wie dem Verbindungspunkt zwischen Stiel, Mittelfeld und Randfeld. Durch Programmierung einer Schnittstelle zu RFEM wurden alle erforderlichen statischen Berechnungen am gleichen Modell durchgeführt. Mithilfe dieses Ansatzes können Auswirkungen infolge einer Geometrieänderung auf den Lastabtrag quasi-simultan bestimmt werden.

Die Geometriedaten des finalen 3D-Modells waren die Grundlage für die anschließende Planung und Fertigung der Schalungen. Diese wurden aus massiven Sperrholzplatten gefräst und anschließend versiegelt. Erste Brückensegmente wurden bereits erfolgreich hergestellt. Für das Jahr 2020 sind Technologietests, Laborversuche und die Montage der Carbonbetonbrücke im Deutschen Museum München vorgesehen.

carbon concrete layer of 20 mm. The middle layer consists of infra-light concrete with a density of less than 1000 kg/m^3 . A further layer of carbon concrete completes the sandwich structure and provides a flat top surface.

A parameterized 3D model of the bridge was created using the Rhino and Grasshopper software to determine the geometry and optimize the load-bearing behaviour. The parameterization enabled a comprehensive variant investigation, starting with the span ratio and ending with detail points such as the connection point between the stem, the midspan and the edge field. By programming an interface to RFEM, all required static calculations were carried out on the same Grasshopper model. By means of this approach, effects resulting from a geometry change on the load transfer could be determined quasi-simultaneously.

The geometry data of the final 3D model formed the basis for the subsequent design and production of the formwork. These were milled from solid plywood panels and then sealed. The first bridge segments have already been successfully manufactured. Technology tests, laboratory experiments and the assembly of the carbon concrete bridge in the Deutsches Museum in Munich are planned for 2020.



Zweiachsig gekrümmte Carbonbetonschale für die Unterseite der Randfelder | *Biaxial curved carbon concrete shell for the underside of the edge fields* | Photo: Marc Koschemann

► **Titel | Title**

Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile

Cross sectional adaption for rod-shaped elements in compression

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1542

► **Zeitraum | Period**

10.2011–10.2014 (Phase 1)

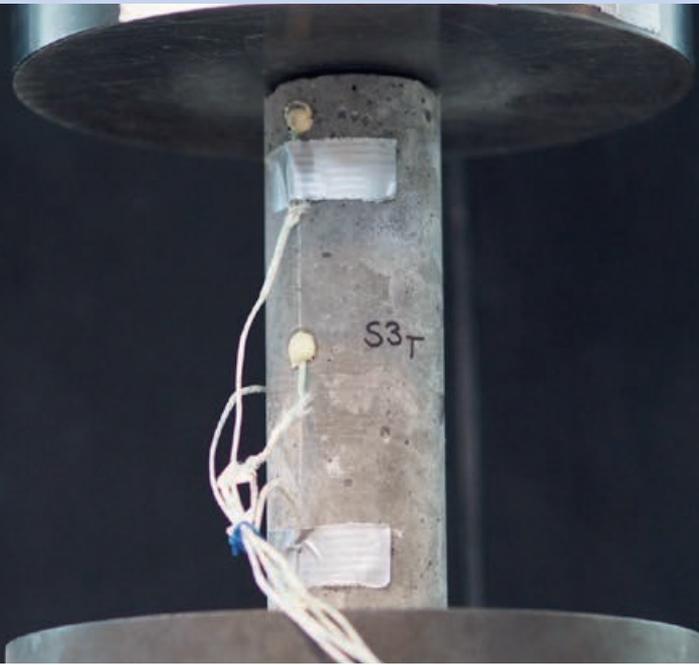
11.2014–06.2020 (Phase 2)

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Marc Koschemann, Iurii Vakaliuk M.Sc.



UHPC-Zylinder 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

UHPC – ERWÄRMUNG DURCH ERMÜDUNG

UHPC – HEATING THROUGH FATIGUE

Die steigenden Anforderungen an Bauwerke erfordern leistungsfähige Materialien, die immer schlankere und trageffizientere Konstruktionen zulassen. Dies führte im Massivbau zur Entwicklung von ultrahochfesten Betonen (UHPC). Im Einsatz als Maschinen- und Windkraftanlagenfundamente erfährt der Beton vor allem immer wiederkehrende, große veränderliche Beanspruchungen. Die Planung erfordert dafür ausreichende Kenntnisse zum Ermüdungsverhalten. Den noch bestehenden Wissenslücken auf diesem Themengebiet widmet sich das Schwerpunktprogramm SPP 2020.

In bisherigen Ermüdungsuntersuchungen an Hochleistungsbetonen wurde eine Erwärmung, verursacht durch die zyklische Belastung, festgestellt. Im Projekt „Lastinduzierte Temperaturfelder bei UHPC“ erfolgt eine systematische Untersuchung dieses Phänomens. Dabei ist das Ziel, die Ursachen und Auswirkungen der Erwärmung zu identifizieren und zu quantifizieren. Begleitend zu den experimentellen Untersuchungen in Dresden wird an der TU Darmstadt ein Material-

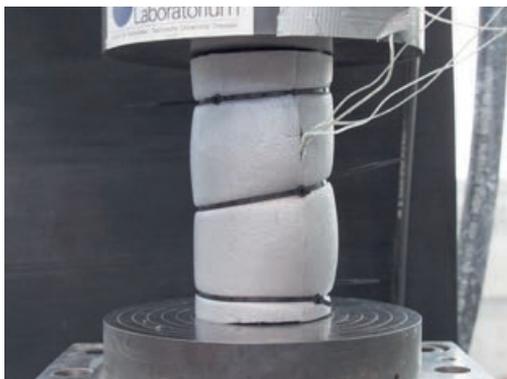
The increasing requirements for structures need high-performance materials that allow ever slimmer and more efficient structures. This has led to the development of ultra-high performance concretes (UHPC) in construction. When used as machinery and wind turbine foundations, the concrete is subjected to frequently recurring, large loads. For this purpose, planning requires sufficient knowledge of fatigue behaviour. The existing knowledge gaps in this subject area are addressed by the Priority Programme SPP 2020.

In previous fatigue investigations on high-performance concretes, heating caused by cyclic loading was detected. In the project “Load induced temperature fields at UHPC” a systematic investigation of this phenomenon is carried out. The aim is to identify and quantify the causes and effects of heating. Accompanying the experimental investigations in Dresden, a material model is being developed at the TU Darmstadt which describes the damage behaviour of UHPC under cyclic loading.

modell entwickelt, das das Schädigungsverhalten von UHPC unter zyklischer Last beschreibt.

Im Zuge der zyklischen Hauptversuche wurden bisher die Parameter Frequenz, Oberspannung und Größtkorn untersucht. Für die genannten Parameter konnte ein signifikanter Einfluss auf die Erwärmung des UHPC festgestellt werden. Bei allen durchgeführten Versuchen wurde eine Erwärmung gemessen. Die erreichten maximalen Temperaturen sowie die Verläufe waren allerdings sehr unterschiedlich. Die Lastfrequenz hat vor allem einen Einfluss auf den Maximalwert der erreichten Temperatur. Steigt die Belastungsgeschwindigkeit, werden höhere Temperaturen erreicht. Die Parameter Oberspannung und Größtkorn beeinflussen vor allem die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs. Bei steigender Oberspannung verlaufen die Temperaturkurven steiler. Gleichzeitig bedingt die Erhöhung der Oberspannung aber auch ein früheres Ermüdungsversagen, weswegen die maximale Temperatur nicht zwangsweise bei maximaler Oberspannung erreicht wird. Bei der Verwendung unterschiedlicher Korngrößen als Zuschlag wurde festgestellt, dass ähnliche Maximaltemperaturen erreicht werden, allerdings feinere Zuschläge zu einem schnelleren Anstieg der Temperatur führen. Somit hat die Korngröße über die Erwärmungsgeschwindigkeit ebenfalls einen Einfluss auf die erreichbaren Lastwechselzahlen.

Zusammen mit den weiterhin geplanten Experimenten zur Probekörpergröße und Materialfestigkeit kann das Phänomen Erwärmung umfassend beschrieben werden.



Gedämmter Prüfcylinder mit reduzierter Temperaturgradienten | Specimen during the test with insulation to prevent temperature release | Photo: Melchior Deutscher

In the course of the main cyclic tests, the parameters frequency, maximum stress level and grain size have been investigated. A significant effect on the heating of the UHPC could be determined for all mentioned parameters. Heating was measured in all tests carried out. However, the maximum temperatures reached and the heating rate were very different. The load frequency mainly has an influence on the maximum value of the achieved temperature. If the load frequency increases, higher temperatures are reached. The parameters maximum stress level and maximum grain size mainly influence the speed of the temperature rise. The temperature curves become steeper with increasing maximum stress level. At the same time, however, the increase in maximum stress level also causes earlier fatigue failure, which is why the maximum temperature is not necessarily reached at maximum stress level. When using different grain sizes as aggregates, it was found that similar maximum temperatures are reached, but finer aggregates lead to a faster temperature increase. Thus the grain size also has an influence on the achievable number of load cycles due to the heating ratio.

Along with the further planned experiments on specimen size and material strength, the heating phenomenon can be described comprehensively.

► **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**

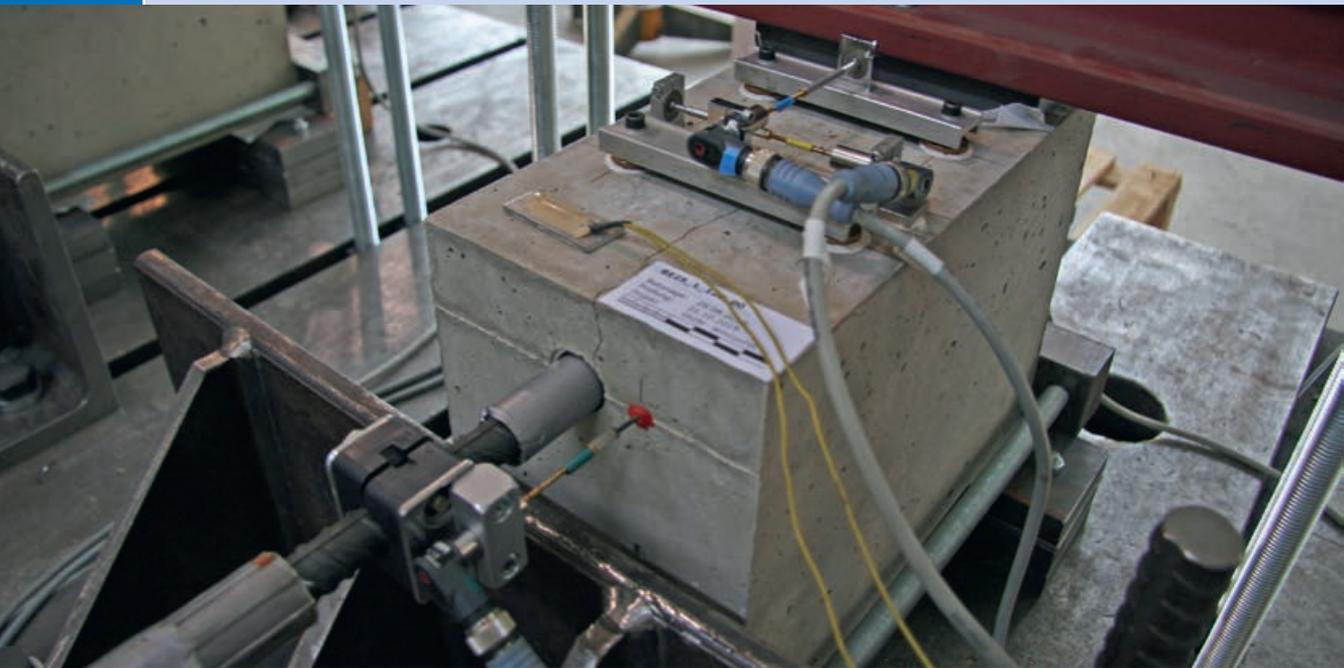
Dr.-Ing. Silke Scheerer

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Melchior Deutscher

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Massivbau, TU Darmstadt



Balkenendversuch mit Spaltriss | Beam-end test with splitting crack | Photo: Marc Koschemann

SCHWINGEN FÜR DIE EWIGKEIT OSCILLATE FOR ETERNITY

Das Verbundforschungsvorhaben WinConFat hat zum Ziel, die Materialermüdung von Windenergieanlagen aus Stahl- und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung zu erforschen. Denn mit der verstärkten Nutzung der Windenergie geht der Wunsch nach größeren, effizienteren und langlebigen Anlagen einher.

Neben Untersuchungen von Beton und Bewehrungsstahl durch Verbundpartner beschäftigt sich das Institut für Massivbau mit dem grundsätzlichen Verbundverhalten beider Baustoffe im hochzyklischen Ermüdungsbereich ($N > 2 \cdot 10^6$).

Bisher wurden 34 quasi-statische und 29 zyklische Auszieh- und Balkenendversuche durchgeführt. Dabei wurden zwei hochfeste Betone sowie Bewehrungsstahl mit 16 mm verwendet, wobei die Verbundlänge das Zweifache des Stabdurchmessers d_s beträgt. Im Vergleich der beiden Probekörpertypen zeigt sich, dass für den Beton C120 bei den quasistatischen Ausziehversuchen im Mittel ca. 15 % größere

The joint research project WinConFat aims at investigating the material fatigue of wind turbines made of reinforced and prestressed concrete under high cyclical loads. The increased use of wind energy is accompanied by the desire for larger, more efficient and durable plants.

In addition to investigations of concrete and reinforcing steel by a group of partners, the Institute of Concrete Structures is also concerned with the fundamental bond behaviour of both construction materials in the high cycle fatigue range ($N > 2 \cdot 10^6$).

So far, 34 quasi-static and 29 cyclic pull-out and beam end tests have been carried out. Two high-strength concretes as well as reinforcing steel with a bar diameter of 16 mm were used, whereby the bond length is twice the bar diameter d_s .

A comparison of the two types of test specimen shows that for C120 concrete, the quasi-static pull-out tests achieve on average approx. 15% higher pull-out forces than the beam end tests.

Auszugskräfte erreicht werden als bei den Balkenendversuchen. Grund dafür ist die stärkere Umschnürungswirkung des umliegenden Betons infolge der großen Betondeckung beim Auszugsversuch.

Bei den zyklischen Versuchen werden die Proben mit einer gleichmäßigen sinusförmigen Zugschwellbelastung von 5 Hz beansprucht. Das Unterlastniveau beträgt 40 % der statischen Verbundfestigkeit und die Oberlastniveaus werden versuchsweise zwischen 75 und 80 % variiert. Die bisherigen Versuchsergebnisse zeigen, dass die Oberlast einen wesentlichen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit des Verbundes hat. Bei Versuchen mit einem Oberlastniveau bis zu 77 % konnten in der Regel Lastwechselzahlen von mehr als 2 Millionen und bis zu 20 Millionen ohne Versagen erreicht werden. Bei höheren Oberlastniveaus trat das Versagen zumeist bei 10.000 bis 200.000 Lastwechseln ein. Der nicht-lineare Verformungszuwachs im Versagensfall wird durch Schlupf-Lastwechsel-Beziehungen erfasst. Neben der Dokumentation der Schädigungsfortschritte mittels Schlupfmessung wird die Rissentwicklung an der Betonoberfläche messtechnisch erfasst. Im weiteren Projektverlauf sind Untersuchungen eines Normalbetons C40 und zyklische Versuche mit Belastungsfrequenzen von 10 und 20 Hz vorgesehen.

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt sollen eine zutreffende Bestimmung der Lebensdauer, hinsichtlich der Verbundermüdung im hochzyklischen Bereich, ermöglichen.



Verbundzone nach Versagen | Bond zone after failure | Photo: Marc Koschemann

The reason for this is the better confinement of the surrounding concrete due to the large concrete cover of the pull-out test.

In the cyclic tests, the specimens are loaded with a uniform sinusoidal tensile loading of 5 Hz. The underload level is 40% of the static bond strength and the upper load levels are varied between 75 and 80%. The previous test results show that the upper load has a significant influence on the fatigue strength of the bond. In tests with an upper load level of up to 77%, load cycle numbers of more than 2 million and up to 20 million without failure were usually achieved. At higher upper load levels, failure usually occurred at 10,000 to 200,000 load cycles. The non-linear increase in deformation in the event of failure is determined by slip to load cycle relations. In addition to the documentation of the progress of deterioration by slip measurement, the crack propagation on the concrete surface is also recorded by means of inductive displacement transducers. In the further course of the project investigations of a normal concrete C40 and cyclic tests with load frequencies of 10 and 20 Hz are planned.

The findings from this project should enable an accurate determination of the service life with regard to bond fatigue in the high cyclical range.

► **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 as part of the joint research project WinConFat: Material fatigue of on- and offshore wind powered plants out of reinforced concrete and prestressed concrete under high cyclic loading

► **Förderer | Funding**

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

► **Zeitraum | Period**

11.2016–10.2020

► **Leiter Teilprojekt | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Marc Koschemann

► **Projektpartner | Project partners**

6 Forschungseinrichtungen und 3 assoziierte Partner



Probekörper mit faseroptischem Sensor in der Triaxialprüfmaschine | Test specimen with fiber optic sensor in triaxial testing machine | Photomontage: Stefan Gröschel

VOM WÜRFEL ZUM QUADER FROM CUBE TO CUBOID

Unter steigender Belastung erfährt Beton zunehmend Schädigungen und weist plastische Verformungen auf. Diese orientieren sich entsprechend der aufgebrachten Last. So bilden sich Risse z. B. senkrecht zu Zugspannungen oder parallel zu Druckspannungen. Dadurch verhält sich Beton nach einer gewissen Vorbelastung nicht mehr isotrop, sondern weist in den verschiedenen Richtungen unterschiedliche Steifigkeiten, plastische Verformungen und auch Festigkeiten auf.

Ein von Prof. Petryna (TU Berlin) aufgestelltes verzerrungs- und energiebasiertes Werkstoffgesetz ist in der Lage, diese lastinduzierte Anisotropie zu beschreiben. Die zur Validierung erforderlichen Kennwerte für einen hochfesten Beton werden am IMB in einer Triaxialprüfmaschine ermittelt. Die Dehnungsmessung erfolgt dabei mittels faseroptischer Sensoren, welche auf einem Trägerprofil aus Messing-U-Profilen im Beton positioniert werden.

In ein-, zwei- und dreiaxialen Druckversuchen werden die maßgebenden Dehnungszustände für verschiedene Spannungsverhältnisse untersucht: Stauchung in einer Richtung, Ausdehnung in zwei Richtungen (Druckmeridian),

As the load increases, the damage in concrete also increases, and it shows plastic deformations, which are oriented according to the applied load. For example, cracks form perpendicular to tensile stresses or parallel to compressive stresses. As a result, concrete no longer behaves isotropically after a certain load, but it shows different values of stiffness, plastic deformation and strength in the various directions.

A strain- and energy-based material law formulated by Prof. Petryna (TU Berlin) is able to describe this load-induced anisotropy. The parameters required for validation of a high-strength concrete are determined at the Institute of Concrete Structures in a triaxial testing machine. The strain measurement is carried out using fibre-optic sensors which are positioned in the concrete on a support frame made of brass U-profiles.

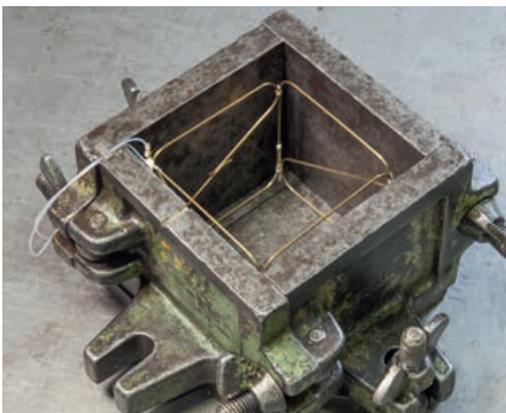
In uni-, bi- and triaxial compression tests, the relevant strain conditions for different stress ratios are investigated: compression in one direction, elongation in two directions (compressive meridian), compression in two directions, elongation in one direction (tensile

Stauchung in zwei Richtungen, Ausdehnung in einer Richtung (Zugmeridian) und Stauchung bzw. Dehnung in je eine Richtung sowie vernachlässigbare Stauchung in der dritten Richtung (Schubmeridian). Die Belastung erfolgte proportional in allen Belastungsrichtungen und stufenweise auf Lastniveaus zwischen 30 % und 95 % der Festigkeit. Nach jeder Stufe wurde entlastet, was wiederum proportional oder getrennt nach deviatorischen (Summe der Kräfte konstant) und hydrostatischen (alle Kräfte gleich groß) Lastanteilen erfolgte. Die bleibenden Dehnungen waren gegenüber den elastischen Dehnungen vor allem in den gedehnten Richtungen überproportional groß. So wurden plastische Dehnungen von z. T. über 5 % gemessen, so dass auch augenscheinlich aus dem ursprünglichen Würfel ein Quader geworden ist.

Ferner wurde der Probekörper zwischen den Belastungsstufen drei einaxialen Druckversuchen mit einer geringen Last unterzogen, um die verbleibende Be- und Entlastungssteifigkeit in allen Richtungen zu bestimmen. In den ursprünglich gestauchten Richtungen blieb die Steifigkeit über nahezu alle Laststufen annähernd konstant, während sie in den anfangs gedehnten Richtungen teilweise auf ein Viertel der Anfangssteifigkeit abfiel. Damit ist es gelungen, die lastinduzierte Anisotropie versuchs-technisch umfassend zu quantifizieren.

meridian) and compression or elongation in one direction each, and negligible compression in the third direction (shear meridian). The load was applied proportionally in all load directions and stepwise at load levels between 30% and 95% of the strength. After each level, the load was removed which again was done proportionally or separately according to deviatoric (sum of stresses constant) and hydrostatic (all stresses equal) stress components. The remaining strains were disproportionately large compared to the elastic strains, especially in the elongated directions. In some cases, plastic strains of more than 5% were measured, showing that the original cube had apparently become a cuboid.

In addition, the test specimen was subjected to three uniaxial compression tests with a low load between the load levels to determine the remaining loading and unloading stiffness in all directions. Along the direction of the applied compression forces, the stiffness remained almost constant over nearly all load levels, while in the direction along the elongations, it decreased in some cases to a quarter of the initial stiffness. Therefore, it was possible to quantify the load induced anisotropy experimentally.



Positionierung des faseroptischen Sensors in der Schalung mittels Trägergerüsts aus Messingprofilen | Positioning of the fibre-optic sensor in the formwork using a brass profile support frame | Photo: Stefan Gröschel

► **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**

04.2017–09.2020

► **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



Heterogenität des Betons | *Heterogeneity of concrete* | Photo: Stefan Gröschel

STÖRENFRIEDE IM BETON

TROUBLEMAKERS IN CONCRETE

Zement, Zuschlag und Wasser – aufgrund seiner Zusammensetzung ist Beton das Paradebeispiel für Heterogenität. Der Zement dient als Bindemittel für die Zuschlagsstoffe, durch die Zugabe von Wasser werden die chemischen Abbindevorgänge eingeleitet. Nach der Erhärtung liegt dann ein festes, heterogenes Stoffgemisch vor – eine Art künstlich hergestelltes Gestein aus einer Zementmatrix, den Zuschlagsstoffen sowie Luft- und Wasserporen. Die Folge ist eine auf Mesoebene stark diskontinuierliche Steifigkeitsverteilung, unter einer Belastung resultieren Spannungsspitzen an den Grenzflächen der Bestandteile. Vergleichbar ist dies mit der Kerbspannungswirkung im Maschinenbau.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, den Einfluss dieser Störstellen – insbesondere der Wasserporen – auf die Ausbreitung von Druckwellen im Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten zu untersuchen.

In heterogenen Medien kommt es bei der Ausbreitung solcher Belastungswellen aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften zu

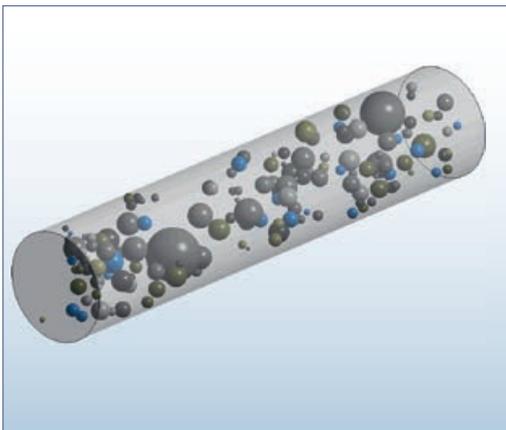
Cement, aggregates and water – due to its composition, concrete is a prime example of heterogeneity. The cement acts as a binder for the aggregates; the chemical setting processes are initiated by the addition of water. After hardening, a solid, heterogeneous mixture of substances is present – a kind of artificially produced rock consisting of a cement matrix, the aggregates as well as air and water pores. The result is a strongly discontinuous distribution of stiffness at the meso level, with stress peaks at the boundary surfaces of the constituents under loading. This is comparable to the notch stress effect in mechanical engineering.

The aim of this research project is to investigate the influence of these impurities – especially the water pores – on the propagation of pressure waves in concrete at high loading rates.

In heterogeneous media, the propagation of such load waves results in partial back reflections and partial transmission of the wave due to the different material properties. Inside

teilweisen Reflektionen und teilweisen Übertragungen der Welle. Im Inneren herrschen transiente, also zeitabhängige, Spannungszustände und kein statisches Gleichgewicht. Es wird vermutet, dass infolge der Reflektionen und Transmissionen die mittlere Spannung im Inneren des heterogenen Betons geringer ist als die von außen aufgebraachte Spannung. Aus der Heterogenität kann daraus, in Kombination mit der schnellen Belastungsgeschwindigkeit, eine höhere gemessene Festigkeit des Betons folgen – eine mögliche Ursache des sogenannten Dehnrateneffektes.

Um qualitative und quantitative Aussagen dazu treffen zu können, werden numerische Simulationen mit verschiedenen eingebrachten Modellporen und Störstellen durchgeführt. Dabei werden Parameter, wie beispielsweise das Medium, der Durchmesser oder die Anzahl der Poren in unterschiedlichen Belastungsszenarien variiert. Ergänzend dazu werden Druckversuche an definiert wassergesättigten Betonproben durchgeführt, um den globalen Einfluss von Porenwasser auf die statische und dynamische Druckfestigkeit des Betons zu bestimmen. Hier zeigt sich, dass sowohl die statische als auch die dynamische Betondruckfestigkeit betragsmäßig in gleicherweise mit steigendem Sättigungsgrad abfällt.



Numerisches Modell einer Betonprobe mit unzähligen kugelförmigen Störstellen | *Numerical model of a concrete specimen with innumerable spherical impurities* | Graphic: Oliver Mosig

the material, there are transient, time-dependent stress states and no static equilibrium. It is assumed that due to reflections and transmissions, the mean stress inside the heterogeneous concrete is lower than the stress applied from the outside. Due to the material heterogeneity in combination with the high loading rate, a higher measured strength of the concrete can result – a possible cause of the so-called strain rate effect.

In order to be able to make qualitative and quantitative statements, numerical simulations are carried out with several models in which the pores and impurities are analyzed. Parameters such as the medium, the diameter or the number of pores are varied in different load scenarios. In addition, compression tests are carried out on defined water-saturated concrete specimens to determine the global influence of pore water on the static and dynamic compressive strength of concrete. This shows that the static, as well as the dynamic compressive strength of the concrete, decreases in the same way with increasing degree of saturation.

► **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**

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

► **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



Festbetonprobekörper nach dem Spallationsversuch am Split-Hopkinson-Bar | Test-specimen after a spallation test in the split Hopkinson bar | Photo: Oliver Mosig

STAHLFASERVERSTÄRKTER BETON UNTER IMPAKT

NUMERICAL MODELING OF DYNAMIC SPALLING ON PLAIN CONCRETE AND SFRC COMPOSITE

Einer der direkten Tests zur Messung der dynamischen Zugfestigkeit von spröden Materialien wie Beton, Mörtel und Gestein bei mittlerer Dehngeschwindigkeit ist der Spallationsversuch mit dem modifizierten Split-Hopkinson-Bar (MSHPB). Der Aufbau besteht aus einem Impaktor, einem Eingangsstab und dem Probekörper. Nach dem Aufprall des Impaktors wird eine Druckwelle erzeugt, die sich durch den Eingangsstab bewegt. Wenn sie auf die Probe trifft, wird ein Teil davon in die Probe übertragen, während der Rest aufgrund der Impedanzunterschiede in den Hopkinson-Bar zurückreflektiert wird. Erreicht die transmittierte Druckwelle das freie Ende der Probe, wird sie als Zugwelle reflektiert. Wenn die Spannung der reflektierten Zugwelle gleich der dynamischen Zugfestigkeit des Betons ist, kommt es zum Bruch der Betonprobe.

Für den kompletten modifizierten Split-Hopkinson-Bar (MSHPB) wurde ein dreidimen-

One of the direct tests to measure the dynamic tensile strength of brittle materials such as concrete, mortar and rock at medium strain rate is the spalling test using the modified split Hopkinson pressure bar facility (MSHPB). The setup consists of a projectile, an incident bar and the specimen. After the impact of the projectile, a compressive stress wave is generated and travels through the incident bar. When it reaches the specimen, part of it is transmitted into the specimen, while the rest is reflected back to the Hopkinson bar due to the impedance difference. When the transmitted compressive stress wave arrives at the free end of the specimen, it is reflected as a tensile stress wave. It leads to the fracture of the concrete specimen when the stress of the reflected tensile wave is equal to the dynamic tensile strength.

A three-dimensional finite element model of the complete modified split Hopkinson pressure bar (MSHPB) was defined, including the steel striker, the aluminium incident bar, and the

sionales Finite-Elemente-Modell erstellt, einschließlich des Stahlimpaktors, des Eingangsstabs aus Aluminium und der zylindrischen Probe. Die numerischen Simulationen wurden mit der kommerziellen Software LS-DYNA durchgeführt, einem expliziten Finite-Elemente-Code, der sich zur Analyse dynamischer Probleme mit Wellenausbreitungen eignet.

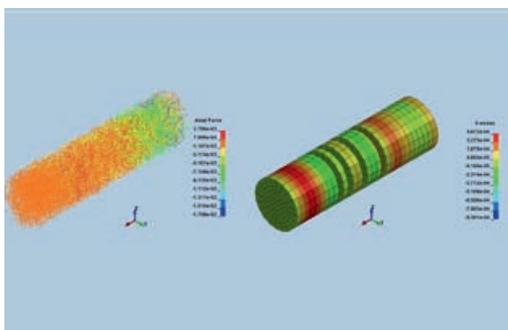
Der Einfluss von Stahlfasern auf die Verbesserung der Zugfestigkeit und des Versagensbildes wurde ebenfalls untersucht. In dieser Arbeit wurden zwei verschiedene Faserdosierungen angenommen, nämlich 0,5 und 2,5 Volumenprozent. Die Proben aus Stahlfaserbeton wurden unter Verwendung gerader und runder Stahlfasern erzeugt, die sich zufällig innerhalb der Probengeometrie verteilen. Ein Matlab-Code wurde entwickelt, um die Fasern zu generieren und in LS-DYNA zu exportieren. Die Impaktorgeschwindigkeit wurde in den drei verschiedenen Stufen 4,1, 7,6 und 11,1 m/s variiert.

Die Ergebnisse der numerischen Simulationen stimmen mit den experimentellen Daten in Bezug auf die Pull-back-Geschwindigkeit des freien Probenendes, das Schädigungsmuster sowie die dynamische Zugfestigkeit gut überein. Die Wirkung der Stahlfaserzugabe in verschiedenen Dosierungen zeigt sich auch im Schädigungsprozess und in den Versagensmodi. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Zugabe von Stahlfasern zum Normalbeton oder zur Zementmatrix einige der gewünschten technischen Eigenschaften deutlich verbessert.

cylindrical specimen. The numerical simulations were conducted using the LS-DYNA commercial software that is an explicit finite element code suitable to analyse dynamic problems with wave propagation involved.

The influence of steel fibre on the tensile strength enhancements and failure pattern was also investigated. Two different fibre ratios were assumed, namely, 0.5 and 2.5% by volume fraction. SFRC specimens were constructed using straight and round steel fibres that were distributed randomly within the specimen domain. A Matlab code was developed to generate and export the generated fibres into LS-DYNA. Three different striking velocities were applied; they are 4.1, 7.6 and 11.1 m/s.

The results obtained from the numerical simulations are in good agreement with the experimental data in terms of the pull-back velocity of the free end of the specimen and the damage patterns as well the dynamic tensile strength. The effect of steel fibre addition in different ratios can be also seen in the damage process and the failure modes. In conclusion, adding a percentage of steel fibres to the plain concrete or cement-based significantly enhances some of the desired engineering properties.



Virtueller Betonprobekörper für den numerischen Spallationsversuch | Virtual test specimen in a numerical spallation test | Graphic: Ammar Babiker

► **Titel | Title**

Modellierung von Stahlfaserbeton-Verbundwerkstoffen unter hohen Belastungsraten

Modeling steel fiber reinforced concrete composite under high loading rate

► **Förderer | Funding**

Ministry of Higher Education and Scientific Research, Sudan

► **Zeitraum | Period**

01.2018–12.2020

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Ammar Babiker M.Sc.



Balkenbewehrung in der Schalung | Reinforcement of the beams in the formwork | Photo: Lena Leicht

GROSSE WELLEN SCHLAGEN

BIG IMPACT

Ein lautes Zischen ertönte und schon glitt der Impaktor mit einer Geschwindigkeit von über 60 km/h durch das Führungsrohr des Fallturms. Am Ende des Rohres befanden sich unterschiedliche Balken aus Stahlbeton. Keiner von ihnen überlebte den Aufprall. Aber das ist in Ordnung, weil es unser Tagesgeschäft ist, Beton zu zerstören. Immerhin geht es darum, die Schädigungsmechanismen, die an den Balken auftreten, zu verstehen, um die Sicherheit von Bauwerken gegenüber Impact zu erhöhen.

In diesem Projekt wird zunächst ermittelt, wie stark und an welchen Stellen im Balken der Verbund zwischen Stahlbewehrung und Beton unter Impact beansprucht wird. Die Versuchserie enthielt Probekörper, die den Einfluss von Bügelbewehrung und Bügelabständen sowie der Länge der Verbundzone abbilden. Einige Probekörper wurden mit Aussparungen sowohl in Balkenmitte als auch an den Stellen, wo typischerweise der Durchstanzkegel aus der Unterseite ausbricht, versehen. Neben

A hissing noise accompanied the impactor sliding through a steel pipe with a velocity of over 60 km/h. Different beams made of reinforced concrete were placed at the end of the pipe. None of them survived. But that is fine because the task was to destroy the concrete. After all, we want to understand the damage mechanisms of such beams to ensure higher safety of structures.

In the project, we focus on the bond between concrete and steel. During the experimental programme the effects of stirrups spacing, as well as the effects of the reduction of the bond zone length, on the maximum steel strains were investigated. Some specimens were notched in the middle, as well as at the positions where the punching cone typically penetrates the beam's underside.

In addition to reaction forces, beam deflection and acceleration, and the strains on the longitudinal ribs of the reinforcement were measured to calculate the bond stress. Prelim-

Auflagerkräften, der Durchbiegung und der Beschleunigung des Balkens wurden die Dehnungen auf den Längsrippen der Bewehrung gemessen, um die Verbundbeanspruchung zu ermitteln. Vorangegangene statische Auszugversuche haben gezeigt, dass die einbetonierten Dehnmessstreifen den Verbund nur geringfügig beeinflussen.

Diese Vielzahl unterschiedlicher Versuche, die einerseits zusätzlich numerisch validiert werden und andererseits eine genauere Analyse der Dehnungen und Schädigungen im Balkeninneren zulassen, bildet eine gute Grundlage für die Evaluierung der Verbundbeanspruchung in realen Bauteilen.

Um den Verbund auch lokal untersuchen zu können, soll der vorhandene Split-Hopkinson-Bar verlängert werden. Dank der neuen Konfigurationen ist es möglich, sowohl Drucks als auch Zugwellen mit einer Länge von bis zu 5 m zu erzeugen. Größere Wellenlängen haben größere Verformungen der Probekörper zur Folge, was in unserem Fall bedeutet, dass der Schlupf zwischen Beton und Bewehrung größer wird. Es wird zwei Zugkonfigurationen geben: eine mit Aluminiumstäben, um Betonprobekörper unter dynamischer Zugbeanspruchung zu testen, und eine mit Stahlstäben, die die direkte Lasteinleitung in den Bewehrungsstahl ermöglicht. Mit diesen neuen Konfigurationen können neuartige Probekörper getestet werden, die die unterschiedlichen Belastungszustände, die in den Balken auftreten, abbilden. Mithilfe von Finite-Elemente-Modellen werden die neuen Probekörper optimiert und Auswertungsverfahren untersucht.



Konfigurationen des Split-Hopkinson-Bars: Zug- (oben) und Druckkonfiguration (unten) | Split Hopkinson bar configurations: tensile (top) and compressive (bottom) configuration | Graphic: Lena Leicht

inary pull-out tests proved that the embedded strain gauges do not significantly affect the bond behaviour. To get a deeper insight into the experimental set-up, different tests were modelled numerically. This allowed to exactly analyse the strains and damage within the beams, and it served as a good foundation to evaluate bond in structural members.

To be able to investigate the bond on the local level, the existing split Hopkinson pressure bar was extended. In the new configurations, it will be possible to measure compressive as well as tensile waves with a length of up to 5 m. The longer stress wave causes larger deformation of the specimen, and in this particular case, it increases the slip between concrete and reinforcement steel. Two tensile configurations will be possible, one with bars made of aluminium for testing concrete under dynamic tension, and another which enables the load introduction directly into the reinforcement bars. Thanks to these new configurations, it will be possible to develop new specimens that are designed to separately study various stress states which are found in structural beams. Finite element modelling was used to optimise these new specimens and to design the measuring concept.

► **Titel | Title**

Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten

Bond between concrete and steel under high loading rates

► **Förderer | Funding**

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

► **Zeitraum | Period**

10.2014–12.2017 (Phase 1)
05.2018–04.2022 (Phase 2)

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

M.Eng. Petr Máca Ph.D., Dipl.-Ing. Lena Leicht



Blick unter den Probekörper nach dem Experiment | View under the specimen after the experiment | Photo: Franz Bracklow

KEIN DURCHSCHLAG ERWÜNSCHT

NO PERFORATION WANTED

Im Rahmen des Graduiertenkollegs 2250/1 wurde bisher eine hochfeste Polymerfaserbetonmatrix (HS-SHCC – high-strength strain hardening cement composite) als potenzielle nachträglich auf der dem Impact abgewandten Bauteilseite angebrachte Verstärkungsschicht verwendet. Die Verstärkungswirkung des HS-SHCC wurde hierbei mit und ohne zusätzliche Armierung z. B. mit Carbontextilien untersucht. Allerdings ist aus den Untersuchungen des Instituts für Baustoffe zu erkennen, dass das verwendete Matrixmaterial der Verstärkungsschicht, also der HS-SHCC, erst bei sehr großen Verformungen sein volles Leistungspotenzial entfalten kann. Aus diesem Grund wurde das Armierungsmaterial gezielt variiert, z. B. in Form eines aus Polymerfasern bestehenden Endlosfasergeleges.

Um die neue Materialkombination für die Verstärkungsschicht zu untersuchen, wurde sie auf zwei vorbereitete Stahlbetonplatten aufgebracht. Die Vorbereitung der Platten beinhaltet das Aufrauen der zu verstärkenden Bauteilseite, um einen guten Verbund zwischen Bauteil und Verstärkungsschicht

Within the framework of the Research Training Group 2250/1 “Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety”, a high-strength polymer fibre concrete matrix (HS-SHCC – high-strength strain hardening cement composite) has been used as a feasible strengthening layer on a specimen subjected to impact loading. The layer was placed on the not impacted specimen side. The reinforcing effect of HS-SHCC was investigated with and without additional textile reinforcement. Carbon textile reinforcement was used as a reinforcement material. Previous investigations conducted by the Institute of Building Materials have shown that the matrix material used for the strengthening layer, i.e. the HS-SHCC, can only achieve its full potential when very large deformations occur. Due to this reason, the reinforcing material was specifically modified. For the current investigations, a continuous fibre fabric consisting of polymer fibres was produced and used as reinforcement for the HS-SHCC.

In order to investigate the newly developed material combination of the reinforcing layer, a two-centimetre thick layer was applied to

herzustellen, und das Vornässen der Bauteiloberfläche, um ein Austrocknen des frisch aufgetragenen Materials zu verhindern. Anschließend wurden die Probekörper unter denselben Testbedingungen in der Fallturmanlage im Otto-Mohr-Laboratorium getestet. Hierzu wurde ein zylinderförmiger Impaktor durch Druckluft beschleunigt und auf den plattenförmigen Probekörper geschossen. Diese Form der Belastung wird allgemein als Impaktbelastung bezeichnet.

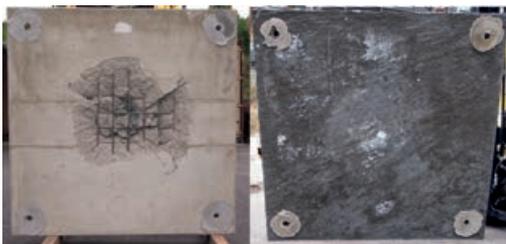
Bei den experimentellen Untersuchungen zeigte sich, dass durch die Verwendung des HS-SHCC ein Absplittern des Betons auf der verstärkten Bauteilseite vollständig verhindert werden konnte. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass sich die Verstärkungsschicht stark durch die Impaktbelastung verformte, was darauf hindeutet, dass die Leistungsfähigkeit des HS-SHCC ausgenutzt werden konnte.

Im Rahmen des Graduiertenkollegs 2250/1 sollen diese Untersuchungen in den nächsten Monaten fortgesetzt werden. Hierbei sollen nun auch unterschiedliche Varianten des Matrixmaterials untersucht werden. Hierbei gilt es, die Fragestellung zu beantworten, ob ein hochfestes oder ein normalfestes Matrixmaterial besser geeignet ist.

two reinforced concrete slabs. The surface preparation of the plates involved roughening the side of the component to be strengthened to create a good bond between the component and the strengthening layer and pre-wetting the component surface to prevent the freshly applied material from drying out. The specimens were then tested under the same conditions in the drop tower facility located at the Otto Mohr Laboratory. For this purpose, a cylindrical impactor was accelerated by compressed air and shot at the plate-shaped specimen. This form of loading is generally referred to as impact loading.

The experimental investigations showed that the use of HS-SHCC completely prevented the concrete from spalling on the reinforced component side. Furthermore, it was found that the reinforcing layer was strongly deformed by the impact load, which indicates that the load bearing capacity of the HS-SHCC could be used.

These investigations are to be continued in the coming months as part of the 2250/1 Research Training Group. Different variants of the matrix material will also be investigated. The aim here is to answer the question of whether a high-strength or a normal-strength matrix material is more suitable.



Plattenunterseite nach dem Experiment, links: Stahlbeton, rechts: Stahlbetonplatte mit HS-SHCC und Polymergelege verstärkt | Bottom of plates after the experiment, left: reinforced concrete, right: RC plate strengthened with HS-SHCC and polymer fabric | Photos: Marcus Hering

► **Titel | Title**

TP A5: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impakt auf der impaktabgewandten Seite als Teilprojekt des Graduiertenkollegs GRK 2250/1: Impaktsicherheit 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, TU Dresden



Getestete Platten auf dem Gelände des Otto-Mohr-Laboratoriums | Tested slabs next to the drop tower facility of the Otto Mohr Laboratory | Photo: Franz Bracklow

HÖCHSTGESCHWINDIGKEIT BIS 270 KM/H REACHING A MAXIMUM SPEED OF UP TO 270 KM/H

Das Verhalten von Stahlbeton unter statischen Bedingungen gilt als weitgehend gut erforscht. Im Hinblick auf dynamische Einwirkungen bestehen jedoch noch Wissenslücken, welche es zum Schutz der kritischen Infrastruktur vor natürlichen und technischen Risiken oder Terroranschlägen zu schließen gilt. Für ein besseres Verständnis des Materialverhaltens von Stahlbeton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten wurde daher das Projekt Tankaufprall initiiert. In dem aktuell bewilligten dritten Teil der ersten Phase sollen die in den vorangegangenen zwei Projektabschnitten durchgeführten Versuche ergänzt und systematisch erweitert werden.

Für die Durchführung der Impaktversuche steht dem Institut für Massivbau die Fallanlage des Otto-Mohr-Laboratoriums in der beschleunigten Konfiguration zur Verfügung. Die Experimente zum Einfluss der Plattendicke auf den Impaktwiderstand von Stahlbetonplatten sowie auch die Versuche mit variierender Biege- und Bügelbewehrung konnten bereits

The behaviour of reinforced concrete under static loading has been extensively researched. But there are still knowledge gaps regarding such behaviour under dynamic loading, which need to be closed to protect critical infrastructures from terrorist attacks and natural or technical risks. The knowledge gained within the project "Tankaufprall" has increased the understanding of the material behaviour of reinforced concrete under high loading rates. During the third part of the first period, the experiments of the former project phases will be supplemented and systematically enlarged.

The drop-tower facility located at the Otto Mohr Laboratory is available to the Institute of Concrete Structures to conduct the impact tests. The experiments that study the effect of the slab thickness, and of a variable bending and shear reinforcement ratio have already been completed. The main focus was the experimental observation of failure with various damage levels which varied from several bending cracks to a punching failure of the reinforced

abgeschlossen werden. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf der experimentellen Abbildung verschiedener Schädigungsstufen, welche vom Auftreten erster Biegerisse bis hin zum Durchstanzversagen des Stahlbetons durch eine vollständige Perforation durch den Impaktor reichen. Für die Beurteilung des Materialverhaltens und einer nachträglichen Schädigungsanalyse wurden während der Versuche an verschiedenen Punkten Durchbiegungen und Eigenfrequenzen gemessen sowie die Durchlässigkeit der geschädigten Platten unter atmosphärischem Druck nachträglich getestet. Zusätzlich erfolgte die Beurteilung des Durchstanzwinkels am Querschnitt der im Nachgang zersägten Probekörper.

Für eine mögliche Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen auf reale Bauwerksdimensionen sind Versuche zum Maßstabseinfluss projektabschließend vorgesehen. In Vorbereitung hierfür wurden bereits Probekörper mit einheitlich skalierten Plattengeometrien und Bewehrungsanordnungen hergestellt. Diese sollen anschließend unter gleichermaßen angepassten Versuchsparametern geprüft und ausgewertet werden.

concrete caused by a complete perforation of the impactor. For the evaluation of the material behaviour and subsequent damage analysis, the deflection and the resonant frequency was measured at some points of the specimen while the experiments were carried out. The permeability of the damaged plates under atmospheric pressure was subsequently tested. In addition, the evaluation of the punching angles on saw-cut slabs was carried out.

To transfer the experimental behaviour results to that of a real building, experiments to account for the size-scale effects are planned. In preparation for this, specimens with uniformly scaled slab geometries and reinforcement arrangements were prepared. These will then be tested and evaluated under equally adapted test parameters.



Durchlässigkeitsprüfung unter atmosphärischem Druck | *Permeability test under atmospheric pressure* | Photo: Franz Bracklow

► **Titel | Title**

Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Behälter (Flugzeugtanks)

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

► **Förderer | Funding**

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

► **Zeitraum | Period**

07.2012–12.2014 (Phase 1A)
08.2014–07.2016 (Phase 1B)
04.2017–06.2020 (Phase 1C)

► **Leiter | Project manager**

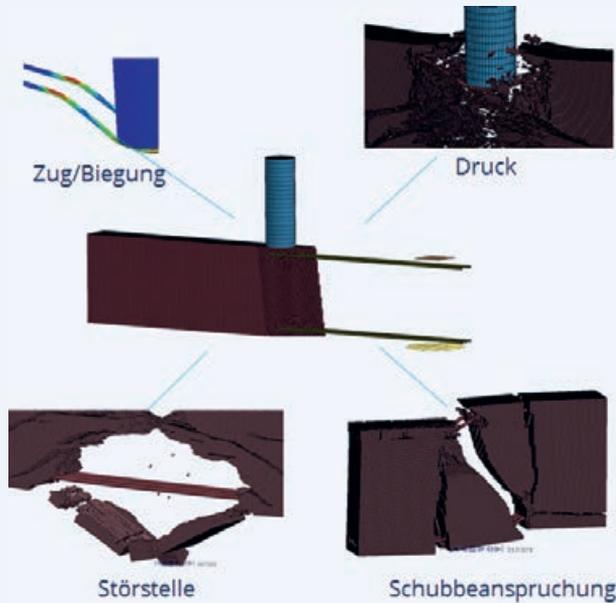
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach (Experiment)

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow

► **Projektpartner | Project partner**

BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



Problemzonen bei der Bewehrungsmodellierung unter dynamischer Beanspruchung | Problems with modelling the reinforcement at dynamic loading conditions | Graphic: Tino Kühn

IMPAKTVERSUCHE REIN VIRTUELLER STRUKTUREN

IMPACT TESTS OF PURELY VIRTUAL STRUCTURES

Aufbauend auf den bisherigen experimentellen Ergebnissen wurde ein numerisches Modell erstellt, mit Hilfe dessen es möglich sein soll, die realen Experimente möglichst exakt abzubilden. Die Simulationen dienen nicht dem Selbstzweck, sondern im Wesentlichen der Unterstützung der experimentellen Methoden, der Abschätzung sinnvoller Versuchsanordnungen und der Extrapolation der gewonnenen Erkenntnisse auf allgemeinere Strukturen.

Die Methode wurde in LSDyna, auf Basis der FEM mit einer diskreten Bewehrungsanordnung mit Balkenmodellen, erstellt. Es konnte gezeigt werden, dass als Stoffgesetz das *Schwer Murray Cap Model* die experimentell gewonnenen Ergebnisse bei geringen Geschwindigkeiten am besten abbildet. Bei höheren Geschwindigkeiten als den bisher betrachteten versagt dieses Gesetz allerdings, sodass eine vollständige Neubetrach-

Based on the previous experimental results, a numerical model was created which help to reproduce the real experiments as exactly as possible. The simulations support the experimental methods and provide useful experimental arrangements to extrapolate the knowledge gained to more general structures.

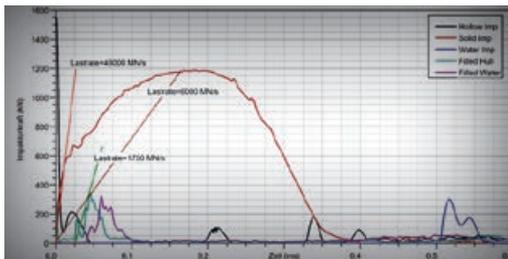
*The method was created in LSDyna, based on the FEM with a discrete reinforcement layout with beam models. It could be shown that the *Schwer Murray Cap Model* best represents the experimentally obtained results at low speeds. However, this law fails at speeds higher than those previously considered, so that a complete re-examination of the behaviour on the material side is necessary over the entire speed range.*

In a similar way, this also applies to the integration of the discrete reinforcement. A satisfactory solution is currently being worked

tung des werkstoffseitigen Verhaltens über den gesamten Geschwindigkeitsbereich notwendig ist.

In ähnlicher Weise trifft dies auch für die Einbindung der diskreten Bewehrung zu. Hierfür wird aktuell an einer zufriedenstellenden Lösung gearbeitet. Zuarbeiten aus momentan parallel laufenden Projekten zur korrekten Bewehrungsabbildung könnten hierbei einen Durchbruch liefern. Einige Arbeitspunkte des numerischen Projektteils und die Nachrechnung der experimentell gewonnenen Ergebnisse wurden daher zu Gunsten der Untersuchungen zu den Impaktoren zurückgestellt.

In diesem Themenbereich wurde mit unterschiedlichen numerischen Modellen das Szenario eines gekoppelten Impaktereignisses betrachtet, welches sich aus einem Aufprall eines starren Impaktors und dem anschließenden Auftreffen eines deformierbaren Impaktors zusammensetzt. Es wurden Modelle mit alternativen Impaktorvarianten entwickelt. Auf Basis dieser Modelle wurden die experimentellen Randbedingungen ermittelt. Es wurden Zusammenhänge zwischen Massen, Energien und Geschwindigkeiten für die einzelnen Beanspruchungsarten und Impaktorvarianten analysiert. Hieraus lassen sich Vergleichsparameter bei konstantem Schädigungsgrad ableiten.



Kraft-Zeit-Verlauf verschiedener Impaktoren und Lastraten | Force-time curve of different impactors and load rates | Photo: Franz Backrowl

on for this. Submissions from currently parallel projects for correct reinforcement mapping could provide a breakthrough. Some working points of the numerical project part and the recalculation of the experimentally obtained results were therefore postponed in favour of the investigations on the impactors.

In this subject area, the scenario of a coupled impact event, which is composed of an impact of a rigid impactor and the subsequent impact of a deformable impactor, was analysed with different numerical models. Alternative impactor variants were developed within the models. The experimental boundary conditions were determined on the basis of these models. Relationships between masses, energies and velocities, for the individual types of loads and impact variants, were analyzed. From this comparison, parameters can be derived with a constant degree of damage.

► **Titel | Title**

Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Behälter (Flugzeugtanks)

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

► **Förderer | Funding**

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

► **Zeitraum | Period**

07.2012–12.2014 (Phase 1A)
08.2014–07.2016 (Phase 1B)
04.2017–06.2020 (Phase 1C)

► **Leiter | Project manager**

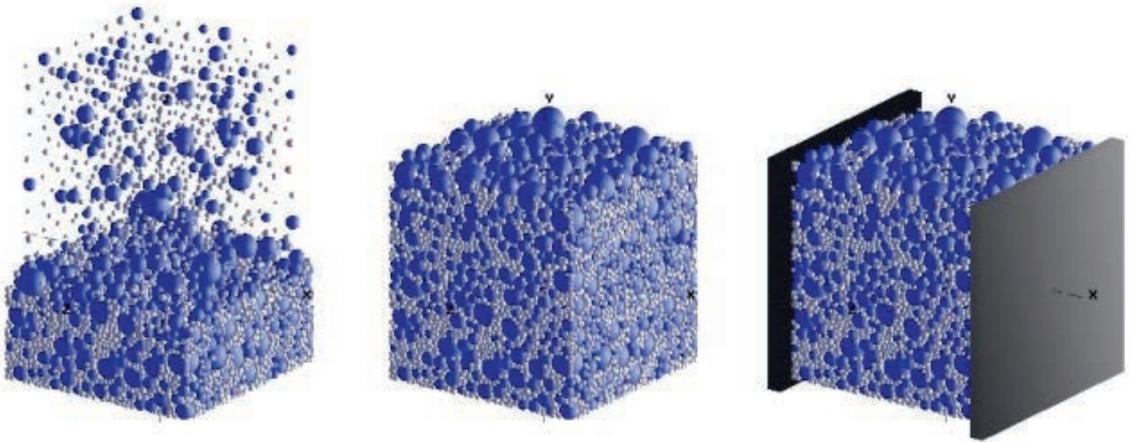
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe (Numerik)

► **Bearbeiter | Contributor**

Tino Kühn M.Sc.

► **Projektpartner | Project partner**

BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin



Virtueller Betonprobekörper – Partikelensemble mit verschiedenen Kugeldurchmessern | *Virtual concrete specimen – particle ensemble with varying sphere diameters* | Graphic: Dirk Reischl

DISKRETE-ELEMENTE-SIMULATION DES BETONMATERIALVERHALTENS IN 3D

DISCRETE ELEMENT SIMULATION OF CONCRETE'S MATERIAL BEHAVIOUR IN 3D

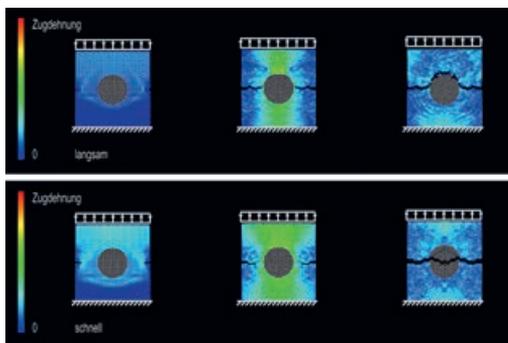
Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird das Material- und Schädigungsverhalten von Beton mit der Diskrete Elemente Methode (DEM) untersucht. Hierfür wird in diesem Projekt eine Simulation mit sphärischen – d. h. kugelförmigen – Partikeln verwendet. Kugelpartikel haben den enormen Vorteil, dass allein durch Kenntnis des Partikelmittelpunkts und des Radius' das Partikel vollständig beschrieben ist. Außerdem vereinfacht es die Kontaktdetektion erheblich. Die Überprüfung, ob zwei benachbarte Partikel sich tatsächlich berühren bzw. überschneiden und auf diese Weise eine rückstoßende Kraft übertragen, ist für sphärische, kugelförmige Partikel mit weitaus geringerem Rechenaufwand zu führen als mit polygonal berandeten Partikeln. Allerdings haben sphärische Partikel den polygonalen Partikeln gegenüber den Nachteil, dass sie keinen Formschluss erlauben und immer zwingend eine zusätzliche kohäsive Bindekraft

The material and damage behaviour of concrete using discrete element method (DEM) is investigated in this project. A simulation with spherical particles is used. The enormous advantage of spherical particles is that only the particle's centre and diameter are required for the entire particle description. Furthermore, the contact detection is simplified substantially. The check, whether two neighbouring particles do actually contact or overlap each other, leads to much lower calculation costs than for polygonally shaped particles. This check of contact or overlap, respectively, needs to be done in every time step to calculate the repulsive force. However, spherical particles have the disadvantage, that no form closure is enabled and that an additional cohesive force is mandatorily required to keep the particles as a whole assembly.

benötigen, um als Ensemble zusammenzuhalten. In der Simulation sind sowohl Partikelkonfigurationen mit verschiedenen Partikelradien als auch mit gleichen Partikelradien untersucht worden.

Ein virtueller Probekörper wird generiert, in dem eine gewünschte Anzahl von Kugeln verschiedener Größe durchmischt und geschüttet werden, so dass sich als Ergebnis des Preprocessings der generierte Betonprobekörper ergibt. Die verwendeten Partikelradien orientieren sich dabei an einer realen Sieblinie des Betons, repräsentieren also Zuschlag- bzw. Gesteinskörner unterschiedlicher Größe. Werden demgegenüber alle Partikel in derselben Größe generiert, ergibt sich hieraus stets eine hexagonale Partikelanordnung als dichteste Packung. Diese Vereinfachung im Partikelmodell reduziert den Rechenaufwand erheblich. Mit dieser vereinfachten Modellvariante wurden Simulationsrechnungen mit einaxialer Zugbeanspruchung unter verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten durchgeführt und die Rissentstehung und das Risswachstum untersucht. Bei den Untersuchungen stand besonders im Fokus, ob sich ein Riss um ein in einer Zementmatrix befindliches einzelnes Zuschlagkorn herum fortsetzt oder durch das Zuschlagkorn hindurch, ob also das Zuschlagkorn infolge der Belastung bestehen bleibt oder zerbricht. Die Simulation zeigt, dass sich bei geringerer Belastungsgeschwindigkeit der Riss um das Zuschlag- bzw. Gesteinskorn herum fortpflanzt, wohingegen der Riss bei hoher Belastungsgeschwindigkeit durch das Zuschlagkorn hindurchgeht und das Zuschlagkorn zerbricht.

In the simulation, particle configurations with varying particle radii as well as with constant radius are investigated. A virtual test specimen is generated by randomly mixing a requested number of spheres of different size and by pouring the spherical bulk ensemble into the simulation space. This generates a particle configuration representing concrete test specimen as the result of the pre-processing procedure. The particle radii used are chosen according to a real grain-size distribution curve of concrete, i. e. they represent aggregates of varying sizes. Using particles of the same particle radius on contrast, this always leads to a hexagonal particle formation as the densest packing configuration. This simplification of the particle model reduces the calculation costs significantly. Using this model type, simulations of uniaxial tensile load and the crack growth under varying loading velocities are investigated. It is in special focus, whether a crack develops around an aggregate, or whether the crack goes through an aggregate. This means either the aggregate remains in its original size or it is broken up. The simulation shows that the crack grows around an aggregate under lower loading velocity, and the crack breaks up the aggregate under higher velocities.



Numerische Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton mit Hilfe der Methode der Diskreten Elemente | Numerical Simulation of multiaxial damage behaviour of concrete using Discrete Element Method | Graphic: Dirk Reischl

► **Titel | Title**

Numerische Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton mit Hilfe der Methode der Diskreten Elemente

Numerical Simulation of multiaxial damage behaviour of concrete using Discrete Element Method

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► **Zeitraum | Period**

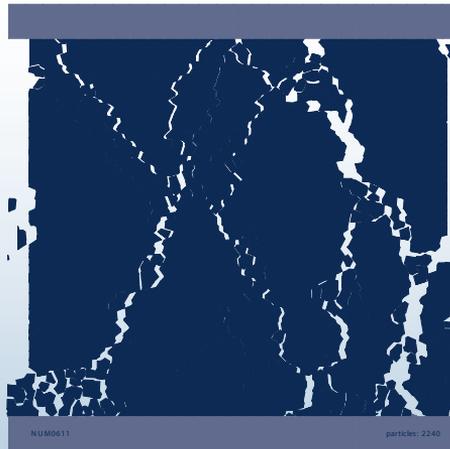
03.2012–02.2014 (Phase 1)
08.2014–07.2016 (Phase 2)
05.2017–05.2019 (Phase 3)

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Math. Dirk Reischl



Rissbild in der Simulation eines virtuellen Betonprobekörpers mit 2.240 Partikeln | Crack pattern in the simulation of a virtual concrete specimen of 2,240 particles | Graphic: Birgit Beckmann

DISKRETE-ELEMENTE-SIMULATION DES BETONBRUCHVERHALTENS IN 2D

2D SIMULATION OF CONCRETE FRACTURE WITH DEM

Mit der numerischen Simulation auf Basis der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) werden in diesem Projekt Betonbruchphänomene untersucht.

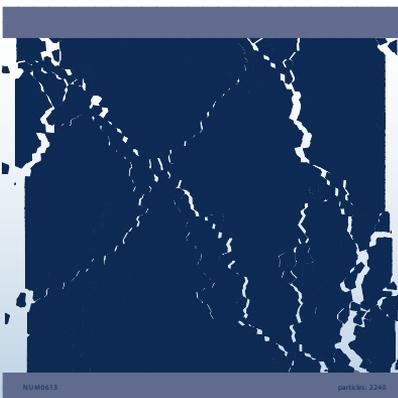
Dabei werden polygonal berandete Partikel verwendet. In partikelbasierten Simulationen wie der DEM sind die diskreten Elemente nicht nur Rechengröße, sondern repräsentieren tatsächliche, einzelne Betonelemente oder Betonpartikel, die sich kinematisch unabhängig voneinander bewegen können. Dieser grundsätzliche Ansatz erlaubt es, Risse simulieren zu können. Ein während der Simulation entstehender Riss ist dabei tatsächlich diskret und bedeutet Abwesenheit von Betonmaterial, also eine Lücke bzw. eine kleine Fehlstelle im Beton. Diese Eigenschaft der DEM, dass Risse per se diskret sind und ganz direkt simuliert werden können, ist ein ganz wesentlicher Grund für die Wahl dieser Simulationsmethode. Ein weiterer Grund ist die inhärent enthaltene Komplexität. Wenn eine große Anzahl von Partikeln, die sich nur in ihrer Geometrie zufallsbedingt geringfügig unterscheiden, die aber von der Art und optional auch von ihren Materialeigenschaften

Using numerical simulation based on the Discrete Element Method (DEM), concrete fracture and concrete failure phenomena are investigated in this project.

While single elements resulting from the discretisation of the concrete specimen are only a calculation tool in continuum-based simulations, the single elements represent actually separate concrete particles being able to move kinematically independently in discrete methods or particles-based methods such as DEM. Furthermore, in continuum-based methods, steady fields are an implicit presupposition and, therefore, no gaps and no gaping joints may exist. In contrast, in the DEM, adjacent particles can also move apart from each other and do not need to be permanently connected to their neighbours. This basic approach allows the simulation of actual cracks. A crack that arises during the simulation is discrete, and a crack means an absence of concrete material, i. e. a gap or defect in the concrete. This property of the DEM, that cracks are discrete per se and can be simulated directly, is an essential reason for the choice of this simulation method. A further reason is the inherently contained complexity. Using a great

ten alle gleich sind, ergibt sich allein durch das Zusammenspiel einer großen Anzahl Partikeln eine Komplexität und ein statistischer Charakter. Das bedeutet, zwei Simulationen mit exakt gleichen Simulationsparametern nur mit zwei leicht verschiedenen Partikelensembles ergeben ähnliche, doch leicht andere Ergebnisse in der Simulation. Dies spiegelt genau dieselben Beobachtungen von realen Labor-experimenten wider. Auch hier können zwei Probekörper nie exakt dieselben Positionen der Zuschlag- bzw. Gesteinskörner aufweisen, und auch hier zeigen die Bruchkörper am Ende des Versuchs statistische Abweichungen. Um aus dem Zusammenspiel einer großen Anzahl einzelner Partikel einen statistischen Charakter der Betonprobekörpercharge zu erhalten, muss die Partikelanzahl nicht übermäßig groß sein. Schon eine Partikelanzahl von ca. 2.200 Partikeln reicht aus, ein statistisch variierendes Ergebnis zweier verschiedener Ensembles, also zweier Probekörperrepräsentationen derselben Charge, zu erhalten.

Von zwei Ensembles mit 2.240 Partikeln, die sich durch den bei der Partikelgenerierung enthaltenen Zufallsgenerator nur in der Position der jeweiligen Partikel unterscheiden und ansonsten vollständig gleiche Simulationsparameter aufweisen, ähneln sich die erhaltenen Rissbilder, jedoch unterscheiden sie sich geringfügig in der konkreten Rissposition – wie im realen Laborexperiment auch.



Rissbild in der Simulation eines virtuellen Betonprobekörpers mit 2.240 Partikeln und geringfügig abweichenden Partikelpositionen | Crack pattern in the simulation of a virtual concrete specimen of 2,240 particles and with slightly varying particle positions | Graphic: Birgit Beckmann

number of particles, that differ only slightly due to random particle generation, but that are principally equal to each other, the complexity and the statistic character arise just due to the interaction of the particles. It means, that two simulations with exactly equal simulation parameters and only with two slightly varying particle ensembles lead to similar, but slightly different results. This mirrors the observations of real laboratory experiments. The same here – no two concrete specimens can have the exact same positions of aggregate, and the fracture patterns of two specimens show statistical deviation at the end of the experiment.

To get the statistical character out of the interaction of "great" many particles, the number of particles does not need not to be that big. Even a number of 2,200 particles is enough to achieve statistically varying results of two different ensembles, i. e. of two test specimen representations of the same concrete charge. The crack patterns of two ensembles with 2,240 particles, that differ only in the particle position due to random particle generation, but have exactly the same simulation parameters beside that, are similar, but slightly differ in the particular crack position – just like in real laboratory experiments, too.

- ▶ **Titel | Title**
Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen
Simulation of concrete failure with discrete elements
- ▶ **Zeitraum | Period**
seit 2017
- ▶ **Leiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**
Dr.-Ing. Birgit Beckmann



Ansicht des Versuchs- und Materialprüfungsamtes damals und heute | Field of Dresden testing office (VMA), nowadays Berndt-Bau | Photo: ca. 1930, taken from: *Mitteilungen der deutschen Materialprüfungsanstalten* 6/8, p. 84, Julius Springer, Berlin 1930; Oliver Steinbock

WILLY GEHLER – BIOGRAFIE 2.0

WILLY GEHLER – ON THE TRACKS OF AN RC PIONEER

Nachdem in den Jahren 2014 bis 2017 das Wirken und Leben Willy Gehlers (1876 – 1953) in einem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt beleuchtet werden konnte, wurde 2019 eine zweite ergänzende Phase gestartet. Grund hierfür waren die überraschenden Ergebnisse der ersten Phase, die vertieft werden und weitere Aufschlüsse zur Geschichte der Bauingenieure sowie zur Person Gehler liefern sollen. Erneut wird dabei auf die Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Technik- und Technikwissenschaftsgeschichte gesetzt, um neben der Bewertung der fachlichen Expertise auch eine Einschätzung der Persönlichkeit Gehler vornehmen zu können.

In Phase I lag der Schwerpunkt des am Institut für Massivbau bearbeiteten Projektteils auf dem Herausarbeiten von Gehlers Beitrag an der Stahlbetonentwicklung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Insbesondere wurde hier seine Tätigkeit rund um seine Stelle als Leiter der Versuchs- und Materialprüfungsanstalt (VMA) Dresden untersucht. Neben Hinweisen auf kriegsrelevante Forschungen ergaben sich zahlreiche Hinweise auf bisher unbekannte Forschungsbereiche. Im konkre-

During the years of 2014–2017 the German Research Foundation (DFG) promoted a project about the work and life of Willy Gehler. On the basis of this first research period, an additional phase was approved in 2019 because of the unexpected result of the first phase. Again, the chair for Technology and History of Science and Technology and the Institute of Concrete Structures are working together to investigate the values of his personality and his scientific expertise.

The focus in the first phase of the project was about the contributions of Gehler to the reinforced concrete research, during the first half of the 20th century. Of particular interest is his work as director of the Testing and Material Office (VMA) Dresden. Following the existing references, we found out more about Gehler's research in the field of prestressed concrete structures.

In detail, it was found that the competing systems of Hoyer and Freyssinet were evaluated in Dresden for the first time. The main features of the so-called Hoyer Effect were the focus of investigations and tests conducted by Erich Friedrich Dresden at the VMA in Dresden. Apart from that Gehler had

ten waren dies Hinweise auf Forschungen zum Spannbeton. So wurde festgestellt, dass die damals konkurrierenden Systeme von Hoyer und Freyssinet erstmals in Dresden und somit im deutschsprachigen Raum wissenschaftlich untersucht wurden. Die Grundzüge des sogenannten Hoyer-Effekts gehen dabei auf wissenschaftliche Untersuchungen von Gehlers Mitarbeiter Erich Friedrich zurück. Festgestellt wurde zudem, dass Gehlers Expertise auch über die Grenzen des Stahlbetonbaus hinaus gefragt war, z. B. im Bereich des Stahlbaus. Erste Erkenntnisse lassen auf eine enge Zusammenarbeit mit Ernst Chwalla schließen, der insbesondere durch seine Forschungsergebnisse rund um das Knicken druckbeanspruchter Querschnitte bekannt wurde. In diesem Zusammenhang zeigt sich auch, dass eine ausschließliche Betrachtung der Person Gehlers sowie seiner Forschungen nicht ausreichend ist, um eine Einordnung vornehmen zu können. Daher wird in Phase II das fachliche Umfeld Gehlers im Rahmen einer Netzwerkanalyse genauer betrachtet.

Diese Analyse soll auch dazu dienen, den Projektpartner bei der Einordnung der politischen Positionierung Gehlers zu unterstützen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf seine Kollaborationen in beiden deutschen Diktaturen als auch der Wertung seiner Person als akademische *persona non grata*.



Gehler im Rahmen einer Übung mit einem Studenten | *Gehler during an exercise together with a student* | Photo: Archiv der Familie Riedel/Neuffer, undatiert

many qualifications beyond the reinforced concrete. The main topic of the second phase will be his research about steel constructions. The first findings showed that he worked in close collaboration with Ernst Chwalla. He became well-known for his research about the buckle of compressed profiles. This context shows that a widespread view is necessary to capture Gehler's complex personality.

Therefore the scientific field will be extended by network analysis. The analyzation will help to clarify the political position, involvement and collaboration during the two German dictatorships as well as a judgement of Gehler's identity as academic persona non grata.

► **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 (Phase 1)
11.2018–05.2022 (Phase 2)

► **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



DAS C³-PROJEKT

THE C³ PROJECT





C³ | carbon
concrete
composite

AKTUELLES ZUM C³-PROJEKT

LATEST NEWS ABOUT THE C³ PROJECT

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierte Bauforschungsprojekt C³ – Carbon Concrete Composite befindet sich im sechsten Jahr seiner insgesamt 8-jährigen Laufzeit. Im Jahr 2014 begannen die Erarbeitung eines Strategiekonzepts und der globalen Roadmap sowie ein Jahr später die Forschungsarbeiten zum Verbundmaterial Carbonbeton mit den Basisvorhaben, gefolgt von Vorhaben zum Abbau der Markteintrittsbarrieren und zur Technologieumsetzung sowie von anwendungsorientierten Vorhaben. Inzwischen blickt der C³-Verband mit aktuell 169 Partnern (Stand November 2019) auf eine fünfjährige, intensive Forschungstätigkeit zu Carbonbeton zurück.

Knapp die Hälfte der insgesamt 60 Forschungsvorhaben mit 298 Teilvorhaben befindet sich aktuell noch in Bearbeitung. Das Gesamtvolumen von ca. 45 Millionen Euro Fördermitteln ist inzwischen vollständig in Vorhaben gebunden. Hinzu kommen ca. 12 Millionen Euro Eigenanteil der C³-Partner.

Im Folgenden sollen einige ausgewählte Ergebnisse aus abgeschlossenen oder weit fortgeschrittenen Vorhaben auszugsweise vorgestellt werden:

Im Vorhaben C3-V1.2 „Normung und Zulassung“ werden Arbeitspapiere erstellt, die für den Verbundwerkstoff Carbonbeton sowie für die einzelnen Komponenten Beton und nichtmetallische Bewehrung gelten sollen. Damit sollen insbesondere den Tragwerksplanern, den Anwendern und den ausführenden Unternehmen die erforderlichen Sicherheits- und Nachweiskonzepte für den Neubau und die Verstärkung mit Carbonbeton bereitgestellt werden. Zudem werden im Einzelnen vier Arbeitspapiere zu den Themen Bemessung, Bewehrung, Beton und Ausführung erarbeitet, wobei sich das Arbeitspapier zur Ausführung in drei weitere Teile gliedert: Ortbetonbau, Fertigteilbau und Verstärkung.

The construction research project C³ – Carbon Concrete Composite, financed by the Federal Ministry of Education and Research, is in the sixth year of its 8-year term. In 2014, the development of a strategy concept and the global roadmap began, followed one year later by the research work on the composite material carbon concrete with the basic projects, and by projects to reduce market entry barriers and to implement technology and application-oriented projects. In the meantime, the C³ association, which currently has 169 partners (as of November 2019), can look back on five years of intensive research into carbon reinforced concrete.

Almost half of the total of 60 research projects with 298 sub-projects are still in progress. The total volume of approximately 45 million euros in funding is now fully allocated to existing projects. In addition, the C³ partners contribute approximately 12 million euros.

In the following, some selected results from completed or advanced projects will be presented in extracts:

In the project C3-V1.2 "Standardization and Approval" working papers will be prepared for the composite material carbon reinforced concrete as well as for the individual components concrete and non-metallic reinforcement. In this way, the necessary safety and verification concepts for the new construction and reinforcement with carbon concrete are to be provided, in particular, to the structural engineers, the users and the construction companies. In addition, four individual working papers will be prepared on the topics of design, reinforcement, concrete and construction. The working paper on construction will be divided into three further parts: In-situ concrete construction, precast construction and reinforcement.

Environmentally friendly building products are becoming more and more important. In the C³

Umweltschonende Bauprodukte gewinnen immer mehr an Bedeutung. Im C3-V2.11 „Umweltverträglichkeit“ wird auf Grundlage von Auslaugungs- und Beregnungsversuchen an Carbonbetonprüfkörpern mit unterschiedlichen Bewehrungsgraden und Betonüberdeckungen deren Einfluss auf die Umwelt beurteilt. Für die Untersuchung wurden vorwiegend die Referenzmaterialien des C³-Projektes herangezogen. Es wurden „DSLST“-Auslaugungstests (Dynamic Surface Leaching Test) in Anlehnung an CEN/TS 16637-2 an unbewehrten und bewehrten Plattenprüfkörpern durchgeführt. Für die 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten Spurenelementauslaugmengen konnte insgesamt festgestellt werden, dass für die meisten Elemente nur unwesentliche Auslaugmengen unterhalb von 10 % der zulässigen Grenzwerte, gemäß der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (Ausgabe 2019/1; Anhang 10 „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer (ABuG): 2018-12“) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), erreicht werden. Nur die Elemente Antimon, Blei, Chrom und Vanadium zeigten etwas höhere Freisetzungen. Vanadium erreichte maximal 53 % des Grenzwertes. Aktuell wird jedoch dieser Grenzwert ausgesetzt und nicht zur Bewertung eines Bauproduktes herangezogen. Weiterhin ließ sich keine Systematik zwischen der kumulierten Auslaugmenge und bspw. der Feinbetonüberdeckung der Carbonbewehrung erkennen. Die 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten Auslaugmengen der untersuchten Hauptelemente, der Anionen und die TOC-Abgabe waren ebenfalls im unbedenklichen Bereich. Stellt man die vom DIBt definierten Grenzwerte für die Parameter Chlorid und Sulfat gegenüber, so liegen die ermittelten Werte weit unterhalb von einem Prozent dieser Grenzen. Zusätzliche Labor- und Freilandberegnungsversuche verhalten sich analog zu den DSLST-Ergebnissen. Ebenso werden alle untersuchten Spurenelemente sowie Bor, Natrium, Kalium, Calcium, Chlorid und Sulfat in nur sehr geringen Mengen ausgelaugt und sind im Sinne der Umweltverträglichkeit als unbedenklich anzusehen.

C3-V4.1 „Garnablage“, das vom C³-Praxispartner Betonwerk Oschatz GmbH geleitet wird, verfolgt das Ziel, eine robotergestützte Herstellung von

project V2.11 "Environmental compatibility", the impact on the environment is assessed on the basis of leaching and irrigation tests on carbon reinforced concrete test specimens with different degrees of reinforcement and concrete coverings. The reference materials of the C³ project were mainly used for the investigation. DSLT Dynamic Surface Leaching Test (DLST), based on CEN/TS 16637-2, were carried out on unreinforced and reinforced plate test specimens. For the 64-day mean values of the cumulated trace element leaching quantities, it was found that for most elements only insignificant leaching quantities below 10 % of the permissible limit values were achieved in accordance with the Technical Building Regulations (Edition 2019/1; Annex 10 "Requirements for structural works with regard to the effects on soil and water (ABuG): 2018-12") of the German Institute for Building Technology (DIBt). Only the elements antimony, lead, chromium and vanadium showed slightly higher releases. Vanadium reached a maximum of 53% of the limit value, but is currently exposed to this limit value and is not used to evaluate a building product. Furthermore, no systematics between the cumulated leaching quantities and, for example, the fine concrete covering of the carbon reinforcement could be identified. The 64-day mean values of the cumulated leaching quantities of the investigated main elements, anions and the TOC charge were also in the harmless range. If one compares the limit values defined by DIBt for the parameters chloride and sulfate, the values determined are far below one percent of these limits. Additional laboratory and field irrigation tests behave analogously to the DSLT results. Likewise, all trace elements examined as well as boron, sodium, potassium, calcium, chloride and sulphate are leached out in only very small quantities and can be regarded as harmless in terms of environmental compatibility.

The C³ project V4.1 "Yarn placement", which is managed by the C³ practice partner Betonwerk Oschatz GmbH, aims to integrate robot-supported production of individual carbon reinforced concrete reinforcement structures in an automated concrete plant for prefabricated and semi-finished parts. The C³ partners Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) TU Dresden and Institut für Betonbau der HTWK Leipzig (IfB), together with Betonwerk Oschatz GmbH, developed a concept



Robotergestützte Herstellung von individuellen Carbonbetonbewehrungsstrukturen | Robot-assisted production of individual carbon concrete reinforcement structures | Photo: Frank Schladitz

individuellen Carbonbetonbewehrungsstrukturen in einem automatisierten Betonwerk für Fertig- und Halbfertigteile zu integrieren. Die C³-Partner Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) der TU Dresden und Institut für Betonbau der HTWK Leipzig (IfB) entwickelten gemeinsam mit dem Betonwerk Oschatz GmbH ein Konzept für eine Robotereinheit mit einer Online-Beschichtungseinheit für Carbonsgarn und einem Trocknungs-ofen zur Herstellung von Carbonbelegen mit einer maximalen Abmessung von 3,00 m x 1,50 m und einem Maschenabstand von 5 cm x 5 cm. Damit die Fertigung dieser großformatigen Bewehrungsstrukturen möglich ist, kann die Robotereinheit auf einer Grundplatte eindimensional verfahren werden. Es wurden dabei 48-K-Garne von dem Hersteller Teijin (Toho-Tenax) mit 3.300 tex Feinheit verwendet und diese mit einem Epoxidharz direkt im Garnablegeprozess beschichtet (50 % Faservolumengehalt). Eine der Herausforderungen war, die Garnspannung über den gesamten Legeprozess und vor allem in den Umlenkpunkten aufrechtzuerhalten, trotz der verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten. Die Aufgabe des IfB der HTWK Leipzig war es, die automatische Bestückung der Carbonbelege mit Ein- und Anbauteilen zu versehen sowie den Handlingprozess des Beleges von der Trocknungseinheit zum Einbauort und die Fixierung am Einbauort automatisiert zu gestalten. Dabei lagen vor allem die Probleme im beschädigungsfreien Greifen und Fixieren sowie bei der präzisen Verlegung und formschlüssigen Verbindung der Einbau- und Anbauteile. Im Rahmen der 13. C³-Beiratssitzung, die am 23.09.2019 in Oschatz stattfand, zeigten die

for a robot unit with an inline coating unit for carbon yarn and a drying oven for the production of carbon fabrics with a maximum dimension of 3.00 m x 1.50 m and a mesh spacing of 5 m x 5 cm. To enable the production of these large-format reinforcement structures, the robot unit can be moved one-dimensionally on a base plate. 48k yarns from the manufacturer Teijin (Toho-Tenax) with a fineness of 3,300 tex were used and coated with an epoxy resin directly in the yarn laying process (50 % fibre volume content). One of the challenges was to maintain the yarn tension over the entire laying process, and especially at the deflection points, despite the different travel speeds. The task of the IfB of the HTWK Leipzig was to provide the automatic loading of the carbon grids with built-in and add-on parts as well as to automate the handling process of the grid from the drying unit to the installation site and the fixing at the installation site. The main problems were the damage-free gripping and fixing as well as the precise laying and form-fit connection of the installation and attachment parts. During the 13th C³ advisory board meeting, which took place on 23.09.2019 in Oschatz, the C³ partners demonstrated a complete grid manufacturing process and the handling of the reinforcement structures after drying. The demonstration of the technology directly in the environment of a concrete plant shows that scaling from laboratory to industrial scale is possible and that this represents a future-oriented production method and, last but not least, an economic option for individual grid production. Carbon reinforced concrete shows here that it is a suitable material to be used with new tools, such as robotics and digital processes, in concrete construction.

In the C³ project V4.15 "Market-ready inorganically bound carbon reinforced concrete reinforcement elements", practical reinforcement systems (e.g. bars, stirrups) and the necessary continuous production and processing methods are further developed. In addition to the well-known advantages of carbon compared to metallic reinforcement structures – such as corrosion resistance and higher tensile strength at lower density – the mineral-impregnated reinforcements also have a higher temperature resistance compared to organically coated carbon elements (CFRP) as well as a more permanent behaviour in the event of fire (higher tensile strength and modulus of elastici-

C³-Partner einen kompletten Gelegerherstellprozess und das Handling der Bewehrungsstrukturen nach der Trocknung. Die Demonstration der Technologie direkt im Umfeld eines Betonwerks konnte zeigen, dass die Skalierung vom Labor- auf Industriemaßstab möglich ist und dies eine zukunftsorientierte Fertigungsart und nicht zuletzt eine wirtschaftliche Möglichkeit der individuellen Gelegerherstellung darstellt. Der Carbonbeton zeigt hier, dass er neue Hilfsmittel, wie die Robotik und digitale Prozesse, im Betonbau weiter ausbauen kann.

In C3-V4.15 „Marktreife anorganisch gebundene Carbonbetonbewehrungselemente“ werden praxistaugliche Bewehrungssysteme (bspw. Stäbe, Bügel) und die dazu notwendigen kontinuierlichen Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren weiterentwickelt. Neben den bekannten Vorzügen von Carbon gegenüber metallischen Bewehrungsstrukturen – wie Korrosionsbeständigkeit und höhere Zugfestigkeit bei geringerer Dichte – kommen, verglichen mit organisch beschichteten Carbonelementen (CFK), bei den mineralisch getränkten Bewehrungen noch eine höhere Temperaturbeständigkeit sowie ein dauerhafteres Verhalten im Brandfall (höhere Zugfestigkeit und E-Modul) hinzu. In den vorangegangenen C3-V2.6 „Anorganisch gebundene Bewehrungsstrukturen“ und C3-V1.11 „Carbonstab“ wurden die mineralischen Beschichtungsmaterialien, verschiedene Oberflächenmodifikationen der Carbonfaserstrukturen und ein maschinentechnisches Konzept zur Tränkung mineralischer Garne im Pultrusionsverfahren entwickelt. Bis Ende 2019 soll die Leistungsfähigkeit der Carbonbetonstäbe an zwei Arten von Demonstratoren – in Form eines Gesimses und einer Dachschale – untersucht werden. Beim Gesims kann bedingt durch die Reduzierung der Materialdicken das Eigengewicht um bis zu 25 % reduziert werden. Ein weiterer vergleichsweise anspruchsvoller Demonstrator ist eine Dachkonstruktion als einfach gekrümmte Schale mit 4 Metern Länge und 60 cm Breite bei nur 2 cm Wandstärke. Die hohen Anforderungen an eine derartige Hartdach-Konstruktion liegen im Brandschutz, dem geringen Eigengewicht und der Dauerhaftigkeit unter extremen Wetterereignissen.

Das C³-Vorhaben CUBE soll als „Leuchtturm“ des gesamten C³-Projektes dienen und alle in

ty). In the previous C³ projects V2.6 "Inorganically bound reinforcement structures" and V-1.11 "Carbon rod", the mineral coating materials, various surface modifications of the carbon fibre structures and a mechanical concept for impregnating mineral yarns in the pultrusion process were developed. By the end of 2019, the performance of the carbon reinforced concrete rods is to be investigated on two types of demonstrators - in the form of a cornice and a roof shell. The weight of the cornice can be reduced by up to 25% by reducing the thickness of the material. Another comparatively sophisticated demonstrator is a roof construction as a single-curved shell 4 meters long and 60 cm wide with a wall thickness of only 2 cm. The high requirements for such a hard roof construction are fire protection, low dead weight and durability under extreme weather conditions.

The C³ project CUBE is to serve as a "lighthouse" of the entire C³ project and present all the results obtained in this context in a visible and effective manner in the form of a usable carbon reinforced concrete building near Fritz-Förster-Platz in Dresden. The experimental building (large-scale research equipment with the appearance of a building) with a planned gross floor area of approx. 220 m² will also be a test stand. The building will be used primarily for research into the long-term suitability of carbon reinforced concrete from a structural, static and building physics point of view. The operating and life cycle costs will also be assessed. It also serves as a representative site for carbon reinforced concrete construction and contains areas for exhibition objects, furniture and presentations in front of an audience. The CUBE essentially consists of the two construction elements – TWIST and BOX. The TWIST elements are two shells arranged symmetrically opposite each other, which twist out of the wall into a roof and thus simultaneously form the lateral and upper end of the room. The BOX is the essential part of the test stand and offers the possibility of exchanging and long-term monitoring of building elements, such as façade panels, wall elements or multifunctional carbon reinforced concrete elements in exterior and interior areas, in order to constantly test and present the latest state-of-the-art.

The design planning was completed and the building application submitted in August 2019

diesem Rahmen gewonnenen Ergebnisse sichtbar und öffentlichkeitswirksam in Form eines nutzbaren Carbonbetongebäudes in Nähe des Fritz-Förster-Platzes in Dresden präsentieren. Der Experimentalbau (Großforschungsgerät mit der Anmutung eines Gebäudes) mit einer geplanten Bruttogrundfläche von ca. 220 m² soll

according to schedule. At the same time, the component development, including various technology tests for the production and joining of the elements will take place. The approval in individual cases (ZiE) for the BOX and the TWIST, the structural design and the approval of the structural design by the structural engineer should

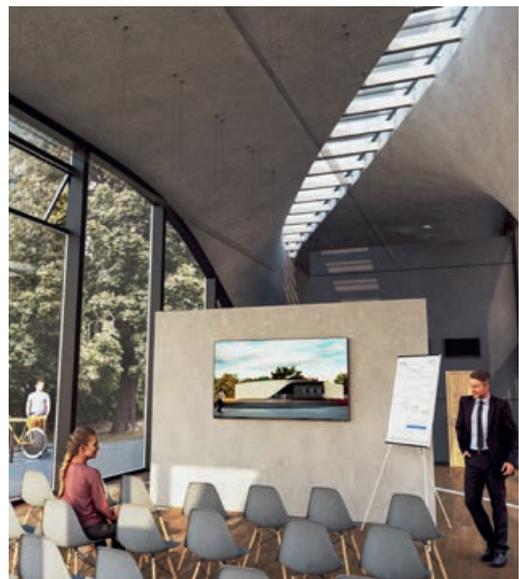


Das weltweit erste Haus aus Carbonbeton | *The world's first carbon reinforced concrete house* | Rendering: Iurii Vakaliuk

gleichzeitig auch ein Versuchsstand sein. Das Gebäude wird maßgeblich der Erforschung der Langzeittauglichkeit von Carbonbeton aus baukonstruktiver, statischer und bauphysikalischer Sicht dienen. Auch die Betriebs- und Lebenszykluskosten werden beurteilt. Ebenso dient es als Repräsentationsstätte der Carbonbetonbauweise und beinhaltet Flächen für Ausstellungsobjekte, Möbel und Präsentationen vor einem Publikum. Der CUBE besteht im Wesentlichen aus den zwei Teilen TWIST und BOX. Die TWIST-Elemente sind zwei symmetrisch gegenüber angeordnete Schalen, die sich jeweils aus der Wand heraus in ein Dach hinein verdrehen und dadurch gleichzeitig den seitlichen und oberen Raumabschluss bilden. Die BOX ist der wesentliche Teil des Versuchsstands und bietet die Möglichkeit des Austauschs sowie des Langzeitmonitorings von Bauelementen, wie z. B. Fassadenplatten, Wandelementen oder multifunktionaler Carbonbetonelemente im Außen- bzw. Innenbereich, um stetig den neuesten Stand der Technik testen und präsentieren zu können.

be completed in the beginning of 2020. After the contract has been awarded, construction is scheduled to begin in March 2020 (construction site equipment, excavation pit, foundation, foundations, etc.). The precast concrete parts for the BOX will be produced in parallel, so that the shell can be erected by May 2020. With a slight time lag, the TWIST roof construction will then be completed by October 2020. Subsequently,

Gemäß Zeitplan wurde bis August 2019 die Entwurfsplanung abgeschlossen und der Bauantrag gestellt. Parallel dazu erfolgte die Bauteilentwicklung einschließlich verschiedener Technologietests zur Herstellung und Fügung der Elemente. Die Zustimmung im Einzelfall (ZiE) für die BOX und den TWIST, die Tragwerks-



Innenansicht des Carbonbetonhauses | *Interior view of the carbon reinforced concrete house* | Rendering: Iurii Vakaliuk

planung und die Freigabe der Ausführungsstatik durch den Prüfstatiker soll bis Anfang 2020 erfolgt sein. Nach der Vergabe der Bauleistungen ist der Baubeginn (Baustelleneinrichtung, Baugrube, Gründung, Fundamente etc.) im März 2020 vorgesehen. Parallel werden die Betonfertigteile für die BOX hergestellt, so dass der Rohbau bis Mai 2020 errichtet werden kann. Mit leichtem Zeitversatz wird dann der TWIST-Dachaufbau realisiert und bis Oktober 2020 abgeschlossen sein. Im Anschluss sind nach aktueller Planung noch die weiteren Arbeiten wie Verglasung, Innausbau und technischer Ausbau einschließlich der Arbeiten an den Außenanlagen bis zum Bauende im Dezember 2020 umzusetzen.

Das C³-Projekt in der Öffentlichkeit

Das Jahr 2019 begann für den C³-Verein mit einer fulminanten Würdigung – dem Energy Globe World Award. Die Auszeichnung, die zu den bedeutendsten Umweltpreisen der Welt gehört, wurde im Januar in Yazd, einer kulturell bedeutenden Stadt im Iran, verliehen. Mit dem Ziel, die Zukunft des Planeten zu schützen und das Recht der künftigen Generationen auf ein gesundes und erfülltes Leben auf der ganzen Welt zu wahren, entschloss sich die Energy Globe Foundation eine Auszeichnung zu erschaffen, die das allgemeine Bewusstsein für das Thema Nachhaltigkeit erhöht und Vorzeigelösungen aus einer Vielzahl von Ländern präsentiert. In der Kategorie Erde wurde der C³-Verein mit Carbonbeton unter 2.300 Bewerbern aus 182 Ländern zum glücklichen Gewinner auserkoren. Im be-



Messe BAU 2019 in München | BAU trade fair 2019 in Munich | Photo: Chris Gärtner

according to current planning, further work such as glazing, interior finishing and technical expansion, including work on the outside facilities, will have to be carried out by the end of construction in December 2020.



Außenansicht des Carbonbetonhauses | Exterior view of the carbon reinforced concrete house | Rendering: Iurii Vakaliuk

The C³ project in public

The year 2019 began for the C³ association with a brilliant tribute – the Energy Globe World Award. One of the world's most prestigious environmental awards, the award was presented in January in Yazd, a culturally significant city in Iran. With the aim of protecting the future of the planet and preserving the right of future generations to a healthy and fulfilling life around the world, the Energy Globe Foundation decided to create an award that would raise general awareness of sustainability and showcase solutions from a variety of countries. In the Earth category, the C³ association with carbon reinforced concrete was chosen as the lucky winner from among 2,300 applicants from 182 countries. The jury was particularly impressed by the protection of resources and the longevity of buildings in relation to the growing world population.

The current status of carbon reinforced concrete is reflected not only in the continuously increasing number of inquiries for C³ lectures but also at trade fairs and conferences such as BAU in Munich, the 63rd BetonTage in Ulm, the German Construction Technology Day in Stuttgart and the IABSE Conference in New York. A large number of visitors and the diverse discussions on carbon reinforced concrete, the extensive range of appli-

sonderen Maße überzeugend befand die Jury den Schutz der Ressourcen und die Langlebigkeit von Gebäuden in Bezug auf die wachsende Weltbevölkerung.

Wie aktuell das Thema Carbonbeton derzeit ist, spiegelt sich nicht nur an den kontinuierlich steigenden Anfragen zu C³-Vorträgen wieder, sondern zeigte sich u. a. auch auf Messen und Konferenzen, wie der BAU in München, den 63. BetonTagen in Ulm, dem Deutschen Bautechnik-Tag in Stuttgart oder auch der IABSE-Konferenz in New York – selten war der C³-Verein so präsent wie im Jahr 2019. Der große Besucherzulauf und die vielfältigen Gespräche zum Carbonbeton, den umfangreichen Einsatzmöglichkeiten aber auch der Wunsch nach einer signifikanten Materialersparnis verdeutlichen ein Umdenken zu mehr Nachhaltigkeit bei Architekten, Planern und bauausführenden Unternehmen.

Nachhaltigkeit und Schutz der Ressourcen standen 2019 auch verstärkt im Fokus der Politik. Mit einem Fachforum für Carbonbeton konnte in Zusammenarbeit mit dem Sächsischen Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft eine Plattform geschaffen werden, bei der die Politik, Wirtschaft und Wissenschaft miteinander vereint über aktuelle Entwicklungen, Herausforderungen sowie auch Projekte in der Region spricht. Politisches Interesse

and also the desire for significant material savings illustrate a rethinking towards greater sustainability on the part of architects, planners and construction companies.

Sustainability and the protection of resources



Alexander Kahnt und Dr. Georg Nüßlein, stellvertretender Vorsitzender der CDU/CSU-Bundestagsfraktion | Deputy Chairman of the CDU/CSU parliamentary group in the Bundestag | Photo: Florian Meingast

were also increasingly the focus of political attention in 2019. In cooperation with the Saxon Ministry of the Environment and Agriculture, a specialist forum for carbon reinforced concrete was created as a platform where politics, business and science talked together about current developments, challenges and projects in the region. The CDU/CSU parliamentary group invited members of the German Bundestag to Berlin under the motto "Climate protection, technology, in-



Der geschlossene Stoffkreislauf von Carbonbeton | The closed material cycle of carbon reinforced concrete | Graphic: filmaton

zeigte sich auch über die sächsischen Grenzen hinaus: Unter dem Credo „Klimaschutz, Technik, Innovation“ lud die CDU/CSU-Fraktion in den Deutschen Bundestag nach Berlin ein. Diskutiert wurden erfolgsversprechende, technologische Konzepte, welche die nationalen Klimaziele kosteneffizient erreichen können, darunter auch die Carbonbetonbauweise. Ebenfalls in Berlin fand vor politischer Kulisse das Expertenforum „Evonik Perspektiven: Die Zukunft läuft rund – Circular Economy als Chance für den Wirtschaftsstandort Deutschland“ statt. Zirkuläres Wirtschaften soll neue Chancen eröffnen und dadurch eine nachhaltige Welt im Einklang mit Wachstum und Wohlstand gestalten.

Neben der aktiven Teilnahme an Messen und Informationsveranstaltungen befassen sich der C³-Verein und die C³-Öffentlichkeitsarbeit u. a. auch mit der stetigen Weiterentwicklung von Vernetzungsworkshops und umfassendem Wissenstransfer. Ganz im Sinne der Umwelt entstehen immer häufiger Fragen zur Wiederverwendbarkeit von Carbonbeton. Dass Carbonbeton recyclingfähig ist, wurde vielfach kommuniziert, wie aber funktioniert der Stoffkreislauf im Detail? Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wurde ein Film produziert, der alle Facetten des Carbonbeton-Stoffkreislaufs verständlich abbildet.

Last but not least: Den Höhepunkt des Jahres 2019 bildeten die 11. Carbon- und Textilbetontage im Deutschen Hygiene-Museum in Dresden. Mit einem inhaltlich umfangreicheren Programm, Workshops und Referenten der Superlative konnte ein neuer Teilnehmerrekord verzeichnet werden. Zahlreiche Aussteller aus dem Bereich des Carbon- und Textilbetons, eine hochaktuelle App und namhafte Sponsoren rundeten das Spektrum in diesem Jahr ab.

novation". Promising technological concepts were discussed that can achieve the national climate targets cost-efficiently, including carbon reinforced concrete construction. Also in Berlin, the expert forum „Evonik Perspectives: The future runs smoothly – circular economy as an opportunity for Germany as a business location“ took place. The circular economy should open up new opportunities and thus shape a sustainable world in harmony with growth and prosperity.

In addition to active participation in trade fairs and information events, the C³ association and C³ public relations are also involved in the ongoing development of networking workshops and comprehensive knowledge transfer. In the interests of the environment, questions about the reusability of carbon reinforced concrete are arising more and more frequently. The fact that carbon reinforced concrete is recyclable has been widely communicated, but how does the material cycle work in detail? In order to get to the bottom of this question, a film was produced that comprehensively depicts all facets of the carbon reinforced concrete material cycle.

Last but not least: The highlight of 2019 was the 11th Carbon and Textile Concrete Days at the German Hygiene Museum in Dresden. With a more extensive programme, workshops and superlative speakers, a new record number of participants was set. Numerous exhibitors from the carbon and textile concrete sector and renowned sponsors rounded off the spectrum this year.

► **Titel | Title**

C3-S2: Strategiefortschreibung und konzeptionelle Innovationsförderung von C³ – Carbon Concrete Composite
C3-S2: Strategic improvement and conceptual promotion of innovations for C³ – Carbon Concrete Composite

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF);
Projekträger: FZ Jülich GmbH/C³ – Carbon Concrete Composite e. V.

► **Zeitraum | Period**

C³: 09.2013–2021
C3-S1: 01.2014–06.2015
C3-S2: 07.2015–12.2020
C3-I: 08.2015–12.2021

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

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

LEHRE

TEACHING



vdt fachmedien

LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

*LECTURES AT THE INSTITUTE
OF CONCRETE STRUCTURES*



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

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

Als Maßstab für die Qualität der Lehre sehen wir vor allem die Meinung der Studierenden. Neben den obligatorischen Evaluationen suchen wir das Gespräch mit den Lernenden, um Anregungen und Kritik aus erster Hand zu erfahren. Besonders direkte Verbindungen pflegen wir zu den ca. 35 studentischen Hilfskräften am Institut, die zumeist in die Forschungsarbeit eingebunden sind. Diese Tätigkeit erfordert sowohl fundiertes Wissen als auch Phantasie und Kreativität – ein ideales Aufgabenfeld für begabte und motivierte Studierende und zukünftige Ingenieurinnen und Ingenieure. Gleichzeitig fließen die Anforderungen der Bauindustrie an Hochschulabsolventinnen und -absolventen in die Lehrkonzeption ein. Viele Abschlussarbeiten werden gemeinsam mit einem Praxispartner betreut. So können wir unseren Studentinnen und Studenten einen optimalen Start ins Berufsleben ermöglichen.

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

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

We see the students' opinions as an important benchmark for the quality of our teaching. In addition to mandatory evaluations, we seek out conversations with students to receive suggestions and critique first-hand. We keep close contact with students, especially to the ca. 35 student assistants, who are mainly involved in research. For this activity, they need sound knowledge as well as imagination and creativity, which makes it an ideal working field for motivated, talented students and future engineers. At the same time, the requirements that the construction industry has for graduates can flow into the teaching concept. Many theses are supervised by industry partners, allowing for an optimal start of a student's career.

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

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

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

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

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



Nachfolgend geben wir einen kurzen Einblick in die Lehrveranstaltungen des Studienjahres 2018/2019.

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 2018/2019. 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. Melchior Deutscher, Dipl.-Ing. Marc Koschemann

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

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

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

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

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

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

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

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Silke Scheerer, Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann, Dipl.-Ing. Peter Betz, Dipl.-Ing. Marc Koschemann, Dr.-Ing. Harald Michler, Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Juliane Wagner

▷ **7. Semester:** 2 SWS Vorlesung

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

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

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

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Marcus Hering

▷ **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.

► **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 Konzepten zu 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

▷ **2nd semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

The contents of the module include maintenance principles for bridges and buildings, e.g., inspection, testing, examination and condition assessment of existing reinforced concrete structures, load testing and monitoring of steel-reinforced structures, calculation of the load-bearing capacity and reserve strength of existing buildings and bridges using special computation methods, strengthening methods for massive structures and their calculation (shotcrete, steel lamellae, CFRP lamellas, textile-reinforced concrete, external prestressing).

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

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

▷ **2nd 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, multi-axial constitutive laws for concrete, finite elements for structural members made of RC, in particular for shear walls and slabs.

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

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

▷ **2nd semester:** 2 lecture hours and 1 exercise hour per week

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

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

▷ **3rd 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)

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

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



Praxisbezogene Ausbildung – Begehung des Boßlertunnels der Neubaustrecke Wendlingen–Ulm | *Practice-oriented training – inspection of the Boßler tunnel on the new Wendlingen-Ulm line* | Photo: Julien Pressoir



Praxisbezogene Ausbildung – Begehung des Blauen Wunders in Dresden-Blasewitz im Rahmen der Lehre | Practice-oriented training – inspection of the famous Blaues Wunder bridge in Dresden-Blasewitz as part of the teaching curriculum | Photo: Samuel Walther

PROJEKTARBEITEN | PROJECT WORKS

Studienjahr 2018/19 | Academic year 2018/19

Im 9. Semester des Diplomstudiengangs bzw. im 3. Semester des Diplom-Aufbaustudiengangs Bauingenieurwesen wird von den Studierenden 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 Studierenden 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.

With the same goal and a similar scope of work, the students work on a so-called "Projektarbeit" (project work) in the 9th semester of the diploma study course or in the 3rd semester of the diploma postgraduate study course in civil engineering.

Selected works are briefly presented below.

Jennifer Hoinka

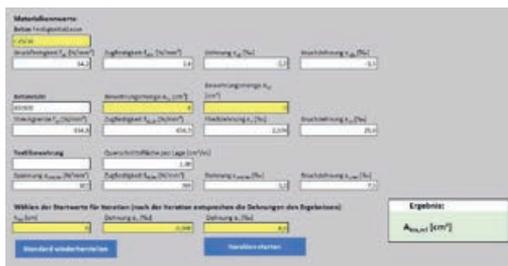
Nachrechnung von carbonbetonverstärkten Plattenquerschnitten
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Egbert Müller,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Das Ziel der Projektarbeit war es, die Eigenschaften von textilbewehrtem Beton vorzustellen und die Möglichkeit zur Biegeverstärkung von Stahlbetonbauteilen unter Verwendung von Textilbeton aufzuzeigen. Textilbeton stellt sich dabei als ein äußerst effizienter Verbundwerkstoff dar.

Zusätzlich wurden die Ergebnisse von Dehnkörperversuchen zur Ermittlung der Zugfestigkeit als wichtige Kenngröße des Verbundwerkstoffes statistisch ausgewertet und beurteilt. Das einaxiale Zugverhalten von Textilbeton unterliegt demzufolge einer Normalverteilung.

Sowohl für carbonbetonverstärkte Stahlbetonplattenquerschnitte als auch für Stahlbetonplattenbalken wurde ein iteratives Biegebemessungstool erstellt. Durch die Anwendung von Rechen- oder Tabellenkalkulationsprogrammen lässt sich die erforderliche textile Bewehrungsfläche gemäß der iterativen Bemessung relativ schnell ermitteln. Durch die Nachrechnung experimenteller Biegeversuche von carbonbetonverstärkten Stahlbetonplatten konnte das vorgestellte iterative Bemessungsmodell für Textilbetonverstärkungen aus der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bestätigt werden.



Eingabemaske für die iterative Biegebemessung von carbonbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen | Grafik: Jennifer Hoinka

Karoline Pohl

Erweiterung eines Bemessungstools für Carbonbetonbauteile im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)
(Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Egbert Müller,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Der Verbundwerkstoff Carbonbeton erfreut sich einer immer häufigeren und breiteren Nutzung. Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit wurden und werden immer mehr Bemessungshilfen erarbeitet. Eine Entwicklung für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) ist ebenso wichtig, da dieser häufig der maßgebende Faktor bei der Festlegung der Geometrie von Carbonbeton-Bauteilen ist.



Carbonbewehrte Π-Platte im Vier-Punkt-Biegeversuch | Foto: Sebastian May

Dem Institut für Massivbau der TU Dresden steht bereits ein Bemessungstool für die Biege- und Querkraftbemessung von verschiedenen Deckenquerschnitten zur Verfügung. Darin wurden Berechnungen für den GZG eingearbeitet, insbesondere die Berechnung von Rissbreiten und -abständen. Die Erweiterung konzentrierte sich auf Carbonbeton-Deckenelemente mit Rechteckquerschnitten. Dafür wurden zwei verschiedene Berechnungsansätze genutzt. In seiner Dissertation „Endverankerung und Übergreifung textiler Bewehrungen in Betonmatrices“ hat sich E. Lorenz mit dem Verbundverhalten von Carbonbeton beschäftigt und ein Berechnungsmodell für die Rissbreiten und -abstände entwickelt. Das zweite Modell stammt aus dem Stahlbetonbau aus

„Bemessung im konstruktiven Betonbau“ von G. Zehetmaier und K. Zilch und wurde mit einigen Anpassungen auf den Textilbeton angewendet. Bei den errechneten Rissbreiten unterscheiden sich die Ergebnisse der Verfahren nur gering voneinander, die Rissabstände werden von Lorenz zutreffender vorausgesagt. Mit vorgeschlagenen Anpassungen könnten die Ergebnisse nach Zilch/Zehetmaier weiter verbessert werden.

Caroline Langkau

Bemessungsvergleich von Deckenplatten aus Carbonbeton und Stahlbeton (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian May,
Dipl.-Ing. Alexander Schumann,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Nicht nur der anhaltend sinkende Preis von Carbon, sondern auch die sehr hohe Resistenz gegenüber angreifender Medien, die geringe Dichte mit gleichzeitig hohen axialen Zugfestigkeiten sowie die gute Verform- und Verarbeitbarkeit machen den Verbundwerkstoff Carbonbeton zu einer vielversprechenden Alternative gegenüber dem Jahrhundertbaustoff Stahlbeton.

Im Rahmen dieser Projektarbeit wurde eine analytische Vergleichsrechnung zweier Deckenplatten aus den beiden unterschiedlichen Verbundmaterialien Stahlbeton und Carbonbeton aufgestellt. Dabei konnten die Einflüsse der Bauteilhöhe, der Materialparameter der Carbonbewehrung sowie der Menge der vorhandenen Bewehrung auf das Bauteil herausgearbeitet werden. Als ein Ergebnis konnte gezeigt werden, dass eine allgemeine Deckenplatte im Hochbau aus Carbonbeton unter vollständiger Auslastung und damit effizientem Einsatz der Bewehrung dünner ausgeführt werden kann, als eine Stahlbetondeckenplatte mit gleichen Verformungen, welche für die Bemessung maßgebend war.

Um die Verformungen eines schlanken Biegebauwerks aus Carbonbeton so gering wie möglich zu halten, ist es sinnvoll, Carbonbewehrungen mit möglichst hohen E-Modulen zu wählen. Die aktuell verfügbaren geringen E-Modulen

können über die Vergrößerung der Bewehrungsfläche bzw. des Querschnitts kompensiert werden. Beide Maßnahmen reduzieren jedoch gleichzeitig das mögliche Maß an Ressourceneinsparung und schöpfen somit nicht das volle Potential des vielversprechenden Werkstoffes Carbon aus.

Niclas Oette

Verstärkung von Spannbetontragwerken mit Carbonbeton (Projektarbeit)

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

Die vielseitige Anwendbarkeit des Verbundwerkstoffes Carbonbeton konnte im Bereich der Verstärkung bestehender Tragwerke schon häufig unter Beweis gestellt werden. Im Gegensatz zur Biegeverstärkung von Stahlbetontragwerken mit Carbonbeton liegen aktuell jedoch keinerlei Erfahrungswerte im Hinblick auf die Biegeverstärkung von Spannbetonbauteilen mit Carbonbeton vor. Die Bauweisen Stahl- und Spannbeton unterscheiden sich hinsichtlich des Dehnungszustands und des Rissverhaltens grundlegend. Die Auswirkungen, die sich dementsprechend auf die Biegeverstärkung aus Carbonbeton ergeben, sind bisher weitestgehend unbekannt.



Spannbetonplatte mit Biegeverstärkung aus Carbonbeton im Vier-Punkt-Biegeversuch | Foto: Niclas Oette

Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Projektarbeit erste Versuche an mit Carbonbeton biegeverstärkten Spannbetonplatten durchgeführt und somit mögliche Unterschiede zum Verstärken von Stahlbetontragwerken aufgezeigt. Durch die Auswertung der Ver-

suchsreihe konnte die Anwendbarkeit der Verstärkungsmethode an Spannbetragwerken analysiert, dokumentiert und nachgewiesen werden. So lassen sich mit einer einlagigen Carbonbetonverstärkung bei Stahl- und Spannbetragwerken ähnliche Bruchlaststeigerungen erzielen. Neben umfangreichen theoretischen Betrachtungen konnte die Eignung eines bereits bestehenden Bemessungsmodells für biegeverstärkte Stahlbetonplatten auch für die Dimensionierung von mit Carbonbeton biegeverstärkten Spannbetonplatten geprüft und nachgewiesen werden, nachdem der Spannstahl sowie die fiktive negative Vordehnung des Textils integriert wurden.

Katharina Kalb

Aufstockung der Wohnungsbauserie 70-10,80 (Projektarbeit)

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

In Zeiten des Zuzuges in Ballungsgebiete wird die Schaffung von neuem günstigem Wohnraum immer wichtiger. Als Lösung dieses Problems wird in der Projektarbeit untersucht, ob eine Aufstockung auf den meistgebauten Plattenbautyp der DDR, die Wohnungsbauserie (WBS) 70, möglich ist. Da die WBS 70 einheitlich als Querwandsystem gebaut worden ist, bietet sich hier beinahe eine Universallösung zur Aufstockung an.

Anhand eines Beispielobjektes in Dresden wurden hierfür die nahezu unbewehrten Wände und Fundamente statisch nachge-



Aufstockung der Wohnungsbauserie 70 um zwei Geschosse |
Grafik: Katharina Kalb

wiesen. Dabei stellt sich heraus, dass die WBS 70 äußerst materialsparend bemessen wurden und Verstärkungsmaßnahmen an Kellerwänden und Fundamenten nötig sind. Auch die Tragfähigkeit der ehemals obersten Geschossdecke konnte aufgrund fehlender Unterlagen nicht nachgewiesen werden, so dass zusätzlich neue Deckenplatten einzubringen sind.

Mit Hilfe zusätzlicher Stahlstützen und Fundamentinjektionen kann eine zweistöckige Aufstockung in Holzrahmen- oder Stahlleichtbauweise ermöglicht werden. Die Leichtbauweisen erweisen sich hier mit allerlei Vorteilen – vor allem den geringen Eigenlasten – massiven Baustoffen überlegen.

Elisabeth Wetzel

Untersuchung des Schwingverhaltens einer Spannbeton-Eisenbahnbrücke unter der Einwirkung eines Hochgeschwindigkeitszuges (Projektarbeit)

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

Das Schwingverhalten einer Spannbeton-Eisenbahnbrücke wurde unter der Einwirkung eines Hochgeschwindigkeitszuges untersucht. Als statisches System war ein Dreifeldträger mit einer Gesamtlänge von 100 m vorgegeben. Ausgehend von einer Literaturrecherche zu derzeit eingesetzten Hochgeschwindigkeitszügen wurde ein Lastmodell erarbeitet, welches einen für Deutschland typischen ICE 3 simuliert. Unter Verwendung des bereitgestellten Berechnungsprogramms ConFem wurden die quasi-statischen Schnittgrößen für einen gewählten Plattenbalkenquerschnitt infolge einer Zugüberfahrt ermittelt. Damit erfolgte die Vorbemessung des Spannbetonquerschnittes nach den geltenden Normen. Im Folgenden wurden die dynamischen Reaktionen des Tragwerkes mit Hilfe von ConFem für verschiedene Überfahrtsgeschwindigkeiten ermittelt.

Die Auswertung der dynamischen Berechnungsergebnisse zeigt, dass für das gewählte statische System in Verbindung mit der gewählten vorgespannten Querschnittsgeo-

metrie eine relativ geringe dynamische Antwort des Tragsystems infolge der Belastung durch einen Hochgeschwindigkeitszug hervorgerufen wird. Zusammenfassend lässt sich für den Entwurf einer Eisenbahnbrücke für Hochgeschwindigkeitszüge ableiten, dass die Schwingungsanfälligkeit durch den Einsatz einer mehrfeldrigen vorgespannten Konstruktion mit verkürzten Randfeldern maßgebend reduziert wird.

Markus Langer

Neubau der Straßenmeisterei in Werdau/Sachsen

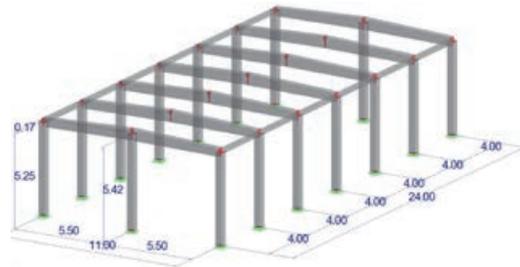
(Projektarbeit)

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

Für die Hallen eines Straßenmeistereibetriebes waren Tragwerkslösungen zu entwerfen. Der Schwerpunkt lag dabei weniger auf dem kreativ gestalteten Entwurf, als auf der Entwicklung konstruktiv geeigneter und kostengünstiger Lösungen. Für eine Fahrzeug- und Gerätehalle wurde die Planung exemplarisch bis zur Erstellung von Ausführungsplänen einzelner Bauteile durchgeführt. Angedacht ist die Verwendung von Fertigteilen für Stützen und Binder, welche für die geplante Anwendung optimiert wurden.

Darüber hinaus wurde die Nachhaltigkeit dieser Halle betrachtet, wobei der Schwerpunkt auf der Ökobilanz lag. Als Referenz diente die Bauweise mit Stahlbeton-Fertigteilen und als Varianten wurden je eine Konstruktion in Holz- und Stahlbauweise entwickelt. Für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Gebäuden ist der gesamte Lebenszyklus zu betrachten, wobei dem Herstellungsprozess die größten Umweltwirkungen zuzuschreiben sind. So verbraucht z. B. der Prozess „Betonage“ neben den Ausgangsstoffen auch Energie und es entstehen zusätzlich zu den Bauteilen unter anderem Kohlendioxid, Sickerstoffe und Schmutzwasser.

Zur quantitativen Beurteilung der Bauweisen kann auf sogenannte Umweltproduktdeklarationen für die Herstellungsprozesse zurückgegriffen werden. Es ließ sich feststellen, dass aus der Stahlbauweise mit ca. 130 % die größten Umweltwirkungen resultieren, gefolgt von der Referenzbauweise in Stahlbeton mit 100 % und der Holzbauweise mit ca. 40 %.



Modell der Fahrzeug- und Gerätehalle in Stahlbeton-Fertigteilbauweise | Grafik: Markus Langer

Liste aller weiteren Projektarbeiten

Student*in	Betreuer*in		Titel der Projektarbeit
Guder, Tobias	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Sebastian May	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Genehmigungs- und Ausführungsplanung für ein Sportgebäude in Schwerin mit Variantenuntersuchung der Dachkonstruktion
Kastner, Jan	Dipl.-Ing. Egbert Müller	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwicklung eines Schnelltests zur Bestimmung der Verbundeigenschaften von Carbonbeton
Klett, Heide	Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Genehmigungs- und Ausführungsplanung für ein Sportgebäude in Schwerin mit Variantenuntersuchung der Dachkonstruktion
Kopec, Alexander	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	3D Druck von Beton – Potenziale und Anwendungen
Lippmann, Marvin	Dipl.-Ing. Kristina Farwig, Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. Andreas Braun (IBK Ingenieure Braun + Kluger Partnerschaft)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Variantenstudie an Deckenkonstruktionen zur Sanierung des Silbermannmuseums in Frauenstein
Matz, Frauke	Dipl.-Ing. Jakob Bochmann, Dipl.-Ing. Christian Kühner (Wetzel & von Seht, Hamburg)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Umbau des Blockhauses Dresden
Rätsch, Julia	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Alexander Schumann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Theoretische und praktische Untersuchungen zur Verbundfuge und zur Haftzugfestigkeit von carbonbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen
Schipka, Philipp	Dr.-Ing. Harald Michler	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Textilbetonlösungen im Denkmalschutz
Schuster, Greta	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dr.-Ing. Steffen Schröder (CBing), Benito Böhnisch (Sachsenforst)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf und Bemessung modularer Brückenüberbauten für Wirtschaftswege aus Carbonbeton
Zimmermann, Felix	Dipl.-Ing. Juliane Wagner, Dipl.-Ing. Kristina Farwig, Dipl.-Ing. Michael Koban (Inros Lackner SE, Dresden)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Holz-Beton-Verbunddecken mit Carbonbeton
Schulte, Eike	Dipl.-Ing. Daniel Karl	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Nachrechnung einer Mauerwerks-Eisenbahnbrücke am Beispiel des Himbächel-Viadukts
Gantzckow, Florian	Dipl.-Ing. Melchior Deutscher	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Erstellung eines Fiktiventwurfes für die Erneuerung des Bestandsbauwerkes des Eisenbahnüberführungsbauwerkes EÜ km 4,682 auf der Strecke Merseburg – Halle/Nietleben
Neumann, Christian	Dipl.-Ing. Karoline Holz, Dipl.-Ing. Juliane Wagner	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf eines Schalentragwerks aus Carbonbeton

Lejla Voloder**Comparative design of pre-tensioned precast elements with prestressing steel and carbon**
(Project work)

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

The mechanical behaviour of Fibre reinforced polymer (FRP) reinforcement differs from that of conventional steel reinforcement. Accordingly, a change in the design philosophy is needed. FRP materials are anisotropic and are characterized by high tensile strength only in the direction of the reinforcing fibres. This behaviour affects the shear strength and dowel action of FRP bars as well as the bond performance. Furthermore, FRP materials do not yield, rather, they behave elastically until failure. Design procedures must account for a lack of ductility in structural concrete members reinforced with FRP bars. The project work compared the design approach between a pre-tensioned precast element with conventional prestressing steel and one with Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) reinforcement based on guidelines of existing codes.

One key advantage of CFRP reinforcement is that it has a significant reduction of prestress losses, in comparison to prestressing steel, due to the relaxation properties of CFRP.

In bending design, the full design tensile strength of CFRP reinforcement was exploited, while strains in concrete were much lower than the limiting value of 3.5‰. Despite the fact, that CFRP reinforcement is not sensitive to corrosion, all the available codes limit the tensile stresses in concrete under serviceability loads, in order to provide acceptable deformability of the construction elements.

According to the ACI code, results of shear design indicate that the CFRP properties are poorly used because the reinforcement tensile stress is limited to $0.002 E_f$, where E_f is the elasticity modulus of FRP reinforcement. According to the CNR code, the FRP stirrups requirements are lower, even though the code itself does not consider the positive effects of prestress.

Margarita Kondrakhina**Comparative design of pre-tensioned precast elements with prestressing steel and carbon**
(Project work)

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

Reinforced concrete elements subjected to bending are often prestressed to gain a better serviceability limit state performance. In this study, conventional high-strength prestressing steel was compared with carbon fibre-reinforced polymer reinforcement (CFRP) in terms of material consumption and costs, which included analysis of the material properties and the design codes, in combination with the implemented case studies calculations.



Precast elements with prestressing steel | Photo: Hentschke Bau GmbH, Bautzen

ULS governs the design of CFRP concrete. Design procedure starts from defining flexural reinforcement needed to guarantee load-bearing capacity under ultimate limit state load combination. For the steel prestressing case, the required amount of reinforcement needed for SLS and ULS is approximately the same.

The required amount of CFRP longitudinal reinforcement is highly dependent on the ma-

terial partial safety factor (depending on the Building Codes applied), resulting on variations of up to 20% material demand among the different design codes.

The required area of CFRP strands is an average 10% lower than that of steel reinforcement. For CFRP concrete, the prestress level can be reduced because the amount of longitudinal reinforcement is greater than what is needed to meet the SLS limits. The average prestress

value applied to the strands was found to be limited to 30–50% of its ultimate strength.

CFRP strands are significantly more expensive in comparison with steel strands (about 20 times), which leads to uneconomical design results. Also, in combination with CFRP prestressed concrete, non-prestressed CFRP reinforcement was found to be used inefficiently. Overall, the slight savings of material results in a minor gain in the estimation of the cost.

DIPLOMARBEITEN | *MASTER'S THESES*

Studienjahr 2018/19 | *Academic year 2018/19*

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.

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.



Erfolgreiche Verteidigung der Masterarbeit von Clara Baby Mangalath, v.l.n.r. Ulrich Häußler-Combe und Tino Kühn | *Photo: Marcus Hering*

Lena Leicht

Untersuchungen zur Spanngliedverankerung von nachträglich extern vorgespannten Spannbetonträgern

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Mosig, Carin Roberts-Wollmann Ph.D, Matthew H. Hebdon Ph.D. (beide Virginia Polytechnic Institute and State University), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Eine vorgespannte Brücke, deren Spannglieder durch Chloride korrodiert sind, soll instand gesetzt werden. Da die betrachtete Brücke, der Hampton Roads Bridge-Tunnel (Virginia, USA), nicht nur Tausalzen, sondern auch Chloriden aus Meerwasser ausgesetzt ist, ist diese besonders anfällig für Spanngliedkorrosion.

Die Verstärkungsmaßnahme, die den Schwerpunkt der Arbeit bildet, ist die externe Vorspannung. Die Wirksamkeit sollte an einem Versuchsträger nachgewiesen werden. Es wurden Handrechnungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit durchgeführt, der Vorspannprozess messtechnisch überwacht und zuletzt ein Vier-Punkt-Biegeversuch im Thomas M. Murray Structures Laboratory der Virginia Tech durchgeführt. Parallel erfolgten linear elastische sowie nichtlineare FE-Berechnungen mit dem Programm Abaqus. Die Ankerblöcke werden zur externen Vorspannung am bestehenden Träger befestigt und dienen der Einleitung der Spannkraft. Aufgrund der vielen Effekte, die in der Ankerregion zusammenwirken, ist dieser Bereich sehr stark beansprucht und es treten komplexe Kraftpfade auf. Publikationen anderer Autoren und die Herleitung von Fachwerkmodellen halfen dabei, den Kraftfluss zu verstehen und mögliche Probleme in diesem Bereich zu erkennen. Während des Spannvorgangs verhält sich der Träger weitgehend linear elastisch, aber während des Belastungstests stellen sich die in der Handrechnung prognostizierten Punkte als kritisch dar. Der Träger versagt schlagartig aufgrund hoher Querkräfte in der Nähe des Auflagers, da die externe Vorspannung nur als Biege-, nicht aber als Schubkraftverstärkung wirkt. Tatsächlich werden die Schubkräfte am Auflager durch die Verankerung der Spannkraft und daraus resultieren-

den Rückhaltekräften sowie Zugkräften infolge der vertikalen Ausbreitung der Spannkraft noch verstärkt. Das Schubversagen wird demnach maßgeblich von der Position der Ankerblöcke beeinflusst. Das nichtlineare FE-Modell trägt zu einer weiteren Analyse der Messdaten bei und zeigt ähnliche Spannungskonzentrationen im Ankerblockbereich wie sie sich aus dem Versuch ergeben.



Querkraftversagen im Bereich der Ankerblöcke für die nachträgliche externe Vorspannung | Foto: Lena Leicht

Greta Schuster

Eine kritische Bewertung der Wirkungsweise der vorhandenen Übergangskonstruktionen bei langen Integralbrücken

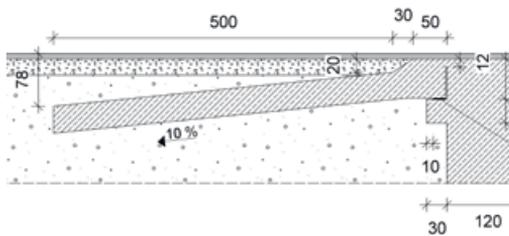
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Jens Tusche, Dipl.-Ing. Dr. techn. Michael Reichel (König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH Leipzig), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Weltweit werden zunehmend lange integrale Brücken wegen ihres geringen Instandhaltungsaufwandes gebaut. Im Übergangsbereich zwischen Bauwerk und Boden werden bei langen Integralbrücken Schleppplatten zur Verteilung der Verformungen angeordnet.

Diese Diplomarbeit befasst sich mit deren Wirkungsweise und vergleicht hierfür die genormten Schleppplattenausführungen der Länder Deutschland, Österreich, Schweiz und Norwegen sowie neue innovative Lösungsvorschläge. Ausgehend von einem Einblick in die integrale Brückenbauweise und die allgemeine Wirkungsweise der Schleppplatte fanden die

Vorstellung und ein erster Vergleich der Konstruktionen anhand der länderspezifischen Richtlinien statt. Die Auswahl der Ausführungstypen für die rechnerischen Untersuchungen und den Vergleich beschränkte sich auf die Platten, die über ein Betongelenk an das Bauwerk angeschlossen sind. Diese Varianten und die maßgeblichen Belastungen wurden im FEM-Programm SOFiSTiK modelliert. Besonderes Augenmerk lag auf der Modellerstellung und der Abbildung der Interaktionen zwischen Bauwerk und Boden. Die Berechnungen fanden auf der Grundlage der Elastizitätstheorie am Scheibenmodell statt.



Schleppplattenausbildung nach Schweizer Norm | Grafik: Greta Schuster

Der Vergleich der Wirkungsweisen der Schleppplatten basiert auf den berechneten Dehnungen der Asphaltoberfläche im Übergangsbereich. Aus den Betrachtungen ging hervor, dass sich die Ausführung des Betongelenkes an der Oberseite der Platte, wie es in der Schweiz ausgeführt wird, positiv auf die Asphaltdehnungen auswirkt. Des Weiteren wirkten sich die Verlängerung sowie die Vergrößerung der Neigung der Schleppplatte positiv auf deren Wirkungsweise aus. Für die sogenannte Ziehharmonikaplatte, wie sie im Rahmen der Arbeit ebenfalls modelliert wurde, bestand ein großes Verbesserungspotential vor allem hinsichtlich des E-Moduls. Die geringsten Asphaltdehnungen entstanden jedoch bei der Ausführung einer Gummibeton-schleppplatte. Daher ist diese beim Bau langer Integralbrücken zu bevorzugen.

Markus Wegner

Vergleichende Bewertung von Erschließungsmodulen für zweigeschossige Hallen (Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Harald Michler,
Dipl.-Ing. (FH) Kevin Suplie (GOLDBECK GmbH),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Aufgrund von Flächenknappheit und mangelnden Grundstücksgrößen werden der Firma GOLDBECK vermehrt Anfragen zur Ausführung zweigeschossiger Hallen gestellt. Diese Hallen sollen in einer standardisierten Systembauweise errichtet werden. Ein wichtiger Bestandteil von mehrgeschossigen Hallen ist die Erschließung der Warenströme zwischen den Geschossen. Dabei kann die Erschließung der oberen Ebene in unterschiedlicher Art und Weise ausgeführt werden.

Um eine projektspezifische Auswahl aus den unterschiedlichen Erschließungsmöglichkeiten zu treffen, wurden Erschließungsmodule für den Paletten-, Stapler- und Container-Transport entwickelt und Erschließungsvarianten wie Säulen- und Scherenhubtische, Aufzugsanlagen sowie Decken- und Brückenlaufkrane miteinander verglichen

Die Erschließungsmodule wurden auf Grundlage der Systembauweise der Hallen, der häufig verwendeten Fördergut-Größen sowie den bau- und betriebstechnischen Anforderungen erstellt. Maßgebende Anforderungen an die Erschließungsvarianten waren der Brandschutz, der Energieverbrauch, die Hubzeit, der Bedien- und Wartungsaufwand, die Auswirkungen auf das Hallentragwerk, die Anpassung der Förderhöhe, die Möglichkeit eines nachträglichen Einbaus sowie der eventuell erforderliche Personentransport. Der Vergleich der Module wurde in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und die Einbindung in das Tragwerk geführt. Ist Personentransport gewünscht, sind nur Aufzugsanlagen zulässig. Ansonsten sind Krananlagen häufig die kostengünstigste Variante. Die Ausbildung der Erschließungsmodule wird maßgeblich durch die brandschutztechnischen Anforderungen nach raumabschließenden, feuerbeständigen und nicht brennbaren Konstruktionselementen geprägt.

Philipp Riegelmann

Untersuchung der Biege- und Querkrafttragfähigkeit von funktionalisiertem Textilbeton (Diplomarbeit)

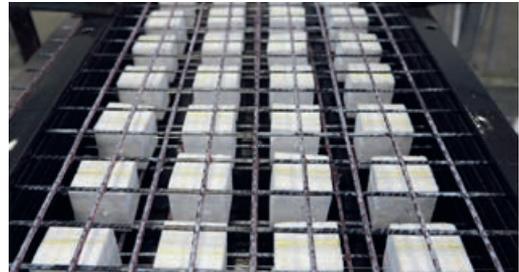
Betreuer: Dipl.-Ing. Dominik Schlüter,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Im Zuge der Herstellung von Fassadenplatten mit integrierten Speichermedien war es Ziel dieser Arbeit, den Einfluss von innerhalb des Betonquerschnitts liegenden Fehlstellen auf das Tragverhalten der Platte zu untersuchen. Vorhandene Berechnungsmodelle für Textilbetonbauteile sollten anhand von Versuchen für die Bemessung von Platten mit integrierten Bauteilen angepasst werden.

Dafür wurden Styroporwürfel in den Betonquerschnitt eingebaut, welche die späteren Energiespeicher darstellen. Um das Aufschwimmen und seitliche Verschieben der Würfel innerhalb der Betonmatrix während der Betonage zu verhindern, wurden diese auf ein Drahtnetz gespannt. Die geprüften Platten unterschieden sich in der Anzahl der Würfel, welche im Querschnitt verbaut wurden. Die Tragfähigkeit von Referenzplatten ohne Würfel wurde dabei mit der von Platten mit drei, vier bzw. fünf nebeneinander liegenden Würfeln verglichen. Der Vergleich der Tragfähigkeiten zeigte sowohl im Fall von Biegeversagen, als auch bei Querkraftversagen, dass die Tragfähigkeit der Platten durch die verbauten Würfel nicht beeinflusst wird. Die Versagenslasten der auf Biegung versagten Prüfkörper deckten sich in allen Fällen mit denen anhand des bestehenden Bemessungsmodells berechneten Versagenslasten. Eine Anpassung des Selbigen war daher nicht notwendig. Im Falle der Querkraftbemessung kam es bei allen Platten zu deutlichen Abweichung der bestehenden Bemessungsmodelle zu den in den Versuchen erzielten Ergebnissen. Die geringe Anzahl der durchgeführten Versuche reichte jedoch nicht aus, um Anpassungen an den bestehenden Modellen vornehmen zu können.

Während die Tragfähigkeit der Platten durch die Würfel nicht beeinflusst wurde, ist in Bezug auf die Erstrissspannung ein deutlicher

Einfluss erkennbar. Als Grund hierfür wird die Kerbspannung gesehen, die aufgrund von Spannungsspitzen an den Würfecken entsteht. Diese sorgt dafür, dass die durch den Beton aufnehmbare Zugspannung schon bei weitaus geringerer Belastung erreicht wird.



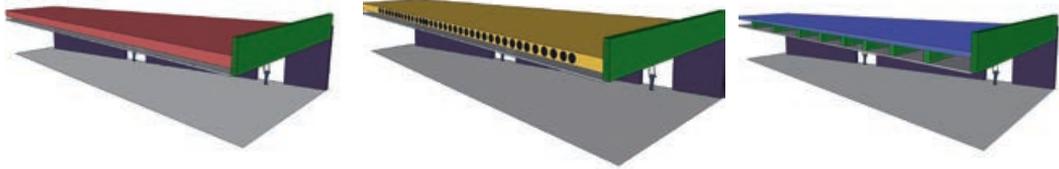
Vorbereitete Schalung mit Carbonbewehrung und Würfelnetz aus Styropor anstelle der Energiespeicher | Foto: Philipp Riegelmann

Daniel Dahinten

Berechnung und Bemessung einer Flachdecke in einem Stahlbetonskelettbau und Vergleich einer Variante mit Vorspannung ohne Verbund (Diplomarbeit)

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

Durch die Arbeit wird die Effektivität und Wirtschaftlichkeit von verbundlos vorgespannten Flachdecken aufgezeigt und der günstig wirkende Einfluss der Spanngliedführung auf das Durchstanzverhalten untersucht. Einführend werden die Geschichte sowie theoretische und normative Grundlagen der Spannbetonbauweise erläutert. Die Dimensionierung und Bemessung des maßgebenden Bereichs der Deckenplatte erfolgt als eine schlaff bewehrte Variante und zum Vergleich mit fünf verbundlos vorgespannten Varianten. Die vorgespannten Varianten unterscheiden sich in der Spanngliedführung im Aufriss und werden gegenübergestellt und bewertet. An allen Varianten werden linear-elastische und nichtlineare Berechnungen im Zustand II des Deckensystems angestellt. Die Vorspannung von Stahlbetondecken mit Monolitzen ohne Verbund in freier Spanngliedlage stellt sich, wie im Vorfeld erwartet,



Vergleich der Deckensysteme Flachdecke, Hohlkörperdecke und Unterzugsdeckensystem | Grafik: Jonas Volmer

als effektivste Variante heraus. Aus einem abschließenden Vergleich und der Bewertung der Deckenvarianten hinsichtlich der Massen- und Kostenkennwerte können Kennwerte für die Kalkulationen in der Entwurfsphase abgeleitet werden. Vorgespannte Deckenplatten ohne Verbundwirkung stellen eine einfache und im Vergleich zur konventionellen schlaff bewehrten Ausführung eine kostenneutrale, wenn nicht sogar kostengünstigere Lösung dar. Dies hängt stark vom individuellen Grundrissystem der Decke ab und bedarf stets einer globalen Betrachtung des Bauwerks und seiner Gründung.

In der Zukunft sollten Anstrengungen unternommen werden, um die „Freie Spannliedlage“ und allgemein die Vorspannung ohne Verbund im Hochbau in Deutschland weiter voranzutreiben. Die Bauweise ermöglicht optimierte Konstruktionen für alle Beteiligten und einen gesellschaftlichen Mehrwert. Dies setzt stets eine interdisziplinäre Zusammenarbeit im Dialog zwischen Architekten, Ingenieuren und Bauunternehmen voraus und bildet die beste Möglichkeit, gestalterisch hochwertige Bauwerke auch wirtschaftlich zu realisieren.

Jonas Volmer

Neubau einer Stadtbibliothek in Jena – Tragwerksentwurf und Variantenuntersuchung (Diplomarbeit)

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

In zentraler Lage am Engelplatz in der thüringischen Stadt Jena soll ein Neubau entstehen, der die Stadtbibliothek und den zentralen Bürgerservice vereint. Ziel dieser Arbeit ist es eine Variantenuntersuchung verschiedener Deckensysteme unter gleichen Objektbedingungen anzustellen und abschließend einen Vorschlag für ein geeignetes Deckensystem abzugeben. Die drei untersuchten Deckensysteme sind eine Flachdecke, eine Hohlkörperdecke in Ortbetonbauweise und ein Unterzugsdeckensystem. Wichtige Größen bei der Bemessung sind die Verformungen der Bauteile und das Querkrafttragverhalten besonders im Hinblick auf das Durchstanzen.

Auf Grundlage der statischen Bemessung und Dimensionierung der Tragwerkelemente kann eine wirtschaftliche Betrachtung der Deckensysteme angestellt werden, welche ergibt, dass die Preisunterschiede eher marginal sind und daher vor allem „weiche Faktoren“ wie die Flexibilität und Nachhaltigkeit einer Bauweise, die Möglichkeit der Trassenführung von Haustechnik, die bauphysikalische Qualität oder die Folge- und Entsorgungskosten für die Wahl des Deckensystems entscheidend sind. Letztendlich wird eine Empfehlung unter Abwägung aller Aspekte für die Hohlkörperdecke ausgesprochen.

Weitere betrachtete Aspekte des Tragwerks im Zuge dieser Arbeit sind die Vordimensionierung der Bodenplatte unter Einbeziehung der Auswirkungen der verschiedenen Deckensysteme auf die Gründung, der Nachweis des Aussteifungssystems und die Tragwerksfindung zur Realisierung von Auskragungen im Gebäude.

Johanna Schmidt**Untersuchung alternativer Deckensysteme am Beispiel einer Tiefgarage**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Juliane Wagner,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Für die Tiefgarage eines Mehrfamilienhauses wurden mehrere Deckensysteme entworfen und hinsichtlich ihrer Gewichtseinsparnis gegenüber der konventionellen Stahlbetonbauweise untersucht. Mit der ersten Variante in Spannbetonbauweise wurden durch Vorspannung des Bewehrungsmaterials in den Unterzügen größere Spannweiten realisiert, was zur Anordnung weniger Zwischenaufleger führen sollte. In der zweiten Variante wurde durch die Verwendung von Hohlkörpern der Betonverbrauch an solchen Stellen im Deckensystem minimiert, wo das Material keinen oder nur einen geringen Beitrag zur Tragfähigkeit der Decke leistet. Beide Varianten konnten ihre potentiellen Vorteile aufgrund der Anordnung der aufstehenden Wände nicht voll zur Geltung bringen.

Mit der dritten Variante konnte in der Deckenplatte durch die Verwendung von Textilbeton eine 5 cm geringere Deckenhöhe realisiert werden, was einer Gewichtseinsparung von ca. 20 % entspricht, wobei der Kostenaufwand sich aber annähernd verdoppelte. Für die Unterzüge konnte allerdings keine nennenswerte Materialeinsparung erzielt werden und die Kosten erhöhten sich um das 6-Fache.

Für weiterführende Betrachtungen könnte es interessant sein, die verschiedenen Systeme zu kombinieren. So sind Anwendungsfälle denkbar, bei denen die Deckenplatte aus Textilbeton, die Unterzüge aber aus Stahlbeton gefertigt werden. In diesem Fall müssen konstruktive Lösungen für die Verbundbewehrung sowie den Korrosionsschutz erarbeitet werden. Ebenfalls überlegenswert ist es, Hohlkörper auch in Textilbetondecken anzuwenden. Die Verwendung von Textilbeton erscheint besonders in Bezug auf den Ausbau bereits vorhandener Gebäudestrukturen reizvoll. Es ist anzunehmen, dass bei Anwendungsfällen wie

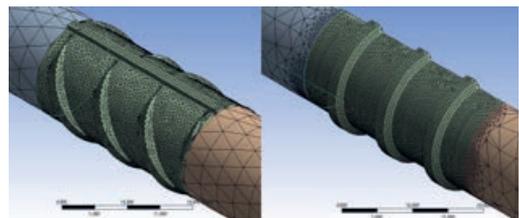
z. B. der Errichtung weiterer Etagen auf bestehenden Gebäuden die Gewichtseinsparungen des (derzeit noch) teureren Werkstoffes eine übergeordnete Rolle spielen.

Peter Betz**Vergleichende Untersuchungen zur Verbundmodellierung von Bewehrungsstahl**
(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Marc Koschemann,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Der Verbund zwischen Bewehrungsstahl und Beton ist essentiell für das Tragverhalten von Stahlbeton und wird anhand von Versuchen mit kurzer Verbundlänge charakterisiert. Die Verbundspannungsverteilung entlang der Verbundlänge sowie die Sensibilität des Verbundverhaltens hinsichtlich verschiedener Einflussparameter wurden in dieser Diplomarbeit mithilfe eines Finiten-Elemente-Modells in dem Programm ANSYS untersucht.

Derartige Simulationen finden zunehmend neben den Laborversuchen zur Kosten- und Zeitersparnis und zur Reduzierung der Störeinflüsse auf die Untersuchungsergebnisse statt. In der Auswertung wird dabei jedoch meist der Ansatz einer über die Verbundlänge konstanten Verbundspannung gewählt. Für die Überprüfung dieser These wurden Untersuchungen an einer detaillierten geometrischen Abbildung der Verbundzone sowie einer vereinfachten rotationssymmetrischen Darstellung der Rippen mit einer erheblich geringeren Rechenleistung angestellt. Da es vor allem um qualitative Aussagen ging, wurden die Simulationen vor-



Unterschiedlicher Detaillierungsgrad bei der Modellierung der Verbundzone | Grafik: Peter Betz

wiegend mit einem numerisch einfacheren linearen Materialmodell durchgeführt.

Die Verbundspannungsverteilung wurde zum einen ermittelt aus den Stahldehnungen entlang der Verbundlänge, aus denen die Kräfte in den einzelnen Abschnitten der Verbundzone abgeleitet werden können. Zum anderen wurde betrachtet, wie sich die Kraftübertragung zwischen den Druckkräften vor den Rippen und den Reibungskräften in den Bereichen zwischen den Rippen bei zunehmender Auszugslast umverteilt. Bei der Auswertung konnte eine über die Verbundlänge variierende bzw. im Mittel abnehmende Verbundspannung erkannt werden. Die Spannungsverteilungen zeigten außerdem eine starke Abhängigkeit von der Anordnung und Geometrie der Rippen. Diese Konzepte zur Dehnungsermittlung gilt es noch weiter zu verfeinern, um die Genauigkeit der Ergebnisse zu erhöhen und darauf aufbauend die Umverteilung der Kräfte bei nichtlinearem Materialverhalten, also bei einsetzender Rissbildung, genauer zu betrachten.

Felicitas Schorcht

Analyse des Bestandstragwerks des Beyer-Baus der TU Dresden

(Diplomarbeit)

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

Der Beyer-Bau, mit seinem prägnanten Turm Wahrzeichen der TU Dresden und zusätzlich der Stadt Dresden, diente seit seiner Errichtung im Jahr 1913 bis heute als Ausbildungsstätte künftiger Bauingenieure. Dabei handelt es sich beim Beyer-Bau um ein in monolithischer Bauweise errichtetes Massivbauwerk, dessen Deckenkonstruktionen vorwiegend als Plattenbalkendecken in Stahlbeton ausgeführt sind. In Bezug auf heutige Bemessungsgrundsätze weisen die Deckenkonstruktionen, die damals wenig standardisiert ausgeführt worden sind, sehr dünne Deckenspiegel sowie einen geringen Bewehrungsgehalt auf.

Im Rahmen geplanter Sanierungsmaßnahmen, die nach über einhundertjähriger Nutzung unabdingbar für das Bauwerk sind, war festzustellen, dass die Bewehrungszeichnungen

als verloren gelten. Auf Grundlage der zur Errichtungszeit des Beyer-Baus maßgebenden Regeln der Bewehrungsführung gelang es unter Zuhilfenahme von Bewehrungsplänen geeigneter Vergleichsbauwerke sowie unter Berücksichtigung der Bestandsstatik, die statisch-baukonstruktive Planung ausgewählter Deckenkonstruktionen des Beyer-Baus zu rekonstruieren. Weiterhin wurde anhand der vorliegenden, originalen Bestandsstatik von 1912 das angewandte Bemessungsverfahren des Beyer-Baus zurückverfolgt. Unter Kenntnis der damaligen Lastannahmen- und Schnittgrößenermittlung konnte der Lastabtrag für ausgewählte Deckenkonstruktionen überprüft werden. Im anschließenden Vergleich zu heutigen Lastannahmen und Bemessungsregeln zeigt



Sichtung historischer Unterlagen zum Bau des Beyer-Baus |
Foto: Stefan Gröschel

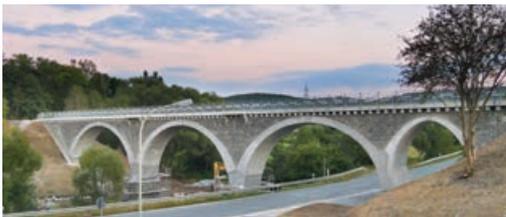
sich, dass auch unter aktuellen Erfordernissen die Tragfähigkeit einiger der im Rahmen dieser Arbeit ausgewählten Deckenkonstruktionen sichergestellt werden kann. Bei den im Rahmen der untersuchten Deckenkonstruktion als zu verstärkende Deckenfelder identifizierte Bereiche gilt es, Defizite hinsichtlich der Biegetragfähigkeit zu beheben. Die noch heute mehrheitlich bestehende Tragfähigkeit der ausgewählten Deckenkonstruktionen kann durch das damalige, viel vorsichtiger angelegte Sicherheitskonzept begründet werden.

Wiebke Seifert**Globale Herausforderungen des Bauwesens unter dem Gesichtspunkt des Ressourcenverbrauchs**

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Matthias Lieboldt,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Das Bauen spielt eine zentrale Rolle bei der Gestaltung unserer Umwelt. Die Bevölkerungszunahme und der stetig wachsende Bedarf an Wohnraum führen zu einem erhöhten Bauaufkommen und Verbrauch an Ressourcen. Zusätzlich werden während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes CO₂-Emissionen freigesetzt sowie Energie benötigt. Das Bauwesen spielt somit aufgrund des hohen Ressourcenverbrauchs, Energiebedarfs und der CO₂-Freisetzung eine Schlüsselrolle bei der nachhaltigen Entwicklung.



Sanierte Brücke Naila | Foto: Ammar Al-Jamous, Bearbeitung: Stefan Gröschel

Aktuell wird das Bauwesen von einem Baustoff dominiert: Stahlbeton. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde der materielle und energetische Ressourcenverbrauch im deutschen und globalen Betonbau aufgezeigt und schließlich die Einsparpotentiale der Carbonbetonbauweise verdeutlicht. Im Jahr 2017 belief sich die globale Betonproduktion auf 8117 Mio. m³. Zusätzlich wurden 2016 266 Mio. t Betonstahl hergestellt. Die jährlichen CO₂-Emissionen von Stahlbeton belaufen sich auf etwa 9600 Mio. t. Durch die Verwendung von korrosionsbeständiger Carbonbewehrung kann die Betondeckung minimiert und etwa 50 % des Betonmaterials eingespart werden. Carbonbewehrungen sind 24-mal leistungsfähiger und 15-mal teurer als Stahlbewehrungen. Während des Lebenszyklus einer Carbonbewehrung wird 13-mal mehr CO₂ ausgestoßen, aber dafür 24-mal weniger Material verwendet sowie die

Lebensdauer des Bauteils verdoppelt. Der Verein C³ – Carbon Concrete Composite hat das Ziel, in den nächsten zehn Jahren 20 % des Stahlbetons durch Carbonbeton zu ersetzen. Daraus resultiert eine Einsparung von 10 % des Materials und 15 % der CO₂-Emissionen.

Insgesamt bietet der Einsatz von Carbonbeton ein unglaubliches Einsparpotential, sodass die nachhaltige Entwicklung im Betonbau entscheidend vorangetrieben werden kann und zu einem Umdenken im Bauwesen führt, hin zu der Verwirklichung schlanker, leichter und frei formbarer Bauteile mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften.

Susann Werdin**Ingenieurtechnische Bewertung ausgeführter Projekte aus Carbonbeton**

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Matthias Lieboldt,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Aus der Bewertung einer Auswahl bereits durchgeführter Projekte mit Carbonbeton sollten Vorzugsanwendungsfelder dieses Werkstoffes abgeleitet werden. Dazu wurde zunächst eine Übersicht über die aus der Literatur bekannten Textilbetonprojekte erarbeitet, bevor fünf Objekte aus den Bereichen des Neubaus und der Sanierung genauer untersucht wurden. Die jeweils ausgeführten Baumaßnahmen wurden mit einer Alternativlösung verglichen und anhand technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte bewertet. Dabei stellten sich die untersuchten Carbonbetonkonstruktionen als vorteilhaft gegenüber Bauteilen aus Stahlbeton dar. Die ausschlaggebenden Argumente waren die Materialeigenschaften, der konstruktive Vorteil einer geringen Betondeckung sowie Aspekte der Nachhaltigkeit. Demgegenüber standen die hohen Materialkosten sowie ein zusätzlicher Zeit- und Kostenaufwand bei der bauaufsichtlichen Zulassung des Carbon-einsatzes.

Im Ergebnis der Arbeit ließen sich folgende Anwendungsbereiche ableiten: Bei Decken- und

Wandkonstruktionen kann eine Verringerung des Bauvolumens zu einer besseren Ausnutzung der vorhandenen Fläche führen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Decken- und Dachtragwerke mit einer hohen statischen Auslastung zu sanieren, da der zusätzliche Gewichtseintrag infolge dünner Schichtdicken gering ist. Eine Anwendung bei der Sanierung denkmalgeschützter Bauwerke ist sinnvoll, da hier das Wiederherstellen der ursprünglichen Optik ein wesentlicher Aspekt der Baumaßnahme ist. An dieser Stelle überzeugt die Möglichkeit, eine hohe Lastaufnahme bei sehr geringer Auftragsstärke zu realisieren und gleichzeitig die Betonoptik zu bewahren.

Die Wahl des optimalen Baustoffs basiert bei bevorstehenden Projekten immer auf einer Untersuchung der konkreten Randbedingungen. Den Einsatz des Carbonbetons beeinflussen dabei vor allem die zukünftigen Entwicklungen der Kosten für die Textilgelege sowie des Aufwandes für die Zulassung bzw. Zustimmung.

Tom Liebig

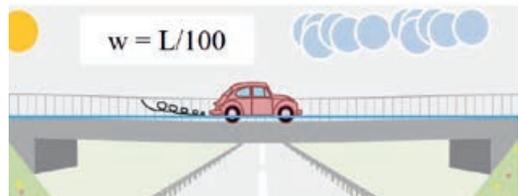
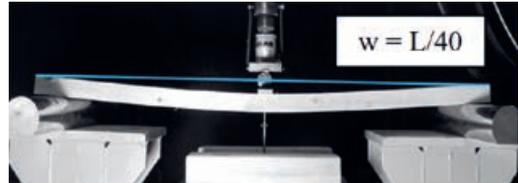
Ankündigungsverhalten von Carbonbetonbauteilen

(Diplomarbeit)

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

Die Diplomarbeit behandelt den Verbundwerkstoff Carbonbeton mit Fokus auf der Versagensankündigung. Carbon ist ein spröder Werkstoff und versagt daher plötzlich. Stahl dagegen kündigt ein Versagen durch große Fließdehnungen frühzeitig an. Normativ ist ein plötzliches Versagen ohne Ankündigung nicht zulässig, da unter anderem die Sicherheit der Bauteilnutzenden gefährdet wird. Genaue Grenzen für eine ausreichende Ankündigung werden nicht definiert, sondern die Dimensionierung der Bauteile so gesteuert, dass einem Bauteilversagen in der Regel ein Fließen der Bewehrung vorangeht. Dieses Konzept ist nicht auf das spröde Carbon übertragbar. Deshalb wurde zunächst ein ausreichendes Ankündigungsverhalten definiert, indem

Bauteilnutzenden die Frage gestellt wurde, ab welcher Verformung sie sich unsicher fühlen. Bei Laborversuchen empfanden die Befragten im Durchschnitt eine Durchbiegung von $L/40$ als kritisch, bei real anmutenden Tragwerken von $L/100$. Das Verhältnis $L/100$ wurde in der Arbeit als Referenz verwendet und stellt einen Vorschlag zur ausreichenden Versagensankündigung dar.



Die von Befragten als ausreichend empfundene Versagensankündigung | Grafik: Tom Liebig

Die Forderung nach Versagensankündigung durch Verformungen und Rissbildung steht in Wechselwirkung zur Gebrauchstauglichkeit, der Art der Konstruktion und der effizienten Ausnutzung des Werkstoffes. Vorgespannte Tragwerke sind eine sinnvolle Art der Konstruktion, um die Gebrauchstauglichkeitskriterien einzuhalten. Eine Vorspannung sorgt jedoch durch geringere mögliche Zusatzdehnungen für ein weniger ausgeprägtes Ankündigungsverhalten. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass Carbonbetonbauteile den verschiedenen Ansprüchen gerecht werden können. Durch eine passende Begrenzung der Vorspannung werden die Gebrauchstauglichkeitskriterien eingehalten und gleichzeitig wird ankündigendes Verhalten unter kritischer Belastung sichergestellt. Abschließend wurden Bemessungshilfen formuliert, mit denen in Abhängigkeit von der Schlankheit der passende Vorspanngrad ermittelt werden kann.

Caroline Langkau

Querkraftuntersuchungen an Stahlbetonbauteilen mit und ohne Carbonbetonverstärkung

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian May,
Dipl.-Ing. Alexander Schumann,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Bauwerke müssen sicher sein! Diese Forderung beruht auf der jahrhundertelangen Entwicklung bei der Errichtung von Bauwerken und ist bis zum heutigen Tag direkter oder indirekter Bestandteil von verschiedenen Gesetzestexten. Um dieses übergeordnete Ziel der Sicherheit zu erreichen, müssen die lastabtragende Wirkung eines jeden Bauteils und der dazugehörige Tragmechanismus ausreichend bekannt sein. Trotz über hundertjähriger Forschung ist das Querkrafttragverhalten von Stahlbetonbauteilen bis heute nicht abschließend geklärt. Beispielhaft können die rechnerisch ermittelten Querkrafttragfähigkeiten gemäß aktuell gültiger nationaler und internationaler Bemessungsgrundlagen für Balken um mehr als den Faktor 2 variieren.

Gegenübergestellt und genauer betrachtet wurden die Bemessungsmodelle sowie die dazugehörigen Grundlagen des Model Code 2010, des aktuell gültigen Eurocodes 2 und einer Entwurfsfassung des zukünftigen Eurocodes 2. Dabei konnte gezeigt werden, dass keins dieser Bemessungsmodelle die im Versuch erzielten Querkrafttragfähigkeiten der betrachteten Stahlbetonbalken mit geringen Querkraftbewehrungsgehalten ausreichend genau wiedergeben konnte. Die Querkrafttragfähigkeit wurde deutlich unterschätzt, hauptsächlich aufgrund des vernachlässigten Betontraganteils.

Durch die vorliegenden Ergebnisse von Bauteilversuchen konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Carbonbeton als Querkraftverstärkung eine deutliche Steigerung der Querkrafttragfähigkeit eines Stahlbetonbauteils hervorrufen kann. Die Verstärkungsschicht bringt ebenfalls den Vorteil eines feineren Rissbildes und kleinerer



Querkraftversagen eines Plattenbalkens mit carbonbetonverstärktem Steg | Foto: Sebastian May

Rissbreiten mit sich. Beides begünstigt sowohl die Dauerhaftigkeit, die Gebrauchstauglichkeit als auch die Tragfähigkeit des Bauteils. Das speziell für Textilbeton entwickelte Ingenieurmodell für die Querkraftverstärkung wurde an den verstärkten Plattenbalken mit Carbonbeton verifiziert. Eine Anpassung der genormten Modelle an Carbonbeton ist jedoch wegen deren unzureichenden mechanischen Hintergründen schwer möglich.

Marcel Lubig

Berechnung und Bemessung einer Atrium-Überdachung

(Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Schumann, Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Wolfgang Keen (WETZEL & von SEHT),
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Aktuell steht der Wissenstransfer und somit die Schnittstelle zwischen der Theorie und der Praxis von Carbonbeton im Fokus. Um das Potential und die Umsetzung von Carbonbeton aufzuzeigen, wurde ein Vergleich zwischen einer konventionellen und einer neuartigen Variante zur Überdachung eines Atriums durchgeführt. Die Konstruktion überdacht das Atrium eines Neubaus der Universität zu Köln. Ausgeführt wird ein Gitterrost, das über 22,89 m mal 23,80 m spannt. Da dem Atrium, als Haupteingang in den Gebäudekomplex, repräsentative und multifunktionale Aufgaben zukommen, sind die architektonischen Anforderungen besonders hoch. Die zu optimierenden Parameter, die für die Überdachung untersucht wurden, beziehen sich maßgeblich auf die Bewehrung. So wurden für die konventionelle Variante schlaufe und vorgespante Stahlbewehrung untersucht. Bei

der neuartigen Variante wurden textile Bewehrungen aus Aramid, alkaliresistentem Glas, Basalt und Carbon untersucht. Die Anwendungsarten der textilen Bewehrung erstreckten sich auf schlaffe und vorgespannte Bewehrung sowie zusätzlich auf den Einsatz von Kurzfasern zur Bewehrung. Die ausgewählten Varianten aus Spannbeton und Carbonbeton wurden anschließend vollumfänglich dimensioniert. Hierbei wurden die Aspekte Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Brandschutz, Herstellbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit betrachtet. Das Ergebnis ist, dass unter den

gegebenen Randbedingungen Carbongelege nicht optimal eingesetzt werden können und daher eine Spannbetonvariante für die Überdachung favorisiert wird. Im abschließenden Schritt wurden Optimierungen aufgezeigt, aus denen hervorgeht, dass Carbonbeton für angepasste Randbedingungen und bei einem optimierten Querschnitt das optimale Material ist. Somit besitzt der Baustoff Carbonbeton ein großes Potential für Neubauten. Die Umsetzung von der Theorie in die Praxis und somit von der Universität in die Unternehmen gilt es in den nächsten Jahren weiter zu forcieren.

Liste aller weiteren Diplomarbeiten

Student*in	Betreuer*in		Titel der Diplomarbeit
Altenburg, Felix	Dipl.-Ing. Melchior Deutscher, Dipl.-Ing. Thomas Schmidt, Dipl.-Ing. Marco Bederitzky (beide SBV GmbH, Büro Stendal)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Anwendung der BIM-Methodik für den Entwurf einer Brücke über die Bahnstrecke Magdeburg-Berlin einschließlich einer Vorbemessung in Form einer Entwurfsstatik
Brachat, Leonie	Dipl.-Ing. Daniel Karl	Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Entwurf eines Gewerbegebäudes unter Berücksichtigung bauphysikalischer Aspekte von Schallschutz, Wärmeschutz und Brandschutz
Dinkelaker, Max	Dipl.-Ing. Sebastian May, Dipl.-Ing. Lorenz Haspel (sbp gmbh)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Untersuchung zu Netzwerkbogenbrücken mit Quervorspannung aus Carbon
Elias, Daniel	Dipl.-Ing. Juliane Wagner	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf einer schlanken Fußgängerbrücke zur Ortenburg in Bautzen
Eysel, Marleen	Dipl.-Ing. Marc Koschemann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Vergleichende Untersuchungen zu Zwangsbeanspruchungen in fugenlosen Hochbaukonstruktionen
Gantzckow, Florian	Dipl.-Ing. Melchior Deutscher, Dipl.-Ing. Thomas Schkade, (WKP Planungsbüro für Bauwesen GmbH, VBI)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Möglichkeit der Verwendung hochfester Betone im Eisenbahnbrückenbau am Beispiel der EU km 53,152 – Deggendorfer Straße in Wallersdorf
Gong, Fenfen	Dipl.-Ing. Melchior Deutscher, Dipl.-Ing. Elke Hering, Dipl.-Ing. Matthias Hänsel (beide DB Engineering & Consulting GmbH)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Projektstudie über mögliche Varianten für einen Gesamt- oder Teilneubau des bestehenden Viaduktes Hegebach Strecke Stollberg-St. Egidien
Grüber, Maximilian	Dipl.-Ing. Marc Koschemann, Dr.-Ing. Markus Wetzels (Wetzels & von Seht)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Zwangsbeanspruchungen in Hochbaukonstruktionen - Ausführung mit Fugen und fugenlose Bauweise im Vergleich
Haas, Leopold	Dipl.-Ing. Oliver Steinbock	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Entwurf einer schlanken Fußgängerbrücke zur Ortenburg in Bautzen
Kalb, Katharina	Dipl.-Ing. Egbert Müller, Dipl.-Ing. (FH) Ralf Penzl (PENZL. Ingenieure Tragwerksplanung GmbH)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Sanierung und Neugestaltung eines Plattenbaus des Typs P2 mit großzügigen Dachterrassen
Pauleck, Niels	Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Marc Koschemann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Optimierung von Stahlbetonbauteilen: Verknüpfung von baubetrieblichen Aspekten und ressourcenschonender Tragwerksplanung bei Fertigteilen
Rathsack, Oliver	Dr.-Ing. Frank Schladitz	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Thermische Vorspannung von Beton
Schuster, Karl-Heinz	Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Marc Koschemann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Anwendung der WU-Richtlinie bei auftriebsgesicherten Tragwerken im dauerhaft drückenden Wasser
Schuster, Siegbert	Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Marc Koschemann	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Anwendung der WU-Richtlinie bei großflächigen Tragwerken in der Wasserwechselzone
Zimmermann, Felix	Dipl.-Ing. Kristina Farwig, Dipl.-Ing. Michael Koban (Staatsministerium des Inneren)	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach	Verbindung von Brettspertholz-Wandkonstruktionen mit Carbonbeton

Clara Baby Mangalath

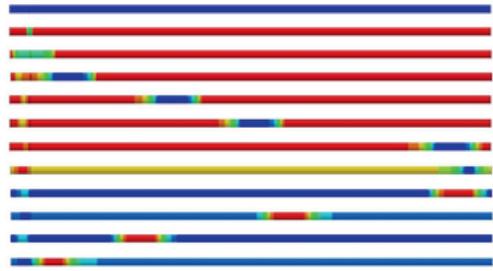
Numerical study of special issues in the Split-Hopkinson Bar experiment (Master's thesis)

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

The Split-Hopkinson Pressure Bar experiment is one of the most commonly used tests to characterize the mechanical response of specimens under high strain rates. The theoretical basis of this experiment is based on the assumption of one-dimensional wave theory. Dealing with this theory in an experimental or numerical way, one might observe several mistakes or variation which are often summarized as dispersion. To analyze such a phenomenon, a numerical study on the interaction of striker and incident bar was done which revealed much more details which were not accounted for before. The explanations with rigid body and elastic body assumptions were seen to have a major effect on the model behaviour. High influences of several parameters were seen to affect the shape of the incident wave. A lack of wave speed and incomparable loading time was as well observed. Negligence of Poisson's ratio resulted in incorrect calculation of strain values and in turn affected kinetic energy as well. The effect of frictional effects was not reflected in stress values and calls for further study in this area. Various material properties were also seen to affect variations in results. Most of these results call for further detailed investigations. Also, results of numerical investigation of the interaction between the incident bar and specimen and the interaction between specimen and incident bar are required for proper understanding and affirmation of various effects caused.

This research work was limited to the interaction between the striker and the incident bar. Further work is required to extend the investigation to both incident bar-specimen interaction and specimen transmission bar interaction. The study of these interactions has to be done independently for the standard compression, spallation and Brazilian test respectively. This is because the alignment of the specimen affects

the incident bar-specimen interaction and the specimen-transmission bar interactions.



Stress wave propagation inside incident bar on striker impact |
Graphic: Clara Baby Mangalath

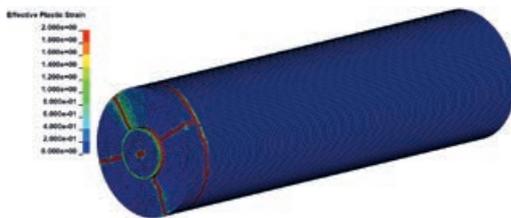
Mehmet Emre Ünal

Numerical investigation of bond test based on dynamic spallation (Master's thesis)

Supervisors: M.Eng. Petr Máca Ph.D.,
Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Reinforced concrete (RC) structures which consist of concrete and steel bars are subjected to extreme dynamic loadings like impacts, earthquakes or explosions. Although the material properties of the concrete and the steel play an important role on the behaviour of the structure under these loads, the load transfer mechanisms which are dependent on the bond between the concrete and the steel should be guaranteed. The bond is an important topic that the researches have been studying since the early 1900s. Throughout the years, many different test set-ups have been designed by engineers to investigate the bond. While many of these test set-ups are suitable for the quasi-static conditions, for dynamic loadings a new test configuration should be introduced. The main goal of this master's thesis is to numerically investigate the bond behaviour based on the dynamic spallation test by using a split-Hopkinson bar under impact loading with the help of the Finite Element software called LS-Dyna. More than thirty models were successfully created during the generation of the thesis. Simplified models were used to understand the basics of wave propagation. To this end, different Poisson's ratios, different

contact laws and different material models were used. Afterwards, detailed models, mainly the Karagozian & Case Concrete and Winfrith material models of LS-Dyna were used. By using different impactor velocities and different numerical approaches, the behaviour of the bond for this specific test type was investigated. Results showed that although different material models prompt to highly different responses in terms of the damage occurring in the specimen, the bond strength and the slip values could be calculated by using the accelerations of the specimen and the relative displacements between the concrete and the reinforcement respectively.



Effective plastic strains in simulation specimens | Graphic: Mehmet Emre Unal

Faton Bina

Bearing capacity of layered concrete beams (Master's thesis)

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

The aim of the Master's Thesis was to evaluate the suitability of both mechanical and empirical calculation approaches to determine the resistance of a layered concrete slab. The focus was on the shear resistance of cracked reinforced concrete slabs without shear reinforcement and without flexural compression reinforcement. First, newly developed mechanical and empirical models for the flexural, flexural-shear and interface-shear resistance of multi-layered slabs are introduced. It is interesting to observe that despite the fact that the different mechanical models predict similar flexural-shear resistances, they are not necessarily in agreement on the governing shear resistance action carrying the load (or

their relative significance). A potential reason for this disagreement is grounded on the fact that the mechanical models are usually based on the interpretation of a crack pattern after failure or based on measured kinematics before it happens.



Typical crack patterns observed during experimental testing | Photo: Michael Frenzel

As part of the Priority Programme SPP 1542 "Concrete light", studies were carried out to evaluate the use of layered steel reinforced concrete slabs for the field of building construction. For this purpose, 18 three-layered slabs with two different material combinations were produced and loaded until failure, for which various ultimate loads and failure modes were identified. In the second part of this Master's Thesis, the experimentally obtained results during the SPP 1542 were further compared to the calculated values.

Finally, a comparison of the experimental analysis of the multi-layered reinforced slabs without shear reinforcement with the mechanical and empirical models developed for the flexural, flexural-shear and interface-shear resistance is done, to determine the suitability of the calculation approaches for both types of models. Provisions by ACI, Model Code 2010 and EC 2 were also compared. In most cases, it was found that the latter two always give lower values for the interface-shear resistance, leading to an underestimation of the interface-shear resistance of the slabs. A similar situation was observed also for the mechanical model of the interface-shear resistance obtained from the Mohr coulomb failure criteria with the consideration of the experimentally determined data.

List of all other Master's Theses

Student	Supervisors	Title of the Master's Thesis
Bhattacharjee, Abhirup	M.Eng. Petr Máca Ph.D. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	Numerical modelling of a reinforced concrete beam under impact loading with focus on bond strength
Dhruv, Chandrika	Dipl.-Math. Dirk S. Reischl, Dr.-Ing. Birgit Beckmann Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi	A discrete Element Approach to Shock Wave Propagation and Spall Fracture
Gupta, Shivendra Niwas	Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Dipl.-Ing. Markus Reypka, Mircea Olaru M.Sc. (both GRE – Gauff Rail Engineering GmbH & Co. KG) Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe	Development of a digital BIM catalogue based on the structural analysis and design for a given section of railway bridges spanning from 6 m to 25 m using Autodesk Revit and Sofistik

BRÜCKENBAUExKURSION 2019

Süddeutschland und das Brückeneldorado in den Alpen

Endlich wieder Exkursion! 13 interessierte Studierende des Bauingenieurwesens fanden sich in diesem warmen August zusammen, um an der etwas anderen Exkursionsreihe teilzunehmen. In den Jahren zuvor standen die Brücken rund um die Ostsee bzw. die Brücken des Rhein-Ruhr-Gebietes bis hin zur Nordsee im Mittelpunkt. Diesmal verschlug es die Reisegruppe in den Süden unserer Republik und in die beeindruckende Bergwelt der Schweiz.

Bereits am ersten Tag stand mit dem Besuch der Brücke Heidingsfeld ein großes Highlight auf dem Programm. Die Verbundbrücke im Zuge der BAB 3 befindet sich aktuell noch im Vorschub zwischen Nonnenberg und Katzenbergtunnel, der ebenfalls in Augenschein genommen wurde. Nach einem ersten Einkauf, der die Grundversorgung sicherstellte, bezogen die Studierenden einen Zeltplatz nahe Heilbronn, um am nächsten Tag zwei weitere interessante Baustellen besichti-



Neubau der Brücke Heidingsfeld im Zuge der BAB 3 | Foto: Oliver Steinbock

gen zu können. Am folgenden Vormittag schauten wir uns die Gesamtmaßnahme AS Wiesloch/Rauenberg–AK Weinsberg im Zuge der BAB 6 an. Neben dem Highlight der neuen Neckartalbrücke konnten die Abbrucharbeiten an der alten Neckartalbrücke in Augenschein genommen werden und kleinere Brückenbauwerke im Zuge des Ersatzneubaus besichtigt werden. Am Nachmittag stand mit der Neckarbrücke in Stuttgart ein weiteres interessantes

485 m lange Eisenbahnüberführung der Neubaustrecke Wendlingen–Ulm war das Ziel des nächsten Tages. Das integrale Bauwerk wird mit einer Vorschubrüstung ausgeführt und es ergab sich die seltene Gelegenheit, die bereits verlegten Spannglieder des Überbaus zu inspizieren. Erläuterungen zur Konstruktion und den Herausforderungen bei der baulichen Umsetzung schlossen sich im angrenzenden Boßlertunnel an, den



Rückbau der Neckartalbrücke im Zuge der BAB 6 bei Heilbronn | Foto: Oliver Steinbock

Bauwerk auf der Agenda. Das in Stahlverbundbauweise mit markantem Stahlsegel ausgeführte Bauwerk wird im Zuge von Stuttgart 21 umgesetzt.

wir ebenfalls besichtigen durften. Nach einer längeren Autofahrt erreichten wir die Schweiz und bezogen einen Zeltplatz nahe der Viamala-Schlucht.

Bereichert mit vielen Eindrücken aus den ersten beiden Tagen bezogen wir einen Campingplatz nahe des Filstals. Bereits auf dem Weg erhaschten die Studierenden einen ersten Blick auf die im Bau befindliche Filstalbrücke. Diese rund

Ausgeruht und gestärkt begaben wir uns am nächsten Morgen in die Viamala-Schlucht auf die Spuren von Jürg Conzett und Christian Menn. Diese beiden bekannten Bauingenieure zeichnen sich für zahlreiche verschiedene Wander- und Gehwegbrücken, Hängebrücken, Spannbandbrücken und auch Brücken an der BAB 13 verantwortlich (u. a. Traversinasteg). Leicht erschöpft trudelten die Exkursionsteilnehmer nach einer 15 km langen Wanderung am Abend auf dem Zeltplatz ein. Eindrucksvoll in die Berglandschaft eingebettet, erwarteten uns am nächsten Tag mehrere Ikonen des Brückenbaus. Die Salginatobelbrücke, die elegant geschwungene Sunnibergbrücke, die Taminabrücke und das Langwieser Viadukt sind herausragende Ingenieurbauwerke und fast schon architekto-



Gruppenfoto auf der Neckarbrücke in Stuttgart | Foto: Oliver Steinbock

nische Kunstwerke. Unsere nächste Unterkunft in der Nähe von Nürnberg erreichten wir nach dem ausgiebigen Besichtigungsprogramm erst am späten Abend, das nächste Etappenziel lag dann schon in greifbarer Nähe.

Interessante Einblicke bekamen wir am darauffolgenden Tag an der Talbrücke Unterrieden und am Autobahnkreuz Fürth-Erlangen.

Am Sonntag führten die Exkursionsleiter Oliver Steinbock und Philipp Riegelmann



Gruppenfoto auf der Filstalbrücke vor dem Vorschubgerüst | Foto: Oliver Steinbock



Taminabrücke | Foto: Oliver Steinbock

die Studierenden durch die Weltkulturerbestadt Bamberg. Neben fränkischen Bierspezialitäten standen mit dem Gewinner des Brückenbaupreises 2014 (Erba-Steg) noch das Brückentrio (Kettenbrücke, Löwenbrücke und Luitpoldbrücke) über den Rhein-Main-Donaukanal auf dem Programm. Den Abschluss unserer erfolgreichen Exkursion bildete die im Bau befindliche, einseitig abgespannte Schrägkabelbrücke bei Schorgast.

Die Exkursion bot neben einem breit gefächerten Einblick in die Welt des Ingenieurwesens viel Spaß und Erholung.



Schrägkabel vor der Montage für die Schorgasttalbrücke | Foto: Oliver Steinbock



Oben: Langwieser Viadukt der Rhätischen Bahn, unten: Gruppenbild in der Viamala-Schlucht | Fotos: Oliver Steinbock, Julien Pressoir



OTTO-MOHR- LABORATORIUM

*OTTO MOHR
LABORATORY*





4-Punkt-Biegeversuch einer mit EPS gefüllten Hohlkörperdecke aus Carbonbeton | 4 point-bending test of a hollow slab filled with EPS | Photo: Stefan Gröschel

TESTEN AUF HÖCHSTEM NIVEAU

TESTING AT THE HIGHEST LEVEL

Das Otto-Mohr-Laboratorium ist eines der am modernsten und am besten ausgestatteten Versuchseinrichtungen im Bereich des Bauwesens in Sachsen. Bereits vorhandene sowie regelmäßig neu angeschaffte Maschinen und Gerätschaften sowie deren regelmäßige Prüfung und Kalibrierung garantieren einen hohen Standard bei der Prüfung und Versuchsdurchführung, und dies trotz der rasanten Entwicklung des Bausektors. Das Otto-Mohr-Laboratorium besteht als Versuchshalle des konstruktiven Ingenieurbaus seit mittlerweile 40 Jahren, seit 30 Jahren ist es unter dem heutigen Namen bekannt. Das Otto-Mohr-Laboratorium führt neben Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für die Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden – und hier vorrangig für das Institut für Massivbau – als technischer Dienstleister für Firmen und andere Fakultäten unserer Universität, aber auch für auswärtige Forschungseinrichtungen, Prüfungen im Bereich der zerstörungsfreien wie auch der zerstörenden Versuche durch. Darüber hinaus können wir auf langjährige Erfahrungen bei der Untersuchung von Bauwerken im Auftrag

The Otto Mohr Laboratory (OML) is one of Saxony's most modern and best-equipped laboratories in the field of construction. The testing machines and testing equipment are audited and calibrated regularly. Also, a high standard of testing is guaranteed by a steady expansion of the portfolio. The laboratory, as an experimental hall of the constructive engineers at TU Dresden, was established more than 40 years ago. The name 'Otto Mohr Laboratory' exists since nearly 30 years. The OML offers services to all TU Dresden institutions, especially the Institute of Concrete Structures, as well as non-university institutions and companies. The services offered include e. g., destructive and non-destructive examination of building materials or construction components. We have many years of experience in the examination of constructions on behalf of public and private organizations, institutions and associations, companies, engineers and architects, public and private clients and construction industry.

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

Neben üblichen Prüfungen, wie z. B. statische Druck- und Zugversuche an Kleinproben, oder Tests an großen Bauteilen ist das Otto-Mohr-Laboratorium in der Lage, auch ungewöhnliche oder neuartige Prüfbereiche des Bauwesens abzudecken. An dieser Stelle seien beispielhaft die Untersuchung von Baustoffen oder Bauteilen unter Anprall- bzw. Impaktbeanspruchungen und die Schwingungsanalyse an Bauteilen, in Gebäuden oder bei Brückenbauwerken genannt.

Ein Spezialgebiet des Otto-Mohr-Laboratoriums sind gutachterliche Bewertungen anhand von In-situ-Versuchen, z. B. von Stützen, Decken und Wänden in Neu- und Bestandsbauten, von historischen Gebäuden sowie an Brückenbauwerken. Gerade die Untersuchungen an Brücken gewinnen derzeit immer mehr an Bedeutung, da im Zuge der Einführung der Nachrechnungsrichtlinie die Bewertung von Bestandsbrücken mit experimentellen Methoden oder auch die Bewertung hinsichtlich der Gefahr von Spannungsrisskorrosion eine immer größere Rolle spielen.

Versuchsaufbau zur Belastungsprüfung einer Deckenkonstruktion | Set-up construction for a load test of a deck structure | Photo: Sabine Wellner



The range of service includes common tests like static compression and tensile tests on small samples, tests on large-scale components and tests under special loading conditions like multi-axial, cyclic, long-term or impact loading.

As a special field, the Otto Mohr Laboratory carries out expert evaluations based on in-situ tests on, e. g., beams, ceilings, and walls at new, old or historical buildings and bridge structures. Here, we have special knowledge about existing bridges in the context of analysis and implementation of the German recalculation guideline using experimental methods or evaluation concerning the risk of stress corrosion cracking.

Entnahme von Bohrkernen aus einer Stütze | Extraction of a drill core from a column | 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 (selection)*

- Kraft-, Verschiebungs- und Dehnungsmessung inkl. Photogrammetrie
Measurement of forces, displacements, and strains including photogrammetry
- Kriech- und Schwindversuche | *Creep and shrinkage tests*
- Dauerstandversuche | *Long-time tests*
- Bewehrungssuche | *Locating of steel reinforcement*
- (Video-)Endoskopie | *(Video) Endoscopy*

ZERSTÖRENDE MATERIALPRÜFUNG (Auswahl) *DESTRUCTIVE MATERIAL TESTING (selection)*

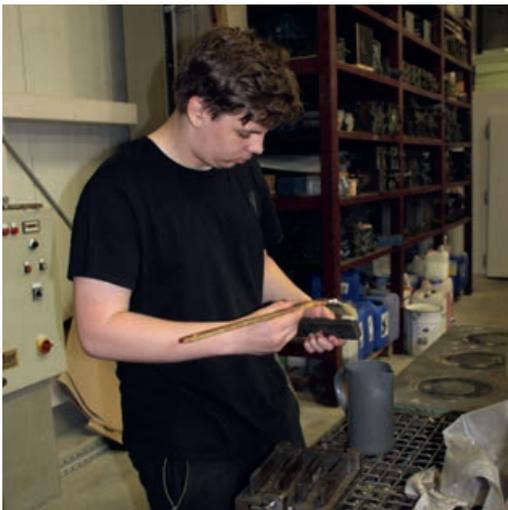
- Tests bei statischer und dynamischer Belastung | *Static and dynamic load tests*
- Ein- und mehraxiale Druck- und Zugfestigkeit
Uni- and multiaxial compression and tensile strength tests
- Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl | *Determination of modulus of elasticity and Poisson's ratio*
- Bruchmechanische Kennwerte | *Properties for fracture mechanics*
- Verbundversuche | *Bond tests*

Dienstleistungen für die Industrie *Service for industrial partners*

- Neuentwicklung von Versuchsaufbauten zur Prüfung von Baustoffen und Bauprodukten
Development of special test set-ups for the testing of building materials and construction products
- Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Technologietransfer
Execution of research and development work, technology transfer

In-Situ-Versuche an Neu- und Bestandsbauten *In-situ tests*

- Planung, Durchführung und gutachterliche Bewertung von experimentellen Tragfähigkeitsanalysen an Neu- und Bestandsbauten | *Planning, execution and expert assessment of experimental load bearing capacity tests on new and existing buildings*
- Bauwerks- und Bauteilprüfungen bei Schadensfällen oder geplanten Umnutzungen
Structural and component tests in case of damage or planned reuse



Auch in diesem Jahr waren 2 Schüler für jeweils ein 2-wöchiges Praktikum bei uns im Otto-Mohr-Laboratorium. Sie konnten an fast allen Arbeitsschritten in unseren Versuchsabläufen, von der Probekörperherstellung bis zur Prüfung von Probekörpern, mitwirken. | *Also in 2019, two students were guests in our Otto Mohr Laboratory for a two-week internship. They were able to participate in almost all steps of our experimental procedures, from sample preparation to the testing of specimens.* | Photos: Kathrin Dietz, Heiko Wachtel

AUSSTATTUNG

EQUIPMENT

Unser Labor verfügt über eine umfangreiche Ausstattung für die Herstellung von Normalbeton und von verschiedensten Sonderbetonen mit und ohne Bewehrung. Eine Holzwerkstatt und eine Metallwerkstatt erlauben zudem die Bearbeitung anderer Werkstoffe.

Aktuell stehen uns ein 126 m² großes Aufspannfeld, eine große Anzahl von Prüfportalen und Prüfzylindern unterschiedlichster Geometrie und Leistungsfähigkeit zwischen 10 kN und 10 MN und verschiedene Spezial-Prüfmaschinen zur Verfügung. Für Bauwerksprüfungen ist eine große Anzahl von Belastungsrahmen vorhanden. Wir verfügen über eine umfangreiche Mess- und Speichertechnik zur Datenerfassung, verschiedenste Messgeräte und Messmittel einschließlich Photogrammetrie und Hochgeschwindigkeitskameras.

Our laboratory has extensive equipment for the production of normal strength concrete and various special concrete types with and without reinforcement. Also, a wood workshop and a metal workshop allow us to work with other materials.

Currently, a 126 m² clamping field, a large number of load frames and hydraulic actuators, with different geometry and capacities ranging from 10 kN up to 10 MN are available together with various special testing machines. A large number of load frames are available for testing building elements. We have a comprehensive selection of measuring devices as well as devices for data acquisition and storage, a wide range of measuring equipment including photogrammetry and high-speed cameras.



Eine vollständige Liste finden Sie unter <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/>

You can find a complete list of the equipment on <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/>

Probenherstellung

- Stahl-Standardformen und -schalungen für die üblichen Standardtests für Betone und Textilbeton | verschiedene Spezialformen und Sonderanfertigungen
- Mischer für Betone und Zemente, Fassungsvermögen 12 – 350 Liter | Geräte und Apparaturen zur Verdichtung inkl. Nadelprüfgerät und Porenvolumen-Messgerät | Klimakammern und Klimaschränke
- Ausrüstung zur Betonbearbeitung wie Betonsägen, Kernbohrgeräte, Bohrhämmer und Doppel-Planschleifmaschine

Sample production

- *Standard steel molds and formwork for the standard concrete and textile reinforced concrete tests | various specially shaped and custom-made molds and products*
- *Concrete and cement mixers, with capacities of 12 to 350 liters | equipment for concrete consolidation and related measurements, including needle testing and pore volume measuring device | climatic chambers and cabinets*
- *Concrete cutting equipment such as concrete saws, core drilling machines, rotary hammers and double-surface grinding machine*

Aufspannfelder und Portale

- 2 Aufspannfelder mit 1,5-m-Raster und bis zu 1 MN Kapazität je Prüfportal
- Portale für die Prüfung von Einzelelementen bis zu 10 t Gewicht und 5 m Höhe möglich | mehrere Steuerpulte

Strong-floor, testing frames, attachments

- *Two strong floor testing areas with anchor points on a 1.5 m grid | up to 1 MN capacity per testing frame*
- *Frames for the testing of individual elements with weights up to 10 t and heights up to 5 m | various control stations*

Prüfmaschinen und -vorrichtungen für statische Standardtests

- Diverse Prüfmaschinen für statische Druck-, Zug- und Biegeversuche | maximale Lasten: 6000 kN Druck, 1 MN Zug | variable Prüfraumhöhen bis max. 4,0 m lichte Einbauhöhe

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

- Prüfzylinderanlage mit 1000 kN maximale Lasthöhe
- Pulsatoranlage mit bis zu 6 Hz Lastwechselfrequenz
- Hydropulsprüfmaschine mit zwei Belastungsrahmen; Rahmen 1: statische Maximallast: 1000 kN Druck bzw. Zug; Rahmen 2: statische Maximallast: 250 kN Druck bzw. Zug; dynamische Maximallast: jeweils 80 % vom statischen Wert
- Z 100: statische Maximallast: 100 kN Druck bzw. Zug, dynamische Maximallast: 80 kN Druck bzw. Zug
- ZD 2500: statische Maximallast: 2500 kN Druck bzw. Zug, dynamische Maximallast: 500 kN Druck bzw. Zug

Testing machines and devices for standard static tests

- *Various testing machines for compression, tensile and bending tests | maximum loads: 6000 kN pressure, 1 MN tension | variable clearance heights up to 4 m*

Testing machines for standard static and dynamic tension, compression, and bending tests

- *Servo-hydraulic test bench with a maximum load of 1000 kN*
- *Test bench for cyclic loading with up to 6 Hz load frequency*
- *Hydropuls testing machine with two load frames; frame 1: maximum static load: 1000 kN compression or tension; frame 2: maximum static load: 250 kN compression or tension; maximum dynamic load: 80% of the static value*
- *Z 100: static load (maximum): 100 kN compression or tension, dynamic load (maximum): 80 kN compression or tension*
- *ZD 2500: static load (maximum): 2500 kN compression or tension, dynamic load (maximum): 500 kN compression or tension*

Blick in die Versuchshalle | *View into the test hall* | *Photo: Thomas Häntzschel*



Spezielle Prüfmaschinen

- Triaxial-Prüfmaschine: Lasten bis 500 kN Zug oder 5000 kN Druck je Achse | Lasteinleitung mit starren Platten oder Belastungsbürsten unterschiedlicher Geometrie | Prüfkörpergröße, Standard: 10er Würfel, max. 30er Würfel
- Biaxial-Prüfmaschine: max. 90 kN Zug je Achse
- Triaxialzelle: vertikal max. 125 kN Druck, radial max. 5 MPa | zylindrische Proben mit $\varnothing = 2,54$ cm und $h = 5,08$ cm | Temperaturen bis 150 °C möglich
- Horizontaler 20-MN-Belastungsrahmen: Maximallast: derzeit 10 MN (auf 20 MN aufrüstbar) | 5,0 m maximale Prüflänge (freie Länge) bei Druck- und bis zu 7,50 m bei Zugversuchen
- 10-MN-Bauteilprüfmaschine: Prüfkörpergröße bis $B \times L \times H = 2,5 \times 15,0 \times 3,7$ m | derzeit 60 t maximales Probengewicht (auf 120 t aufrüstbar)
- Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche: maximale Belastungsgeschwindigkeit: 35 m/s | zylindrische Prüfkörper mit $\varnothing = 50$ mm und $l_{\max} = 150$ mm bei Druck- und $l_{\max} \geq 200$ mm bei Spallationsversuchen | kinetische Energie des Impaktors: bis zu 1,8 kJ
- Zweiaxialer Split-Hopkinson-Bar für hochdynamische Belastungsversuche: maximale Belastungsgeschwindigkeit: 35 m/s | Prüfkörper: $60 \times 60 \times 60$ mm | kinetische Energie des Impaktors: je Achse bis zu 1,8 kJ
- Kleiner Fallgewichtsversuchsstand: 5,0 m maximale Fallhöhe | 49,1 kg maximales Fallgewicht
- Großer Fallversuchsstand (Fallturm) mit Fallschlitten- und Beschleunigungssystem: $H_{\max} = 11,0$ m; Fallschlittensystem: maximales Fallgewicht 2500 kg, Geschwindigkeit bis 15 m/s | Beschleunigungssystem: maximales Fallgewicht 100 kg, Geschwindigkeit von 6 m/s bis 250 m/s
- Versuchsstände für den Test von Platten und Fassaden (bis $2,4 \times 2,4$ m) | Kriechstände | Ausstattung für Tests mit variabler Temperaturbeanspruchung

Special testing machines

- *Triaxial testing machine: loads up to 500 kN in tension or 5000 kN in compression per axle | loads can be introduced using rigid plates or load-bearing brushes of different geometries | test specimen: cubes with 10 cm edge length (standard), max.: 30 cm cubes*
- *Biaxial testing machine: max. 90 kN tension per axle*
- *Triaxial cell: 125 kN maximum vertical compression and up to 5 MPa radial pressure | specimen: cylindrical samples with a diameter of 2.54 cm and a height of 5.08 cm | heating up to 150 °C possible*
- *Horizontal 20 MN load frame: 10 MN current maximum load (can be upgraded to 20 MN) | maximum (free) test length: 5 m for compression tests and up to 7.50 m for tensile tests*
- *10 MN testing machine: specimen sizes up to 2.5 m (width) \times 15 m (length) \times 3.7 m (height) | currently maximum weight of specimens: 60 t (can be upgraded to 120 t)*
- *Split-Hopkinson bar for high-dynamic load tests: maximum load rate of 35 m/s | for testing cylindrical test specimens with $\varnothing = 50$ mm and ≤ 150 mm length for compression tests resp. ≤ 200 mm length for spallation tests | kinetic energy of the impactor can reach up to 1.8 kJ*
- *Biaxial split-Hopkinson bar for high-dynamic load tests: maximum load rate: 35 m/s | test specimen: $60 \times 60 \times 60$ mm | kinetic energy of the impactor: up to 1.8 kJ per axle*
- *Small drop weight test stand: 5.0 m maximum fall height | 49.1 kg maximum drop weight*
- *Large drop test rig (drop tower): 11 m maximum drop height | free falling impactors: maximum drop weight 2500 kg, max. velocity: 15 m/s | with acceleration system: maximum drop weight 100 kg and velocity from 6 m/s up to 250 m/s*
- *Test rigs for testing panels and facades (up to 2.4×2.4 m) | creep test bed | equipment for tests with variable temperatures is available*

Ausrüstung für Bauwerksprüfungen

- Verschiedene Belastungsrahmen für In-situ-Prüfungen an Brücken, Decken, Stützen, Masten, Geländern etc.
- Ultraschallmessgerät | Profometer 3 (Bewehrungsortung) | (Video-)Endoskopie Rückprallhammer | Ausrüstung zur Entnahme von Bohrkernen

Messtechnik

- Messdatenerfassung mittels verschiedener Messverstärker wie MGC, MGCplus, Quantum MX840 und Spider 8 | Vielstellenmessgerät: UPM100 | Transientenrekorder für Messungen bei Hochgeschwindigkeitsversuchen | Geräte zur Fernüberwachung von Messungen | AOS-Messgerät für Faser-Bragg-Gitter-Sensoren
- Besondere Kameras: Hochgeschwindigkeitskameras Photron Fastcam SA5
- Nahbereichsphotogrammetrie: AICON-3D-System mit vier Kameras und Zubehör | GOM ARAMIS 3D- und 2D-System mit Kameras von 5 MP und 12 MP, auch mit Hochgeschwindigkeitskameras und externen Bildserien nutzbar
- Verschiedenste Kraftmessdosen bis 10000 kN
- Übliche Messmittel | faseroptische Sensoren | Beschleunigungsaufnehmer, dynamische Kraftsensoren, Extensometer | Thermoelemente und Feuchtesensoren (Luftfeuchte) und Anemometer | Seilzugensensoren | Laservibrometer für berührungslose Weg- und Geschwindigkeitsmessung über große Distanzen | Datenlogger
- Geräte für Vermessungsarbeiten inkl. Neigungssensor und Inclinometer | mechanische Längenmessgeräte etc.

Sonstige Ausrüstung

- Brückenkrane in den Laborgebäuden | Gabelstapler (Tragkraft: 3,5 t) | Schwerlastwagen bis 60 t Tragkraft | Geräte zum Anheben und Verschieben von bautechnisch relevanten Lasten bis 120 t durch Einsatz hydraulischer Hebetchnik
- Schweißerausrüstung (elektro und autogen) | mobile Druckölaggregate | Sandstrahlaggregat

Equipment for in-situ tests of structures

- *Various load frames for in-situ tests on bridges, ceilings, columns, masts, railings, etc.*
- *Ultrasonic measuring device; reinforcement detector (Profometer 3) | (video) endoscopy | rebound hammer | equipment for drilling concrete cores*

Measuring technique

- *data collecting using various measuring amplifiers such as MGC, MGCplus, Quantum MX840 and Spider 8 | UPM100 | Transient recorder for measurements in high-speed tests | devices for remote monitoring of measurements | AOS measuring device for fiber Bragg grating sensors*
- *Special cameras: high-speed cameras Photron Fastcam SA5*
- *Close-range photogrammetry: AICON 3D system with four cameras and accessories | GOM ARAMIS 3D & 2D with 5 MP and 12 MP cameras, also usable with highspeed cameras and external picture series*
- *Various force measuring devices up to 10000 kN*
- *Standard measuring instruments | fiber Bragg gratings | accelerometers, dynamic force sensors, extensometers | thermocouples and humidity sensors and anemometers | tension cable sensors | laser vibrometer | data logger*
- *Devices for surveying work including inclination sensor and inclinometer | mechanical length measuring devices, etc.*

Other equipment

- *Lift cranes within the laboratory facilities | forklift with a lifting capacity of 3,5 t | strong-wagons with load carrying capacity up to 60 t | hydraulic lifting technology devices for lifting and moving elements with typical construction weights of up to 120 t*
- *Welding equipment (electrical and auto-genous) | mobile oil pressure aggregates | sandblasting unit*



Auszugversuch | Pull-out test | Photo: Thomas Häntzschel

HYDROPULSPRÜFMASCHINE SINUS 250 KN

HYDRO PULSE TESTING MACHINE SINUS 250 kN

Für die umfangreichen Prüfaufgaben im Otto-Mohr-Laboratorium stehen den Mitarbeitern des Institutes für Massivbau mehrere unterschiedliche Prüfmaschinen und Vorrichtungen zur Verfügung. Eine davon ist die hydraulische Werkstoffprüfmaschine „HYDROPULS SINUS“ vom Prüfmaschinenhersteller SCHENCK, welche hier in Form eines Steckbriefs kurz vorgestellt werden soll.

Der bestimmungsgemäße Einsatz der Prüfmaschine beschränkt sich auf dynamische und statische Prüfungen an Werkstoffen. Die Maschine ist modular aufgebaut. Die wesentlichen Komponenten sind ein Zwei-Säulen-Prüfrahmen, ein hydrostatisch gelagerter Zylinder mit einer Nennkraft von ± 250 kN und einem integrierten Kolbenwegaufnehmer von 160 mm. Der Zylinder ist in der Tischplatte des Lastrahmens eingebaut und ist mit einem hydraulischen Spannkopf für Flach- und Rundproben ausgerüstet. Die Gegenkräfte werden von einem oben angebrachten Querhaupt aufgenommen, welches in der Höhe

Several different testing machines and devices are available to the staff of the Institute for Solid Construction for the extensive testing tasks in the Otto Mohr Laboratory. One of these is the hydraulic material testing machine "HYDROPULS SINUS" from the testing machine manufacturer SCHENCK, which will be briefly presented here.

The intended use of the testing machine is limited to dynamic and static tests on materials. The machine has a modular design, the main components are a two-column test frame, a hydrostatically mounted cylinder with a nominal force of ± 250 kN and an integrated piston displacement transducer of 160 mm. The cylinder is installed in the table top of the load frame and is equipped with a hydraulic clamping head for flat and round specimens. The counterforces are absorbed by a crosshead mounted at the top, which is hydraulically adjustable in height. A steel plate with a bore $d = 45$ mm is mounted on the crosshead, through which the load can be introduced into the specimen during pull-out tests. Force measurement is also carried out on the crosshead.

hydraulisch verstellbar ist. Am Querhaupt ist eine Stahlplatte mit einer Bohrung $d = 45 \text{ mm}$ montiert, über die bei Auszugversuchen die Lasteinleitung in die Probe erfolgen kann. Am Querhaupt wird auch die Kraftmessung realisiert.

Die Prüfmaschine wurde mehrfach modernisiert und besitzt jetzt einen universellen digitalen Regler mit entsprechender Regelsoftware sowie neue Servoventile. Durch den relativ kleinen, hydrostatisch gelagerten Zylinder und der Leichtbauweise des Spannkopfes ist die Maschine für dynamische Ermüdungsversuche mit hohen Lastzahlen ($> 1 \text{ Mio.}$) geeignet.

Ein extern zur Verfügung stehendes Mehrkanalmesssystem (MGC-PLUS) ermöglicht die Messdatenerfassung von sehr vielen Sensoren über längere Prüfzeiträume. Ebenso können photogrammetrische Messaufgaben durch die offene Bauweise der Prüfmaschine gelöst werden.

The testing machine has been modernized several times and now has a universal digital controller with corresponding control software as well as new servo valves. Due to the relatively small hydrostatically mounted cylinder and the lightweight construction of the clamping head, the machine is suitable for dynamic fatigue tests with high load figures ($> 1 \text{ million}$).

An externally available multi-channel measuring system (MGC-PLUS) enables the measurement data acquisition of many sensors over longer test periods.

Photogrammetric measuring tasks can also be solved by the open design of the testing machine.



Prüfmaschine Schenck 250 kN | *Testing machine Schenck 250 kN* | Photo: Thomas Häntzschel

Technische Informationen | *Technical information*

Maximale statische Prüfkraft <i>Maximum static test load</i>	250 kN
Maximale dynamische Prüfkraft <i>Maximum dynamic test load</i>	200 kN
Maximaler Kolbenweg <i>Maximum piston travel</i>	160 mm
Maximale Prüffrequenz (Auswahl) <i>Possible test frequencies (selection)</i>	10 Hz (Amplitude 2,0 mm – F_{\max} ca. 200 kN) 20 Hz (Amplitude 0,8 mm – F_{\max} ca. 60 kN) 30 Hz (Amplitude 0,5 mm – F_{\max} ca. 60 kN)
Prüfraumbreite <i>Work space width</i>	500 mm
Prüfraumhöhe <i>Work space clearance</i>	0 – 1000 mm
Einspannlänge <i>Clamping length</i>	80 mm (unten und oben <i>below and above</i>)



Bauarbeiten im Beyer-Bau | Construction work in progress | Photo: Sabine Wellner

BAUFORTSCHRITT IM BEYER-BAU

BEYER-BAU IN PROGRESS

Die Sanierung sowie der Umbau des Beyer-Baus sind in vollem Gang! Nachdem das OML in den vergangenen Monaten bereits eine Vielzahl an Material- und Bauteilprüfungen durchgeführt hat, werden derzeit Wände, Böden und Einbauteile zurückgebaut.

Baubegleitend, unterstützend sowie vorbereitend hat das Otto-Mohr-Labor die experimentelle Ermittlung der Tragsicherheit von Bauteilen für die anvisierte Nutzung der Räume weitergeführt. So wurden Belastungstests an einem Unterzug sowie an Deckenkonstruktionen durchgeführt. Anhand eines individuell ausgearbeiteten Messkonzepts wurde der aktuelle Bauteilzustand während einer experimentellen Belastungsprüfung bewertet.

Die nachzuweisende Last von $7,34 \text{ kN/m}^2$ für Decken bzw. $10,34 \text{ kN/m}^2$ für Unterzüge setzt sich aus Eigenlast und Verkehrslast inkl. Teilsicherheitsbeiwerte zusammen. Die Flächenlast wurde über jeweils vier Einzellasten über ein

The reconstruction of the Beyer-Bau is in full operation! In recent months, walls, floors and built-in components are being removed after a large number of component and material tests have been carried by the Otto-Mohr-Laboratory. During the building phase, the Otto-Mohr-Laboratory has again determined experimentally the structural safety of components according to their intended use. Loading experiments were carried out on a beam and on ceiling constructions. On the basis of an individually developed measuring concept, the current state of the components were evaluated.

The distributed load of 7.34 kN/m^2 for ceilings and 10.34 kN/m^2 for beams consists of dead and live load including partial safety factors. The load was combined via four individual loads via a carrier system and the force was controlled with a hydraulic cylinder, which was coupled with a load cell. The load-related deflections were measured with inductive position sensors (IWA). The maximum loads

Trägersystem zusammengefasst und die Kraft mit einem Hydraulikzylinder angesteuert, der mit einer Kraftmessdose gekoppelt war. Die belastungsbedingten Durchbiegungen wurden mit induktiven Wegaufnehmern gemessen. Die Prüfzellasten wurden bei allen Lastfällen ohne Probleme oder Beeinträchtigungen 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 des Unterzuges bzw. Decken selbst oder der angrenzenden Bauteile wurden nicht beobachtet.

Des Weiteren wurden auch die Materialuntersuchungen fortgeführt. So wurden die Zugfestigkeit von Bewehrungsstahl aus Decken und Unterzügen, die Karbonatisierungstiefe und der Chloridgehalt des Betons von Deckenflächen bestimmt. Für die bevorstehende Betonsanierung wurde zudem die Oberflächenzugfestigkeit des Betons ermittelt. Auch im 40 Meter hohen Turm des Observatoriums wurden umfangreiche Materialuntersuchungen in Form von Bohrkernentnahme zur Bestimmung der Betondruckfestigkeit, Sondierungen zur Ermittlung der Karbonatisierungstiefe und Zugversuche zur Bestimmung der Abreißfestigkeit durchgeführt.

Im Rahmen der fortschreitenden Sanierung des Beyer-Baus wird die Verstärkung der Unterzüge mit Carbonbeton, als Alternative zum Abbruch und Neubau, geplant. Ziel ist es, den historischen Bestand zu erhalten und eine wirtschaftliche Sanierung zu ermöglichen.



Widerlagerkonstruktion im Kellergeschoss | *Support construction in the basement* | Photo: Sabine Wellner

were achieved in all load cases without problems and without affecting the structure. There were only expected cracks but to a small extent. The crack widths remaining were in the tenth of a millimetre range after unloading. Damage or visual changes to the beam, the ceiling itself or the adjacent components were not observed.

In addition to the load tests, the material investigations were continued. Thus, the tensile strength of reinforcing steel from ceilings and beams, the carbonation depth and the chloride content of the concrete were determined from ceiling surfaces. In addition, the surface tensile strength of the concrete was determined for the upcoming concrete restoration.

Also, material investigations were carried out in the 40-meter high tower of the observatory. Such tests included the concrete compressive strength, carbonation depth and adhesive tensile tests

Recently, as part of the progressive renovation of the Beyer-Bau, a beam was strengthened by carbon reinforced concrete. This method is currently verified as an alternative to demolishing and rebuilding components. The aim is to preserve the historical existing construction and to enable an economic rehabilitation and strengthening of the structure.

► **Titel | Title**

Tragwerksuntersuchungen im Beyer-Bau

Estructural 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**

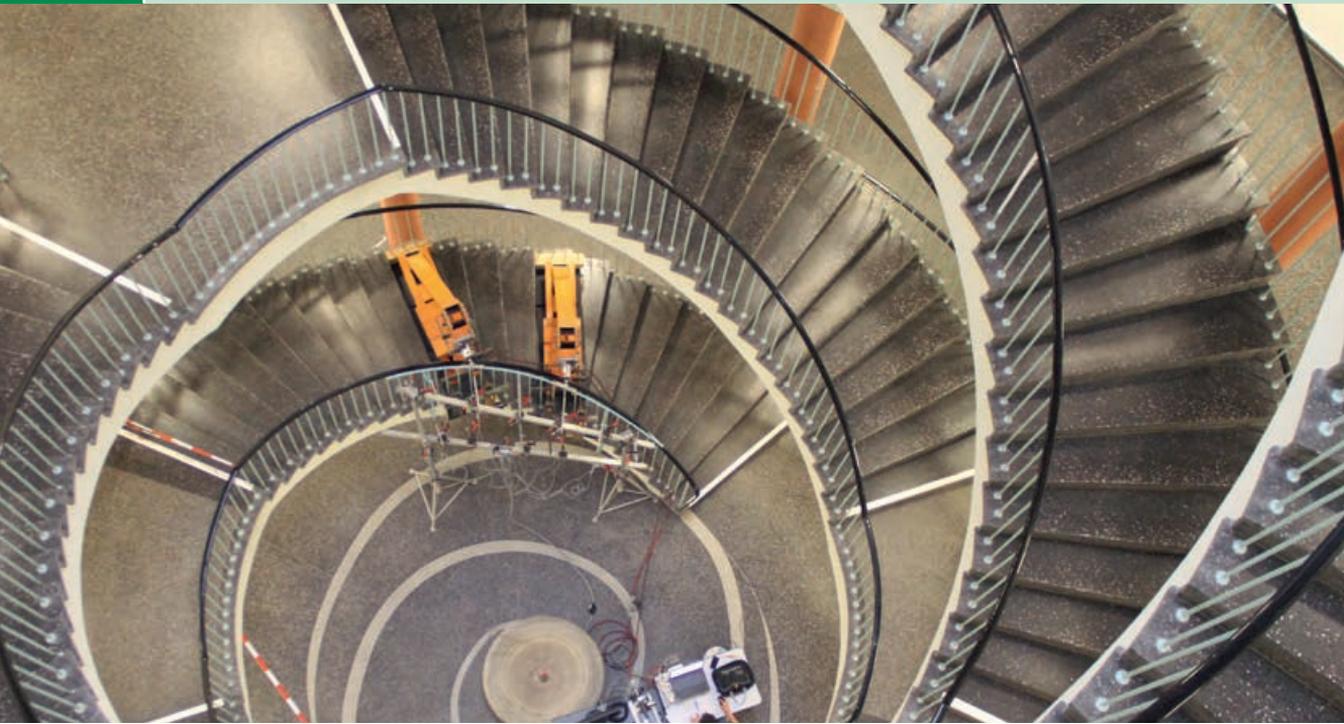
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dr.-Ing. Torsten Hampel

► **Versuchsdurchführung | Test execution**

Maik Patricny, Andreas Thieme, Heiko Wachtel, Bernd Wehner



Versuchsaufbau im Haupttreppenhaus | Test set-up at the main staircase | Photo: Sabine Wellner

GELÄNDERBELASTUNG IM HÜLSSE-BAU

LOAD TEST ON A RAILING IN THE HÜLSSE-BAU

Der Hülße-Bau der TU Dresden mit seinem markanten pyramidenförmigen Glasdach diente nach der Erbauung zwischen 1902 und 1907 bis ins Jahr 1956 als Haftanstalt für das benachbarte Landgericht Dresden (heute Schumann-Bau). Im zweiten Weltkrieg wurde das Gebäude massiv beschädigt. Nach dem Umzug des Landgerichts und der Schließung der Haftanstalt wurde das Gebäude durch die Technische Hochschule Dresden im Jahr 1957 übernommen und nach Plänen der Architekten Otto Schubert und Georg Münter als Hörsaal- und Bürogebäude umgebaut.

Das aus dieser Zeit stammende Stahlgeländer des Haupttreppenhauses musste nun aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen um ca. 20 cm erhöht werden. Hierfür wurden im Erdgeschoss ein Muster mit vertikalen Streben sowie ein Handlauf aus Rundstahl eingebaut, welches mit dem Bestandsgeländer verschweißt wurde.

The 'Hülße-Bau' of the TU Dresden, with its distinctive pyramidal glass roof, was built between 1902 and 1907 and served as a jail for the neighboring district court of Dresden (today Schumann-Bau) until 1956. During the Second World War the building was massively damaged. After relocation of the district court and the closure of the jail, the building was taken over by the Technical University of Dresden in 1957 and rebuilt according to the plans of the architects Otto Schubert and Georg Münter as an auditorium and office building.

The steel railing of the main staircase, which dates back to this time, had to be increased by about 20 cm for reasons of occupational health and safety. For this purpose, a sample with vertical struts and a handrail made of round steel was installed on the ground floor, which was welded to the existing railing.

The stability of the railing against a horizontal loading had to be proven by an experimental

Rechnerisch ist bei einem Geländer der Widerstand gegenüber einer horizontalen Linienlast nachzuweisen. Hierzu wurden zwei Belastungsrahmen verwendet, die jeweils senkrecht in der Mitte zwischen zweier vertikalen Stahlrohren der Geländererhöhung angeordnet waren. An jedem Rahmen wurde auf Höhe des Handlaufs ein Druckzylinder (Hydraulikzylinder) angebracht, der bei der Prüfung die Last horizontal in den Handlauf einleitet. Um eine punktuelle Belastung zu verhindern, wurde ein Passstück zur Lasteinleitung verwendet. Mit je einer Kraftmessdose pro Zylinder wurde die aufgebrachte Prüflast kontrolliert. Während der Belastung zeichneten induktive Wegaufnehmer die Verformungen auf. Es wurden jeweils insgesamt fünf Belastungszyklen durchgeführt, um das Tragverhalten der Geländererhöhung als auch des Bestandsgeländers beurteilen zu können.

An der Geländererhöhung konnte die erforderliche Prüflast nicht nachgewiesen werden. Im Belastungszustand wurden deutliche Verformungen von mehr als 40 mm erfasst. Zur Reduzierung der maximalen Verformungen der Geländererhöhung wurde empfohlen, mittig zwischen die bereits vorhandenen Befestigungspunkte der Geländererhöhung am Bestandsgeländer jeweils einen weiteren Befestigungspunkt anzubringen.

Bei der Probelastung des Bestandsgeländers konnte die Prüflast ohne Probleme und ohne Beeinträchtigung der Konstruktion erreicht werden.



Hydraulikzylinder und Passstück des Handlaufs | Detail of the load application point | Photo: Sabine Wellner

test. For this purpose, two load frames were used, which were each arranged vertically in the middle between two vertical poles of the enhanced railing. On each frame, at the level of the handrail, a hydraulic cylinder was mounted, which introduced the load horizontally into the handrail during the test. In order to prevent punctual loading, a fitting for load introduction was used. With one load cell per cylinder, the introduced load was controlled. During the load test, inductive distance sensors recorded the deformations.

In total five load cycles were performed in order to be able to assess the load-bearing behavior of the enhanced railing as well as of the existing railing.

At the enhanced railing, the required test load could not be detected due to reaching the maximum load can be absorbed. In the load condition significant deformations of more than 40 mm were recorded. In order to reduce the maximum deformation of the enhanced railing, it was recommended to attach a further attachment point in the middle between the already existing attachment points on the existing railing.

► **Titel | Title**

Belastungsversuche zum experimentellen Nachweis der Tragfähigkeit von Treppengeländern im Hülße-Bau der Technischen Universität Dresden

Load test to determine experimentally the stability of the banisters in the ‚Hülße-Bau‘ of the Technische Universität Dresden

► **Förderer | Funding**

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Dresden II

► **Zeitraum | Period**

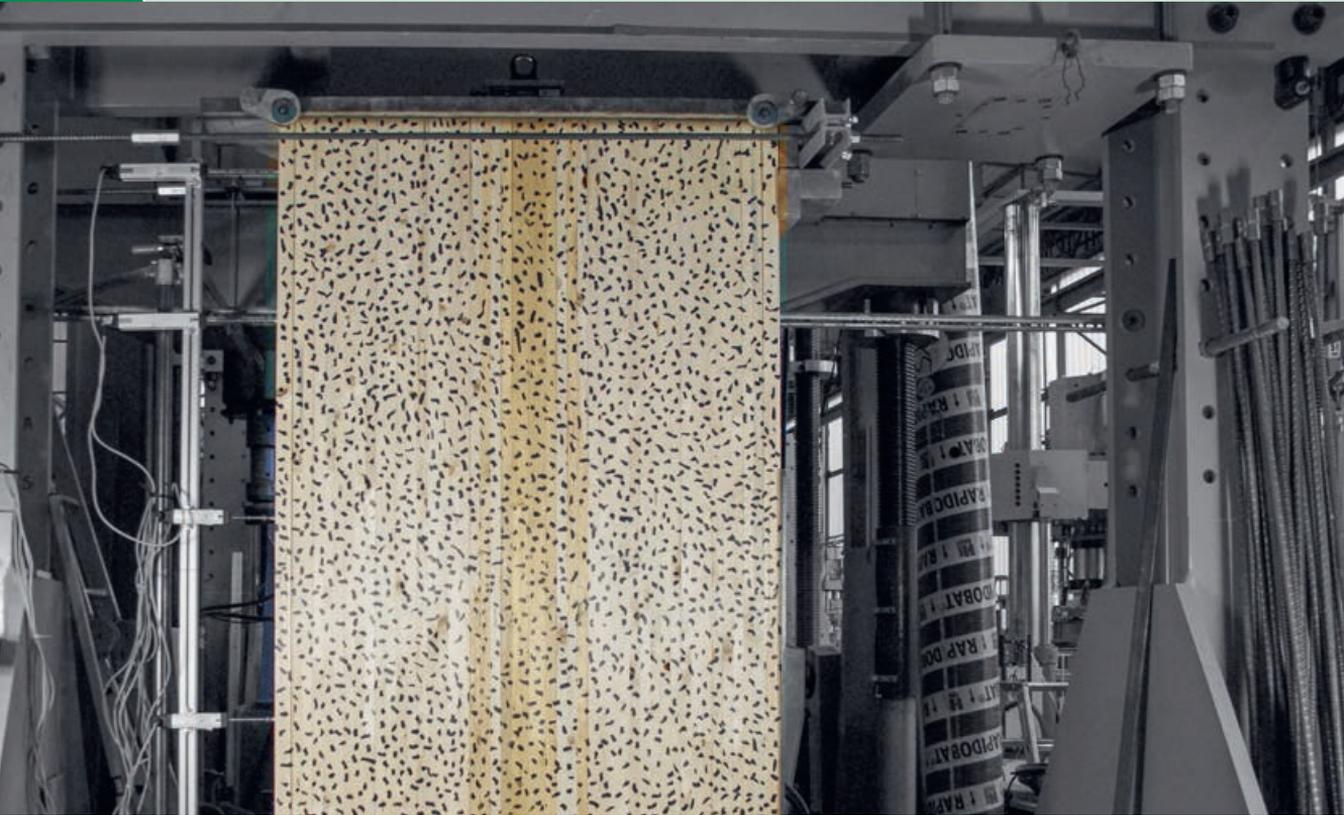
04.2019

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Bernd Wehner, Heiko Wachtel



Versuchsrahmen für Steifigkeitsversuche | Test frame to investigate the shear stiffness shear test | Photo: Konrad Kallenowsky

BRETTSTAPEL UND VERDICHTETE HOLZDÜBEL

LAMINATED TIMBER AND CW DOWELS

Holzwerkstoffe (EWPs) weisen gegenüber Vollholzprodukten eine verbesserte Dimensionsstabilität und längere Haltbarkeit auf, besitzen konstante mechanische Eigenschaften und sind auch in großen Strukturabschnitten verfügbar. Sie spielen deshalb eine wichtige Rolle in der globalen Wirtschaft, finden zunehmend weltweit Anwendungen. Als nachwachsender Rohstoff haben EWPs im Vergleich zu konventionellen Baumaterialien auch eine geringere Umweltwirkung. Allerdings beeinflusst die Verwendung von Klebstoffen und metallischen Verbindungselementen ihre Recyclingfähigkeit negativ. Alternativen sind formschlüssige Holzverbindungen, die für eine bessere Tragfähigkeit auch aus verdichtetem Holz gefertigt werden können.

Engineered wood products (EWPs) have enhanced dimensional stability and increased durability compared to solid wood products, have constant mechanical properties and are also available in large structural sections. They therefore play an important role in the global economy and are increasingly used worldwide. As a renewable raw material, EWPs also have a lower environmental impact compared to conventional building materials. However, the use of adhesives and metallic fasteners has a negative impact on their sustainability, recyclability and broader environmental impact. Alternatives are form-fitting wood joints, which can also be made of compressed wood for better load-bearing capacity.

To reduce greenhouse gas emissions, the European Commission is promoting the devel-

Zur Reduktion der Treibhausgasemissionen fördert die Europäische Kommission die Entwicklung energieeffizienter Baustoffe. Dazu gehört auch die Entwicklung und Optimierung neuer und nachhaltiger EWP als Alternative zu herkömmlichen EWP wie Brettschichtholz. Dieses Ziel ist Gegenstand laufender Forschungen im Rahmen eines EU-finanzierten Projekts mit dem Titel „Adhesive Free Timber Buildings“ (Klebstofffreie Holzgebäude).

Aus solchen klebstofffreien Brettstapeln wurden unter anderem Wände hergestellt und getestet. Die Abmessungen der Wandscheiben aus Brettstapeln und verdichteten Holzdübeln betragen $1200 \times 2400 \times 180 \text{ mm}^3$. Insgesamt wurden 12 Proben geprüft. Es gab zwei Testkonfigurationen: eine mit einer Reihe und eine mit zwei Reihen mit jeweils verdichteten und nicht verdichteten Dübeln. Die Versuche teilten sich in zwei unterschiedliche Belastungsarten. Die vertikale Tragfähigkeit wurde im Druckversuch und die horizontale Steifigkeit im Scherversuch ermittelt.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lässt sich ableiten, dass die Verwendung von verdichteten Dübeln für die Verbindung von Brettstapelwänden die Tragfähigkeit und die Schersteifigkeit der Bauteile um etwa 30 Prozent erhöht. Zudem konnte geschlussfolgert werden, dass für die Dübel der Brettstapелеlemente auch Holz geringerer Qualität genutzt werden kann. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass auch bei Ausfall einzelner Brettlagen eine Umverteilung der Kräfte stattfand und die Belastung weiter gesteigert werden konnte. Dieser Aspekt ist besonders sicherheitsrelevant, da sich die Elemente dadurch sehr duktil verhalten.



Ermittlung der vertikalen Tragfähigkeit im Druckversuch | Determining the vertical load capacity in a compression test | Photo: Konrad Kallenowsky

opment of energy-efficient building materials. This includes the development and optimisation of novel and sustainable EWPs as alternatives to conventional EWPs such as glulam. This ambition is the subject of an on-going research effort via an EU-funded project entitled Adhesive Free Timber Buildings (AFTB).

From such adhesive-free laminated timber, among other things, shear walls were made and tested. The dimension of the shear wall from laminated timber and compressed wood dowels was $1200 \times 2400 \times 180 \text{ mm}^3$. 12 samples in total were tested. There were two test configurations with one row and two rows undensified/densified dowels. The experiments divide into the two different test program. The vertical load capacity was determined in the compression test and the horizontal stiffness in the shear test.

From the results of this work, it can be deduced that the use of compressed dowels for the connection of walls is increasing about 30 percent the load bearing capacity and shear stiffness of the walls. It has been concluded that the use of dowels in board stacking elements makes better use of timber of lesser quality. Furthermore, it could be observed that, even in the case of failure of individual boards, a redirection of the forces took place and the load bearing capacity increased further. This aspect is particularly relevant to safety since the elements presented very ductile behaviour.

► **Titel | Title**

Auf dem Weg zu klebstofffreien Holzgebäuden

Towards adhesive free timber buildings (AFTB)

► **Auftraggeber | Funding**

EU H2020 Interreg North-West Europe

► **Zeitraum | Period**

09.2016 – 06.2020

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Peer Haller, Professur für Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen, TU Dresden

► **Bearbeiter | Contributors**

Siavash Namari, Thomas Händel, Konrad Kallenowsky

► **Projektpartner | Project partners**

Suttner GmbH, Haselbach | Deutsche Holzveredelung Schmeing GmbH, Kirchhundem



Entnahme von Bohrkernen | Extraction of drilling cores | Photo: Sabine Wellner

GUTE AUSSICHTEN AM WOLFSHÜGELTURM GOOD PROSPECTS AT THE WOLFSHÜGELTURM

Das Otto-Mohr-Laboratorium hat in den vergangenen Jahren bereits eine Vielzahl an Untersuchungen an außergewöhnlichen Orten durchgeführt. Dieses Jahr wurde das OML mit Materialprüfungen am Wolfshügelturn in der Dresdener Heide beauftragt.

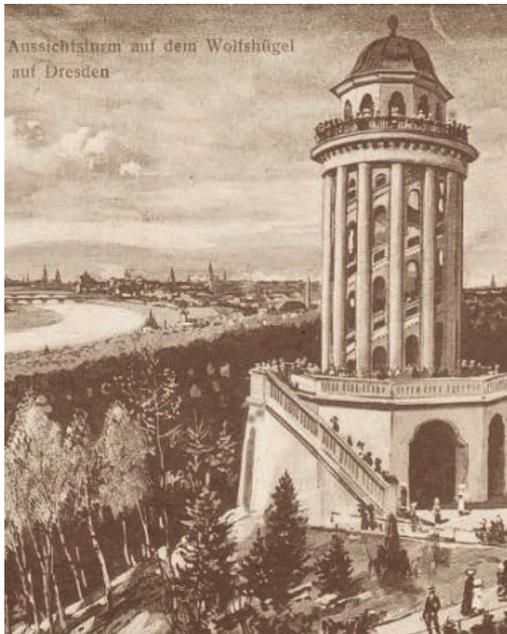
Die Bezeichnung Wolfshügel weist auf Wolfsgärten hin, in denen bis in die Zeit des Dreißigjährigen Krieges Wölfe für die Jagd sächsischer Kurfürsten gehalten wurden. Der erste Wolfshügelturn wurde 1886 als Holzkonstruktion errichtet und war nur 4,30 Meter hoch. Dennoch wurde er schnell ein beliebtes Ausflugsziel, da er einen weiten Blick über die Heidelandschaft sowie in das Dresdner Elbtal bot. Aufgrund stetiger Reparatur- und Ausbesserungsarbeiten an dem Holzturm entschied der Rat der Stadt Dresden im Jahr 1911, einen massiven Stahlbetonturm zu errichten. Die Projektleitung hatte der damalige Stadtbaurat Professor Hans Erlwein inne. Der achteckige Unterbau wurde auf einem Fundament aus Stampfbeton ca. 80 cm tief gegründet und als Lagerraum genutzt. Er hatte vier große bogenförmige Zugänge sowie zwei Außentrepfen. Auf dem Unterbau befand sich der eigentliche Turm, bestehend aus bogenförmigen Fens-

The Otto Mohr Laboratory has already realized a large number of investigations in extraordinary locations in recent years. This year, the OML was instructed with material testing at the Wolfshügelturn in the Dresdener Heide.

The term Wolfshügel refers to wolf gardens, in which until the time of the Thirty Years War wolves were kept for the hunting of Saxon Electors. The first Wolfshügelturn was built in 1886 as a wooden structure and was only 4.30 m high. Nevertheless, the tower quickly became a popular destination, as it offered a spectacular view of the heathland and in the Dresden Elbe Valley. Due to constant repair and repair work on the wooden tower, the city council of Dresden decided in 1911 to build a massive reinforced concrete tower. Project management was the responsibility of the city councilor Professor Hans Erlwein. The octagonal substructure was founded on a foundation of stamped concrete about 80 cm deep. The substructure was used as a storage room with four large arcuate entrances and two exposed exterior stairs. The actual tower consisted of arch-shaped windows, 14 half columns on the outside and two nested spiral staircases, which

tern, 12 Halbsäulen an der Außenseite sowie zwei freitragende Wendeltreppen, welche die zahlreichen Besucher ab Fertigstellung des Baus im Jahr 1912 auf den 14 m hohen Aussichtsbereich unter einer kupfergedeckten Kuppel führten. Der Turm diente im Zweiten Weltkrieg militärischen Zwecken und als Nachrichtenstation samt Funkmast. Am 7. Mai 1945 wurde er vor dem Einmarsch der Roten Armee durch Einheiten der SS gesprengt.

Das Otto-Mohr-Laboratorium wurde damit beauftragt, an den verbliebenen Überresten des Unterbaus verschiedene Materialuntersuchungen in situ und im Labor durchzuführen. So wurde beispielsweise anhand von Kernbohrungen sowohl die Konstruktionsart der Außenwände, der Schichtenaufbau als auch die Druckfestigkeit des Betons festgestellt. Des Weiteren wurden mit einem Bewehrungsscanner die Lage und der Durchmesser der Bewehrungsseisen in den Anschlussbereichen der ehemaligen Halbsäulen bestimmt. Abschließend erfolgte die Bestimmung der Haftzugfestigkeit sowie des Karbonisierungsgrades der Bewehrung. Die gewonnenen positiven Ergebnisse stehen nun dem 2018 gegründeten Verein zum „Wiederaufbau Wolfshügelturn e. V.“ zur Verfügung und werden durch Bauexperten geprüft.



Postkarte vom Wolfshügelturn um 1912 | Postcard of the Wolfshügelturn around 1912 | Photo: www.verschwundene_bauwerke.de

led the numerous visitors, from completion of the building in 1912, on the 12 m high viewing area under a copper-covered dome. The tower served in World War II for military purposes and as a news station including radio mast. On May 7, 1945, the tower was blown up by units of the SS, before the invasion of the Red Army.

The Otto Mohr Laboratory was commissioned to carry out various material investigations in situ and in the laboratory on the remaining parts of the substructure. Thus, for example, the construction of the outer walls, the layer structure as well as the compressive strength of the concrete was determined by means of core drilling. Furthermore, a reinforcement scanner was used to determine the position and diameter of the rebar in the connection areas of the former half-columns. Finally, the determination of the adhesive tensile strength and the degree of carbonation of the reinforcement was carried out.

The positive results are now being examined by the "Wiederaufbau Wolfshügelturn e. V." Association, founded in 2018, by construction experts, fundraisers and creative minds.

► **Titel | Title**

Gute Aussichten am Wolfshügelturn

Good prospects at the Wolfshügelturn

► **Förderer | Funding**

Wiederaufbau Wolfshügelturn e. V.

► **Zeitraum | Period**

09.2019 – 10.2019

► **Leiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger, Professur für Tragwerksplanung, TU Dresden

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dr.-Ing. Torsten Hampel

► **Projektpartner | Project partners**

Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm, IBB Ingenieurbüro Baustatik Bautechnik, Dresden



DAS INSTITUT



MB Institut für
Massivbau

„Ich habe keine besondere Begabung,
sondern bin nur leidenschaftlich neugierig“

Albert Einstein

Im Vordergrund unserer Arbeit stehen Forschung und Lehre. Das Gesamtbild unseres Instituts macht allerdings noch viel mehr aus. Es finden Exkursionen mit unseren Studierenden statt und für die Berufsorientierung betreiben wir Nachwuchsförderung in Schülerprojektwochen und bei öffentlichen Veranstaltungen. Den Wissenstransfer zwischen Forscherinnen und Forschern sowie Vertretern der Wirtschaft und der Politik intensivieren wir auf Treffen und Konferenzen. Teambildende Projektstage, 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:

Chris Gärtner, Stefan Gröschel,
Sandra Kranich, Silke Scheerer und zum Teil
aus dem BauBlog der Fakultät Bauingenieurwesen
<http://baublog.tu-dresden.de>

DRESDNER SYMPOSIEN IM DOPPELPAK

Das traditionell im März stattfindende Dresdner Brückenbausymposium ist eine fest etablierte Größe im Veranstaltungskalender vieler Bauingenieure. Doch diesmal gab es eine Besonderheit. Am Vortrag des DBBS fand ein weiteres Symposium statt. Beim SEUB dreht sich thematisch alles um „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen“. Die Veranstaltung ist kein Neuling – es fand bereits zum zehnten Mal statt –, allerdings hatten sich die Organisatoren aufgrund der Häufung von Veranstaltungen im September für eine Verlegung der Tagung in den etwas entspanteren März entschieden. Die Rechnung ging auf, denn mit knapp 200 Gästen wurde ein neuer Teilnehmerrekord verzeichnet.



Prof. Manfred Curbach eröffnet das 10. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen | Foto: Stefan Gröschel

Mit insgesamt 13 Fachvorträgen konnte sich das Programm sehen lassen. Eröffnet wurde das 10. SEUB von Prof. Steffen Marx. Er berichtete vom aktuellen Stand bei der Erarbeitung der Neufassung der Richtlinie „Belastungsversuche an Betonbauwerken“. Der Fokus seines Vortrags lag auf der Übertragbarkeit von wenigen Einzelversuchen auf eine größere Grundgesamtheit und auf einem neuen Sicherheitskonzept, zwei Themen, die für viele der Anwesenden von größtem Interesse sind. Die Themen der weiteren Beiträge reichten von der Probe im Zentimeterbereich bis zum ganzen Bauwerk und von der Theorie bis zur Baupraxis. Dr. Volker Wetzki stellte eine Methode zur Bestimmung der Materialeigenschaf-

ten metallischer Werkstoffe an Miniaturproben vor und Dr. Häßler erläuterte, wie anhand von Schwingungsanregungen der Spannungszustand ganzer Fachwerke ermittelt werden kann. Schwingungen nutzte auch M.Sc. Thilo Fröhlich, um Befestigungen in Beton hinsichtlich ihres Widerstands gegenüber zyklischen Beanspruchungen nachzuweisen.

Mehrere Referenten beschäftigten sich mit innovativen Messmethoden sowohl zur versuchsbegleitenden Datenerfassung als auch zum Monitoring. Dr. Kerstin Speck und Dr. Fritz Vogdt stellten eine faserbasierte Messmethode zur Erfassung von Verformungen im Innern von Betonproben vor. Mit der experimentellen Analyse von Brücken beschäftigten sich gleich mehrere Referenten. Dipl.-Ing. Max Käding thematisierte Brücken mit spannungsrisikokorrosionsgefährdetem Spannstahl und fehlendem Ankündungsverhalten und zeigte Möglichkeiten zu deren messtechnischer Überwachung auf. Dipl.-Ing. Jens Heinrich erläuterte einen Ansatz, wie aus sich ändernden Rissbreiten auf eine zunehmende Schädigung von Spannstahl bei Bestandsbrücken geschlossen werden kann. Berührungslose Messmethoden wurden in zwei Beiträgen behandelt. Dr. Schill berichtete von Messungen an Brücken bei Zugüberfahrten. Mit Hilfe eines Profilschanners konnte die Verformung eines kompletten Überbaus zuverlässig erfasst werden. Dr. Scheithauer zeigte Möglichkeiten der Bauüberwachung mittels Drohnen anhand von beispielhaften Baumaßnahmen der Deutschen Bahn auf. Dipl.-Ing. Nico Steffens stellte vor, wie auf Basis von Messwerten modifizierte Ziellastniveaus für die Brückennachrechnung bestimmt werden können.

Berichte über Belastungsprüfungen rundeten das Programm ab. Dipl.-Ing. Oliver Mosig berichtete, wie mit erfolgreichen Deckenprüfungen zur baldigen Wiedereröffnung des historischen Jugendstil-Kaufhauses in Görlitz beigetragen wurde. Prof. Gutermann stellte eine neue Methode zur Vor-Ort-Belastung von Brücken kleiner Spannweite vor. Prof. Oliver Fischer berichtete von einem beeindruckenden

den In-situ-Großversuch zur Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit einer 60 Jahre alten Spannbetonbrücke.

Nachdem am Abend des 11. März ca. 700 Teilnehmer die Gelegenheit wahrgenommen hatten, sich beim „Treffen der Brückenbauer“ auszutauschen und die Ausstellung mit über 70 Firmen aus den verschiedenen Sparten des Bauwesens sowie von Verlagen und Vereinen zu besuchen, eröffnete Prof. Manfred Curbach am Morgen des 12. März feierlich das mittlerweile 29. Dresdner Brückenbausymposium, zu dem über 1300 Anmeldungen eingegangen waren. Gleich zu Anfang verlieh Prof. Hubertus Milke die Wackerbarth-Medaille der Ingenieurkammer Sachsen an Prof. Jürgen Stritzke für



Andrang bei der Firmenausstellung im HSZ | Foto: Stefan Gröschel

dessen Engagement für den Brückenbau und die „Historischen Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland“, ein Titel, mit dem die Bundesingenieurkammer seit 2007 historisch bedeutende Ingenieurbauwerke ehrt. Manfred Curbach, der auch die Laudatio hielt, erinnerte im Anschluss an eine Persönlichkeit, die den Brückenbau vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit herausragenden Bauwerken, aber auch mit seiner Philosophie des Brückenbaus geprägt hat: Christian Menn.

Ins hier und jetzt holte dann TRDir Prof. Gero Marzahn die Tagungsteilnehmer zurück. Er berichtete über die Erarbeitung der RE-ING – ein kompaktes Regelwerk für die Planung von Ingenieurbauwerken. Dipl.-Ing. Joern Seitz stell-



C³ – Carbon Concrete Composite e. V. | Foto: Stefan Gröschel

te mit der Maputo-Katembe-Brücke die längste Hängebrücke Afrikas vor, von vielen bereits das neue Wahrzeichen Mosambiks genannt. Prof. Peter Mark berichtete sehr anschaulich über die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Monitoring im Infrastrukturbau. Anschließend nahm Dr. Christoph Vater die Gäste mit auf den Weg in den Hamburger Hafen. Dort war die Erneuerung der über 100 Jahre alten Waltershofer Brücken unumgäng-



Prof. J. Stritzke erhält die Wackerbarth-Medaille | Foto: Stefan Gröschel

lich geworden. Ein zentraler Punkt ist hier die unterbrechungslose Aufrechterhaltung des Verkehrs während der Bauzeit. Prof. Johann Kollegger gab einen spannenden Erfahrungsbericht aus Österreich über die Anwendung von neuen, innovativen Brückenbauverfahren. Prof. Karsten Geißler und Dipl.-Ing. Gregor Gebert diskutierten verschiedene Konstruktionsweisen von Stahlverbund-Großbrücken



Voll besetzter AUDIMAX im Hörsaalzentrum zum 29. DBBS | Foto: Stefan Gröschel

mit oberliegender Fahrbahn. Aktuell werden durch das BMVI Regellösungen entwickelt, um häufig wiederkehrende Konstruktionsdetails ausreichend dauerhaft und ermüdungssicher durchzubilden.



Zahlreiche Firmen nutzen die Firmenstände, um ihre neuesten Produkte vorzustellen | Foto: Stefan Gröschel

Den alljährlichen historischen Vortrag hielt Dr. Eugen Kurrer über Kurt Beyers Beitrag zur Baustatik, reich bebildert und mit so mancher Anekdote versehen. Prof. Oliver Fischer schloss an seinen Vortrag vom Vortag an und stellte sich der Frage, ob Nachrechnungsdefizite bei Massivbrücken ein Problem der Tragfähigkeit oder doch nur der Modellvorstellung sind. Passend schloss hier Dr. Hans-Gerd Lindlar mit dem Thema „Was tun, wenn Annahmen und Realität nicht zusammenpassen?“ an. Dr. Angelika Schießl-Pecka analysierte verschie-

dene Maßnahmen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Verkehrsbauwerken. Im Vortrag von Dr. Frank Jesse gewannen die Zuhörer einen Eindruck von den Möglichkeiten des Einsatzes von Carbonbewehrungen im Brückenbau. Das Vortragsprogramm rundete Prof. Dirk Proske mit einem Beitrag zu dem schon oft postulierten „30-Jahre-Zyklus von Brückeneinstürzen“ ab. Indizien für die Existenz des Zyklus sind vorhanden, aber kein klarer Beweis. Dennoch sollte das „Generationenloch“ bei der Personalplanung in Ingenieurbüros berücksichtigt werden. Iussbuch ist in Arbeit. Zudem sind aus der hervorragenden Zusammenarbeit bereits Forschungstransferprojekte initiiert worden, weitere gemeinsame Ideen wurden abgestimmt und sollen in naher Zukunft verwirklicht werden.



Das Hörsaalzentrum der TU Dresden | Foto: Stefan Gröschel

WISSENSCHAFT STATT KISSENSCHLACHT!

Das coolste Event der Stadt!

Über 2500 Forscherinnen und Forscher waren es insgesamt, die die Lange Nacht der Wissenschaften am 14. Juni 2019 wieder zu dem gemacht haben, was sie war: „Das coolste Event der Stadt“, sagte Dresdens Oberbürgermeister Dirk Hilbert. Unter dem Motto „Wissenschaft statt Kissenschlacht“ folgten tausende Besucher an dem Abend dem Ruf der Wissenschaftsnacht und pilgerten bis weit nach Mitternacht über den Campus der TU Dresden.



Wie auch in den Jahren zuvor trugen die Mitarbeiter des Instituts für Massivbau im Innenhof der Georg-Schumann-Straße, vor den Toren der Labore, mit einem unterhaltsamen Programm maßgeblich zum Gelingen des Abends bei. Bis tief in die Nacht war der Andrang an den Ständen ungebrochen groß. Viele der Experimente und Vorführungen waren für Kinder mit sehr viel Liebe zum Detail konzipiert.

Das Institut für Massivbau hatte neben einem Stand zum Basteln mit Beton eine große Attraktion für Kinder und Erwachsene angeboten: das Baggerfahren. Scheinbar mühelos wurden hierbei schwere Stahlträger mit Hilfe eines Kettenbaggers von A nach B gehoben. Am Stand von C³ – Carbon Concrete Composite präsentierten die Kolleginnen und Kollegen das Hightech-Material Carbonbeton und seine Vorteile. Eine Murbahn aus diesem Material kam dabei vor allem bei den Miniforschern sehr gut an. Fast schon überwältigend war die Beteiligung der kleinen Besucher an den Stationen

des Juniorbaumeisters. Wer dabei sieben von zehn Stationen erfolgreich absolviert und abgestempelt hatte, konnte sich über eine Belohnung freuen. Neben der Auszeichnung mit einer Urkunde wurden die Juniorbaumeister mit einer Medaille aus Beton belohnt. Dabei standen fünf verschiedene Motive, vom Schraubenschlüssel bis zur Fachwerkbrücke, zur Auswahl. Erstmals gab es auch für Erwachsene die Möglichkeit, ihr wissenschaftliches Gespür an den Stationen zum Seniorbaumeister unter Beweis zu stellen. Mit viel Geschick konnte auf den Spulen von da Vinci gewandelt und aus bloßen Holzbalken eine Bogenkonstruktion gebaut werden, eine sogenannte Leonardobrücke. Hochmotiviert und konzentriert ging es auch an der Station des Brückenbastelns zu. Mit einem Holzbaukastensystem galt es, eine 50 cm lange Brücke zusammenschrauben. Die verschiedenen Konstruktionen wurden anschließend einem Tragfähigkeitstest unterzogen. Mitunter bedurfte es beim Lösen der Aufgaben des Seniorbaumeisters zwar ein wenig Unterstützung, der Ehrgeiz war aber auch hier ähnlich groß wie bei den kleineren Besuchern.



Souverän organisierte die Fachschaft erneut die Versorgung der zahlreichen Besucher mit Gegrilltem und kühlen Getränken, so dass das Programm auch aus kulinarischer Sicht abgerundet war. Rückblickend lässt sich feststellen, dass es ein sehr aufschlussreicher, horizonszonerweiternder und gelungener Abend war.



Impressionen von der Langen Nacht der Wissenschaft 2019 | Alle Fotos: Stefan Grösel

INFRASTRUKTUROFFENSIVE DER DEUTSCHEN BAHN

TU Dresden und DB Netz AG unterzeichnen Vertrag für Stiftungsprofessur für Ingenieurbau

Die Bahntochter DB Netz AG ist für die Instandhaltung und den Ausbau von Europas größtem Schienennetz mit mehr als 25000 Eisenbahnbrücken und über 33000 Kilometern Streckennetz verantwortlich. Damit Personen- und Güterverkehr in den kommenden Jahren wie prognostiziert stark wachsen können, wollen die Deutsche Bahn AG und die Bundesregierung eine Rekordsumme in die Modernisierung und Digitalisierung des deutschen Schienennetzes stecken.

Das bedeutet, dass bei laufendem Betrieb u. a. Gleisnetz, Tunnel und Brücken erneuert oder ganz ersetzt werden müssen. Für diese Mammutaufgabe holt sich die DB Netz AG Unterstützung aus der Wissenschaft. In den kommenden fünf Jahren finanziert sie am Institut für Massivbau der TU Dresden die Stiftungsprofessur „DB Netz AG-Stiftungsprofessur für Ingenieurbau“, von der sie sowohl vielfältige Impulse für das Monitoring und die Instandhaltung der Infrastruktur als auch hochqualifizierten Nachwuchs erwartet.



Öffentlichkeitswirksames Auftakttreffen zur Vertragsunterzeichnung im Rektorat der TU Dresden | Foto: Stefan Gröschel

Am IMB forschen wir seit langem an Verfahren und Materialien, um Brücken- und Tunnelbau in jeder Hinsicht effizienter zu gestalten und die Bauwerke gleichzeitig beständiger und wartungsärmer zu konstruieren. „Wir sind beeindruckt von der exzel-

lenten Ausbildungskultur an der TU Dresden und den an der Universität begonnenen Forschungsarbeiten im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus“, erklärt DB Netz AG-Vorstand Jens Bergmann. „Mit der engen Zusammenarbeit über die Stiftungsprofessur erhoffen wir uns Antworten auf aktuelle eisenbahnspezifische Forschungsfragen. Die Professur am Institut für Massivbau hat deshalb eine große Bedeutung für den Erhalt und Ausbau eines optimal funktionierenden Schienennetzes.“

„Wir freuen uns sehr über das in die TU Dresden gesetzte Vertrauen. Wir arbeiten seit vielen Jahren in verschiedensten Projekten eng mit der Deutschen Bahn AG zusammen. Wenn wir dank unserer exzellenten interdisziplinären Forschungs- und Ausbildungsarbeit zu einer gelingenden Infrastrukturoffensive beitragen können, dann leisten wir damit einen erheblichen Beitrag für unsere gemeinsame Zukunft“, betont Prof. Hans Müller-Steinhagen, Rektor der TU Dresden.

Prof. Manfred Curbach ist einer der führenden Köpfe bei der Entwicklung von Textil- bzw. Carbonbetons und wurde 2016 gemeinsam mit Prof. Peter Offermann und Prof. Chokri Cherif mit dem Deutschen Zukunftspreis des Bundespräsidenten ausgezeichnet. „An unserem Institut für Massivbau dominieren heute Forschungsarbeiten zum Carbonbeton, zum Impaktverhalten von Beton, zu mehraxialen Beanspruchungen von Beton und zum Brückenbau. Carbonbeton wird einen immensen Innovationschub im Bauwesen auslösen, das Bauen zukunftsfähig machen und einen Paradigmenwechsel im Bauwesen einläuten“, sagt Institutsdirektor Curbach. Man könne den Energiebedarf und den CO₂-Ausstoß bei der Herstellung und Instandsetzung von Bauwerken fast halbieren und wertvolle Res-



TUD-Rektor Prof. Hans Müller-Steinhagen mit den Vorständen der DB Netz AG, Dr. Volker Hentschel (Mi) und Jens Bergmann, bei der Vertragsunterzeichnung | Foto: Stefan Gröschel

ourcen schonen. Dieser Materialwechsel führe zu einer neuen Art zu konstruieren, zu bauen und zu leben, vom plumpen Betonbau der Vergangenheit zur Filigranität, Leichtigkeit und Ästhetik des Betonbaus der Zukunft, konstatiert Curbach.

Die DB Netz AG fördert die Stiftungsprofessur jährlich mit einem sechsstelligen Betrag über einen Zeitraum von fünf Jahren. Die Berufung des Lehrstuhlinhabers erfolgte

Anfang 2020 durch die TU Dresden nach den Bestimmungen des Sächsischen Hochschulfreiheitsgesetzes sowie der Berufungsordnung der TU Dresden. Die Entscheidungsfreiheit der Berufungskommission wurde dabei durch die DB Netz AG nicht berührt oder beeinträchtigt. Die Stiftungsprofessur begann am 01.02.2020.



Hier wird getestet: zerstörungsfreie Untersuchungen und zerstörende Belastungsversuche an einer Vielzahl von Materialien des konstruktiven Ingenieurbaus im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden | Foto: Iurii Vakaliuk

PREISE UND EHRUNGEN

C³-PROJEKT GEWINNT RENOMMIERTEN ENERGY GLOBE AWARD

Das weltweit am häufigsten verwendete Material nach Wasser – der Beton – führt seit jeher zu einem hohen Verbrauch an Rohstoffen. Allein die Herstellung von Zement ist für ca. 6,5 % des gesamten Kohlendioxidausstoßes verantwortlich. Das entspricht etwa der dreifachen Menge CO₂, die durch die globale Luftfahrt emittiert wird. Und doch haben die Bauwerke nur eine begrenzte Lebensdauer von 40 bis 80 Jahren. Die Lösung: eine neue Art des Bauens unter Verwendung von Carbonbeton. Der Stahl im Beton wird durch Carbon ersetzt. Da Carbon nicht rostet, wird all der Beton gespart, der lediglich den Stahl vor der Korrosion schützen soll. Dadurch wird bis zu 80 % weniger an Material verwendet.

Mehr als 2300 Projekte aus 182 Ländern haben sich im Jahr 2018 für den renommierten Preis beworben, der seit 1999 jährlich von der österreichischen Energy Globe Foundation ausgelobt wird. Mit dem Ziel, die Zukunft unseres Planeten zu schützen und das Recht der künftigen Generationen auf ein gesundes und erfülltes Leben auf der ganzen Welt zu wahren, entschloss sich der Gründer Wolfgang Neumann, eine Auszeichnung zu erschaffen, die das allgemeine Bewusstsein für das Thema Nachhaltigkeit erhöht und Vorzeigelösungen aus einer Vielzahl von Ländern präsentiert. Damit sollen die Awards Menschen nicht nur dazu motivieren, nach neuen Lösungen zu suchen, sondern auch Regierungen überzeugen, die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen, die es zum besseren Schutz unserer Umwelt und Gesellschaft bedarf. Die Energy Globe World Awards werden in fünf Kategorien vergeben: Erde, Feuer, Wasser, Luft und Jugend. C³ – Carbon Concrete Composite wurde in der Kategorie Erde nominiert.

Die Preisverleihung fand am 29. Januar 2019 im Moshir-al-Mamalek Hotel Garden in Yazd im Iran statt. Ebenfalls in der Kategorie Erde nominiert waren das Projekt „Ja! Natürlich Green Packaging“ aus Österreich, welches

durch den Einsatz abbaubarer Naturfasern als Lebensmittel-Verpackungen für Obst und Gemüse schrittweise auf Kunststoff verzichten will, sowie das Projekt „Restorative Agriculture with the Seawater Greenhouse“ aus Somalia. Seawater Greenhouse setzt mithilfe einer Gewächshausanlage auf die solarbetriebene Umkehrosmose-Entsalzung von Meerwasser, um dadurch Strom- und Was-



Stefan Minar vom C³-Projekt nahm die Auszeichnung stellvertretend für das gesamte C³-Konsortium entgegen | Foto: Energy-Globe-Foundation

ser für den intensiven Anbau hochwertiger Gartenprodukte in Afrika fördern zu können. Die Vorsitzende der Energy Globe Jury und Ministerin für Kinder- und Frauenentwicklung in Indien, Maneka Gandhi, verkündete die Jury-Entscheidung und kürte C³ – Carbon Concrete Composite e. V. zum glücklichen Gewinner. Gandhi unterstrich die Bedeutung vom Schutz der Ressourcen und der Langlebigkeit von Gebäuden beim Bau mit Carbonbeton in Bezug auf die wachsende Weltbevölkerung.

Yazd, ist eine der ältesten Städte des Irans, gehört zum UNESCO-Weltkulturerbe und war zugleich Austragungsort für die 19. Energy Globe World Award Preisverleihung. Die Stadt zählt mit seinen traditionellen Windtürmen (Badgir), die seit ca. tausend Jahren die Klimatisierung der Gebäude emissionsfrei ermöglichen, zu den Ursprüngen von Nachhaltigkeit.

EMIL-MÖRSCH-DENKMÜNZE

Der 1898 gegründete Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV) hat am 7. März 2019 Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach mit der Emil-Mörsch-Denkmünze geehrt, der höchsten Auszeichnung des Vereins. Die Verleihung durch den DBV-Vorsitzenden Dr. Matthias Jacob erfolgte im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung des Deutschen Bautechnik-Tages 2019 in Stuttgart. Neben seinen fachlichen Qualitäten wurde auch seine gewinnende und menschliche Größe gewürdigt. Als leidenschaftlicher Lehrer und echter Teamplayer teilt Manfred Curbach sein Wissen in zahlreichen Ehrenämtern, folgerichtig ist er beispielsweise Mitglied in der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina.

Der DBV stiftet seit 1938 im Turnus von zwei Jahren die Emil-Mörsch-Denkmünze zur Ehrung von Persönlichkeiten, die sich durch besondere Leistungen auf dem Gebiet des Betonbaus ausgezeichnet und diese Bauart gefördert haben.



Die Emil-Mörsch-Denkmünze | Foto: Stefan Gröschel



Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach wird mit der Emil-Mörsch-Denkmünze ausgezeichnet | Foto: DBV, Ulf Büschleb

„INNOVATIONSPREIS BAUTECHNIK 2019“ DES DBV

Dipl.-Ing. Michael Frenzel ist der Gewinner des diesjährigen „Innovationspreises Bautechnik“, der vom Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV) am 8. März 2019 in Stuttgart verliehen wurde. Mit seiner Forschungsarbeit „Deckentragwerke aus geschichteten Betonen – leicht und effizient“ und seinem fundierten Vortrag überzeugte Michael Frenzel beim „Kolloquium für Jungingenieure“ am 07. März 2019 in Stuttgart das Preisgericht und gewann damit den „Innovationspreis Bautechnik 2019“. Um Deckentragwerke nun gewichtsreduziert und ressourcenschonend herstellen zu können, entwickelt Michael Frenzel im Rahmen seiner Dissertation an der Technischen Universität Dresden querschnitts- und formoptimierte Konstruktionen.



Der Gewinner des „Innovationspreises Bautechnik 2019“, Dipl.-Ing. Michael Frenzel, mit dem DBV- Vorsitzenden Dr. Jacob (rechts) und dem Vorsitzenden des Preisgerichts, Prof. Curbach (links), bei der Preisverleihung am 08. März 2019 in Stuttgart | Foto: DBV, Dariusz Misztal

CARL FRIEDRICH GAUSS-MEDAILLE 2019

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (BWG) verleiht die Carl Friedrich Gauß-Medaille 2019 an Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Direktor des Instituts für Massivbau der Technischen Universität Dresden, in Würdigung seiner Leistungen und Verdienste bei der Erforschung und Anwendung neuer Baustoffe und Bauweisen für den Betonbau.

Manfred Curbach ist einer der herausragenden Bauforscher dieser Zeit. Er hat besondere Leistungen für die Entwicklung der Bautechnik im Betonbau erbracht. Auf seine Impulse, seine Kreativität und seine begeisterte Überzeugungskraft sind maßgebliche moderne Entwicklungen zurückzuführen, vor allem die Textilbetonbauweise als Basis für einen Paradigmenwechsel im Betonbau von „schwer, massig, trist“ zu „filigran, leicht, elegant“ und die aktuelle Erforschung von Carbonbewehrung im Betonbau an Stelle von Stahlbewehrung.

Manfred Curbach versteht es in beeindruckender Weise, zukunftsweisende Forschungsthemen zu erdenken, zu realisieren, die Ergebnisse zu vermitteln, in die Baupraxis umzusetzen und dort zu erfolgreicher Anwendung zu begleiten. Durch seine Arbeiten werden maßgebliche Weichenstellungen für die Entwicklung des Bauens in der Zukunft zu verbesserter Leistungsfähigkeit, Ästhetik, Ressourcenschonung und Wirtschaftlichkeit ermöglicht.



Die Carl Friedrich Gauß-Medaille | Foto: Stefan Gröschel

KURT-BEYER-PREIS 2018 FÜR SEBASTIAN WILHELM

Dr.-Ing. Sebastian Wilhelm untersuchte in seiner Dissertation „Einsatz von UHPC-Druckgehäusen zum Schutz vor extremen Umgebungsbedingungen in der Tiefsee“, wie sich ultrahochfester Beton für Unterwasser-Druckgehäuse eignet. Ziel war es, eine kostengünstige und dauerhafte Alternative zu teuren Gehäusen aus Titan zu schaffen. Er entwickelte am Institut für Massivbau ein wiederverschließbares Druckgehäuse aus UHPC für den Einsatz bis in 3000 m Tiefe und analysierte u. a. das zeitabhängige Materialverhalten, die Durchlässigkeit und die Dauerhaftigkeit von UHPC. Die Versuche wurden numerisch simuliert. Aus den Messdaten kalibrierte Dr.-Ing. Wilhelm ein Materialgesetz. Er konnte nachweisen, dass Betondruckgehäuse mit 35 mm Wandstärke und 250 mm Außendurchmesser kurzzeitig sogar einem Druck von 60 MPa, das entspricht



Betondruckgehäuse mit verklebter Saphirglasscheibe | Foto: Sebastian Wilhelm

6000 m Wassertiefe, standhalten. In der Praxis konnte Dr.-Ing. Wilhelm mit dem Druckgehäuse bereits eine einjährige Tiefsee-Feldstudie in der Arktis realisieren.

Der mit 5.000 Euro dotierte Kurt-Beyer-Preis der TU Dresden wurde in diesem Jahr bereits zum 23. Mal vergeben.

40. JAHRESTAG DES DIPLOMS

Erinnerungen und Ausblick

Am 14.09. fand im Otto-Mohr-Laboratorium eine besondere Veranstaltung statt. Anlässlich des 40. Jahrestages der Verleihung ihres Diploms trafen sich 25 ehemalige Bauingenieur-Studierende zur Jahrgangsfeier. Ursprünglich war der Wunsch nach der Besichtigung des Beyer-Baus, um sich mental auf die vielen Erinnerungen einzustimmen. Durch die Baumaßnahmen war das jedoch leider nicht möglich. Da jedoch einige der Absolventen im Otto-Mohr-Laboratorium gearbeitet oder als Studenten im Labor Praktika durchgeführt haben, war die Alternative leicht gefunden.



Begleitet wurde die Veranstaltung durch einen Vortrag von Prof. Curbach zu den Chancen des Bauens mit Carbonbeton. Dieser fand unter den ehemaligen Studierenden großen Anklang und Begeisterung. Durch die Professoren Schmidt und Opitz, die zu der Zeit der Alumni ebenfalls an der TU tätig waren, wurde ein Bogen von der alten zur neuen Zeit geschlagen. Zum Abschluss fand noch eine Besichtigung des Labs statt, bei der sich der eine oder andere freute, noch eine Maschine „von früher“ in Betrieb zu sehen.



Ein Wiedersehen nach 40 Jahren | *Alle Fotos: Sabine Wellner*

ZUKUNFT TRIFFT VERGANGENHEIT

Projekttag 2019

Der traditionelle Projekttag am Institut für Massivbau führte uns zu Beginn der zweiten Jahreshälfte ins südliche Brandenburg an den Bergheider See. An dem gefluteten Restloch des ehemaligen Tagebaus Klettwitz-Nord stand eine Besichtigung des erst kürzlich eingeweihten schwimmenden autartec®-Hauses auf dem Programm. Eckart Schulze vom Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI erläuterte uns in einer interessanten Führung das innovative Projekt, welches im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Wachstumskerns entstand. Gemeinsam mit verschiedenen Partnern war das Institut für Massivbau für die Entwicklung und Prüfung von Bauteilen aus Carbonbeton zuständig, die einerseits statische Aufgaben übernehmen und andererseits Stauraum bieten sollten, um die Technikmodule, die für ein autarkes Wohnen benötigt werden, platzsparend verstauen zu können. Mit dem unkonventionellen Aussehen und einer Vielzahl implementierter neuer Technologien soll die schwimmende Konstruktion das Lausitzer Seenland bereichern und symbolisch für sowohl vernetzte alternative Energiekonzepte als auch eine moderne Wohnkultur stehen.

Im Anschluss daran folgte im angrenzenden Besucherbergwerk die Besichtigung von einer der größten beweglichen, technischen Arbeitsmaschinen der Welt – die Abraumförderbrücke F60. Im Volksmund gern als „liegender Eiffelturm der Lausitz“ bezeichnet, wurde der stählerne Gigant vor 27 Jahren stillgelegt und ist seit 1998 für die Öffentlichkeit zugänglich. In mehreren kleinen Gruppen erfolgte der Aufstieg bis zum sogenannten „Kanzlerblick“, der Spitze der Brücke. 75 Meter über dem Boden eröffnete sich bei herrlichem Wetter ein fantastischer Rundblick über die Lausitz und das ehemalige Tagebaugelände.



Besichtigung des autartec®-Hauses am Ufer des Bergheider Sees



Der „liegende Eiffelturm der Lausitz“ – die Abraumförderbrücke F60



Fast vollzählig: das Team des Instituts für Massivbau



Grandiose Aussicht vom Kanzlerblick | Alle Fotos: Stefan Gröschel

LAUFFREUDIGE BAUINGENIEURE BEI DER REWE TEAM CHALLENGE

Wissenschaftler wissen zwar nicht ganz genau warum, doch Joggen macht viele Menschen glücklich. Durch das Laufen werden die begehrten Glückshormone im Körper freigesetzt, die Laune wird schlagartig besser. Eine erhöhte Serotonin-Produktion soll unter anderem für das sich einstellende Glücksgefühl nach dem Sport verantwortlich sein.

Die inzwischen elfte Auflage der beliebten REWE Team Challenge hat wieder neue Maßstäbe gesetzt. Sagenhafte 25000 Teilnehmer*innen fanden sich am 29. Mai 2019 zum alljährlichen Lauf-Event zusammen. Bei bestem Frühsommerwetter und mit jeder Menge Motivation im Gepäck stellte das Institut für Massivbau gleich drei Teams für die Jagd auf die besten Platzierungen.

Zahlreiche begeisterte Zuschauer säumten die 5 km lange Strecke quer durch die Innenstadt und feuerten die Läufer lautstark an. Vorbei an zahlreichen Sehenswürdigkeiten der Landeshauptstadt Dresden führte die abwechslungsreiche Strecke zum Ziel-einlauf in das Rudolf-Harbig-Stadion.

Insgesamt hatten sich 650 Personen von der Technischen Universität Dresden für den Lauf angemeldet – unser Frauenteam „MASSIVinForm“ konnte sich dabei gegen alle anderen weiblichen Teams der TU Dresden behaupten und einen hervorragenden 1. Platz erlaufen.

Ein tolles Event, an dem sicherlich zahlreiche Kolleginnen und Kollegen auch im Jahr 2020 teilnehmen werden, denn die Vorteile der sporlichen Aktivität sind allseits bekannt. Nicht nur die eigene körperliche Fitness wird gestärkt, das Laufen im Team fördert ebenso den Zusammenhalt untereinander. Das Training für die nächste Auflage hat bereits begonnen. Wir sind gespannt.



Die hoch motivierten Läufer*innen des IMB | Foto: Detlev Müller

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

REWE TEAM CHALLENGE 2019

„MASSIVinForm“

Teamzeit	1:52:01
Silvia Hasubold	27:34
Silke Scheerer	25:30
Elisabeth Schütze	33:21
Juliane Wagner	25:35

1. PLATZ
Schnellstes TU-Frauenteam

IG 4.7 Gesundheitsdienst

FUD GEMEINSAM
Fit - Gesund - Leistungsstark

„MEGATREND – CARBONBETON“

Ausstellung im DrePunct

In jede beliebige Form gebracht, gestaltet Beton die Welt, in der wir leben. Er ist ein hervorragender Baustoff, dessen Geschichte sehr weit zurückreicht. Da Beton kaum Zugkräfte aufnehmen kann, sorgt seit dem 19. Jahrhundert der Stahl für die Stabilität des Materials. Der Stahlbeton hat jedoch eine entscheidende Schwäche: Er ist korrosionsanfällig. Die Alternative heißt Carbonbeton. Das innovative Material ist ein Verbundwerkstoff aus Hochleistungsbeton und einer Bewehrung aus Carbon. Die Revolution steckt dabei in den Carbon- bzw. Kohlenstofffasern, die für Leichtigkeit, Flexibilität und Festigkeit sorgen.

Die Ausstellung „Megatrend – Carbonbeton“ wurde am 11. April in der Bereichsbibliothek DrePunct durch den Generaldirektor der SLUB, Dr. Achim Bonte, und den Vorstandsvorsitzenden des C³ – Carbon Concrete Composite e. V., Prof. Manfred Curbach, feierlich eröffnet. Die Ausstellung verdeutlichte, welche Vielfalt und welche Wandelbarkeit sich hinter dem innovativen Material verbergen.

Neben wissenschaftlichen Aspekten und praktischer Anwendung wurden die Eigenschaften des Materials auf ungewöhnliche Weise präsentiert: eine Symbiose des altbekannten Baustoffes Beton mit dem leichten Carbongelege in Form eines Kleides sowie ein Auto aus Carbonbeton mit integrierter Popcornmaschine.



Prof. Manfred Curbach und Dr. Achim Bonte eröffnen die Ausstellung



Bis zu fünfzigtausend dieser feinen Fasern werden zu einem Garn zusammengefasst



Kleid aus Carbonbeton | Alle Fotos: Stefan Gröschel

JAHRESAUSKLANG IM OTTO-MOHR-LABORATORIUM

Weihnachtlicher Duft erfüllte die große Versuchshalle des Otto-Mohr-Laboratoriums. Wo sonst Prüfsingenieure emsig werkeln, zerstörungsfreie Untersuchungen und zerstörende Belastungsversuche an einer Vielzahl von Materialien des konstruktiven Ingenieurbaus durchführen, stand Mitte Dezember eine lange und reich geschmückte Tafel voller Köstlichkeiten für die Kolleginnen und Kollegen des Instituts für Massivbau bereit – es war Zeit für den traditionellen Jahresausklang.

Institutsdirektor Prof. Manfred Curbach blickte zufrieden auf das ereignisreiche Jahr 2019 zurück. Er bedankte sich bei allen für die geleistete Arbeit und das enorme Engagement. Anschließend gab er einen kleinen Ausblick auf das kommende Jahr und die vielfältigen Aufgaben, die allen bevorstehen. Eins ist sicher: Am Institut für Massivbau kommt Langeweile niemals vor.

Traditioneller Christstollen, weihnachtliches Gebäck, internationale Naschereien, aber auch an die Gesundheit hat das Organisationsteam gedacht und so durfte natürlich Obst nicht fehlen. In weihnachtlicher Stimmung, bei Kaffee und Tee blickten alle Kolleginnen und Kollegen zufrieden zurück und genossen sowohl die Weihnachtsmusik als auch die liebevoll angefertigte Weihnachtsdekoration. Zwei Highlights – eine große Pyramide aus Carbonstäben und ein aufwendig gestalteter Schwibbbogen mit Betonrückwand – sorgten für Gemütlichkeit in der Prüfhalle, in der sonst eine professionelle Stimmung herrscht.

Im kulturellen Teil des Nachmittages konnte jeder sein Wissen in einem Quiz unter Beweis stellen. Es galt, bekannte Bauwerke anhand von stark verpixelten Fotografien zu erkennen. Dies gestaltete sich bei manchen Sehenswürdigkeiten als recht fordernde Aufgabenstellung.



Eine lange Tafel für fast 70 Gäste, umgeben von Prüfmaschinen



Weihnachtliche Dekoration | Alle Fotos: Sabine Wellner

Mit geselligem und äußerst leckerem Essen, netten Gesprächen und der einen oder anderen Partie am Betonkicker klang der Abend ruhig aus.



Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Jakob Bochmann (Mitte) verteidigte im Juni 2019 erfolgreich seine Dissertation und darf sich nun bald Dr.-Ing. nennen | Dipl.-Ing. Jakob Bochmann's (in the middle) successful defence was in the middle of 2019 | Photo: Stefan Gröschel

PROMOTIONEN



Jakob Bochmann

CARBONBETON UNTER EINAXIALER-DRUCKBEANSPRUCHUNG

CARBON CONCRETE UNDER UNIAXIAL COMPRESSION LOAD

Die Forschung an Carbonbeton konzentrierte sich bisher überwiegend auf die Untersuchung des Tragverhaltens unter Zugbeanspruchung und die Entwicklung entsprechender Bemessungsmodelle für grundlegende Belastungsarten. Zur vollständigen und detaillierten Klärung des Tragverhaltens von Carbonbetonkonstruktionen ist es jedoch notwendig, das Verhalten unter Druckbeanspruchung zu kennen, da erste Erkenntnisse reduzierte Druckfestigkeiten vermuten lassen.

In der Dissertation werden erste systematische Untersuchungen zum Tragverhalten von Carbonbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung durchgeführt. Ein optimierter Versuchsaufbau erlaubte es, eine Vielzahl

Carbon reinforced concrete for the strengthening of steel reinforced concrete components is perceived by the construction industry as a promising alternative to the currently established construction methods. Previous building authority approvals and approvals for this construction method largely exclude questions of load-bearing behaviour in case of fire, since there are very few reliable research results available.

The dissertation describes experimental investigations with which information can be obtained on the effect of a temperature load on the load-bearing and deformation behaviour of carbon concrete as a function of temperature field development and static load.

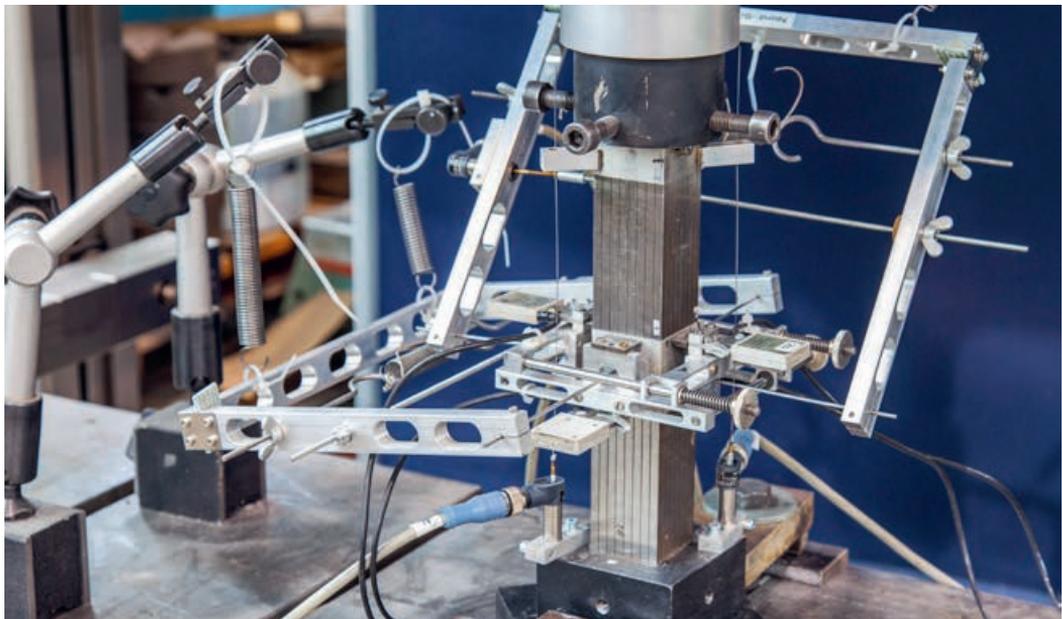
von Einflussparametern, wie z. B. die Textilgeometrie, Garnstärke, Tränkung oder die Ausrichtung der Gelege, zu untersuchen. Die Auswertung des umfangreichen Versuchsprogramms erfolgte hauptsächlich an Hand der aufgenommenen Bruchbilder und der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen in Längs- und Querrichtung. Ergänzend zu den Versuchen wurden numerische Untersuchungen hinsichtlich der Spannungsverteilung im Probekörper durchgeführt.

Als Ergebnis der Arbeit konnte das Tragverhalten von Carbonbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung beschrieben werden. Grundlegend wurde ein anisotropes Verhalten von Carbonbeton unter Druck festgestellt. Die beobachteten Druckfestigkeiten waren dabei stark von der Ausrichtung der Gelege zur Lastrichtung und vom vorhandenen Bewehrungsgrad abhängig. Basierend auf diesen Feststellungen werden zwei verschiedene Berechnungsmodelle zur Beschreibung der Druckfestigkeitsreduktion vorgeschlagen.

The performance, evaluation and results of the thermogravimetric analyses of the carbon reinforcement, tensile tests on the composite material carbon concrete as well as bending tests on carbon concrete reinforced concrete slabs are explained.

As an essential result of the theoretical investigations, a calculation method for determining the load-bearing capacity of reinforced concrete slabs for the fire case is presented. This calculation method serves, among other things, to obtain a basic understanding of the load-bearing and deformation behaviour under high temperature and to classify components in accordance with the legal requirements.

This dissertation thus represents an essential basis for further research in the field of high-temperature behaviour of carbon concrete and a broader application spectrum for reinforcements with carbon concrete in building construction.



Versuchsstand mit Messvorrichtung | *Test set-up with measuring device* | Photo: Sven Hofmann

► **Gutachter | Experts**

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

Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich

Dr.-Ing. Frank Jesse

Matthias Quast

BETONDRUCKFESTIGKEIT UNTER ZWEIAXIALER DYNAMISCHER BELASTUNG

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH UNDER BIAXIAL DYNAMIC LOAD

Die Grundlage dieser Dissertation bildet die Entwicklung und Optimierung eines zweiachsialen Split-Hopkinson-Bars zur gleichzeitigen Impaktbelastung einer Betonprobe aus zwei Raumrichtungen. Dieser weltweit bislang einzigartige Versuchsstand ermöglichte die Durchführung einer Vielzahl von ein- und zweiachsialen dynamischen Druckfestigkeitsuntersuchungen an Proben aus verschiedenen Betonen. Begleitend dazu wurden auch die statischen ein- und zweiachsialen Referenzdruckfestigkeiten ermittelt.

Mit der Auswertung der Versuchsdaten wurde die Interaktion der festigkeitssteigernden Effekte aus mehrachsialer Druckbelastung und dynamischer Einwirkung herausgearbeitet. Weiterhin konnten die beiden Einflüsse getrennt voneinander erfasst und quantifiziert werden.

Die neu gewonnenen Erkenntnisse wurden als dreidimensionale Abhängigkeit der Spannungen in den beiden Belastungsrichtungen von der Dehnrate abgebildet. Dieser Zusammenhang wurde zudem mit einem vereinfachten Ingenieurmodell approximiert. In weitergehenden Analysen der Hochgeschwindigkeitsvideos der dynamischen Versuche konnte gezeigt werden, dass sich die Verformungen an der Probenoberseite für unterschiedliche Belastungsarten signifikant unterscheiden. Zudem wurde die Partikelverteilung der Bruchstücke der zerstörten Proben ermittelt. Es zeigte sich, dass die Verteilung der Partikelgröße stark von der Dehnrate abhängig ist. Die Partikelgeometrie und die Form und Masse der Kernbruchstücke hängen dagegen vom Spannungsverhältnis ab.

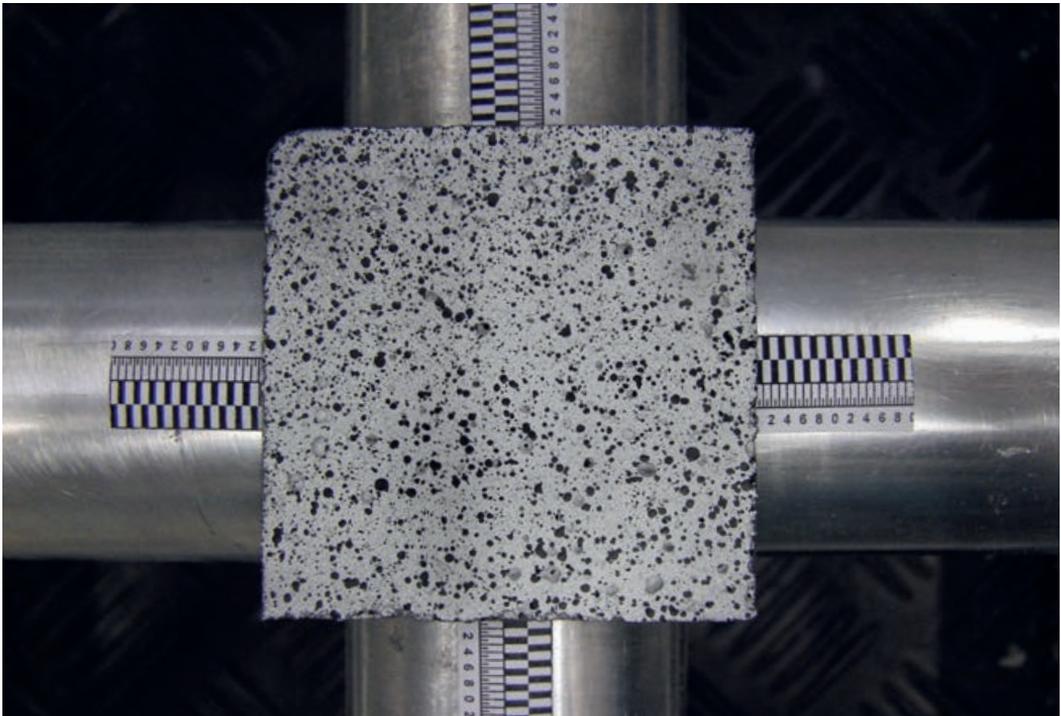
The bond between concrete and reinforcing steel is fundamental to the load bearing capacity of reinforced concrete structures. It has been investigated intensively under static conditions. By contrast, comparably little attention has been paid to its investigation under dynamic loading. Several experimental studies indicate strength or rather resistance enhancements with increasingly dynamic loading. The phenomenon is known as strain or loading rate effect, and its causes are still not fully clarified.

This dissertation provides a numerical view of the bond of reinforcement in concrete and investigates its loading rate-dependent behaviour. Finite element analyses focusing on structural and inertia effects were carried out. Modelling was conducted at the rib scale, where the bond is predominately controlled by mechanical interaction. In the first step, the model was developed and calibrated. Its quality, credibility, and limitations were assessed by a series of numerical case studies, and the results are compared with available experimental data. Numerical parametric studies followed. The loading rate dependence of bond was featured, loading rate-dependent characteristics were identified and conclusions on causes of the phenomenon drawn. It was shown that structural effects are strongly involved, and the same holds for hydrostatic pressure stress states and inertia effects.

Examination of the influence of concrete inhomogeneity on the loading rate-dependent behaviour of the bond was also undertaken. The model was modified and random distribution fields were implemented. The higher the loading rate was, the more pronounced the scattering of data was. This implicates that a larger number of tests is necessary to provide an adequate statistical basis for results achieved under dynamic loading as compared to static loading.



Dipl.-Ing. Matthias Quast empfängt die Glückwünsche von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach | *Dipl.-Ing. Matthias Quast receives the congratulations from Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach* | Photo: Stefan Gröschel



Probekörper im zwei axialen Split-Hopkinson-Bar | *Test specimen in the biaxial split-Hopkinson bar* | Photo: Matthias Quast

► **Gutachter | Experts**

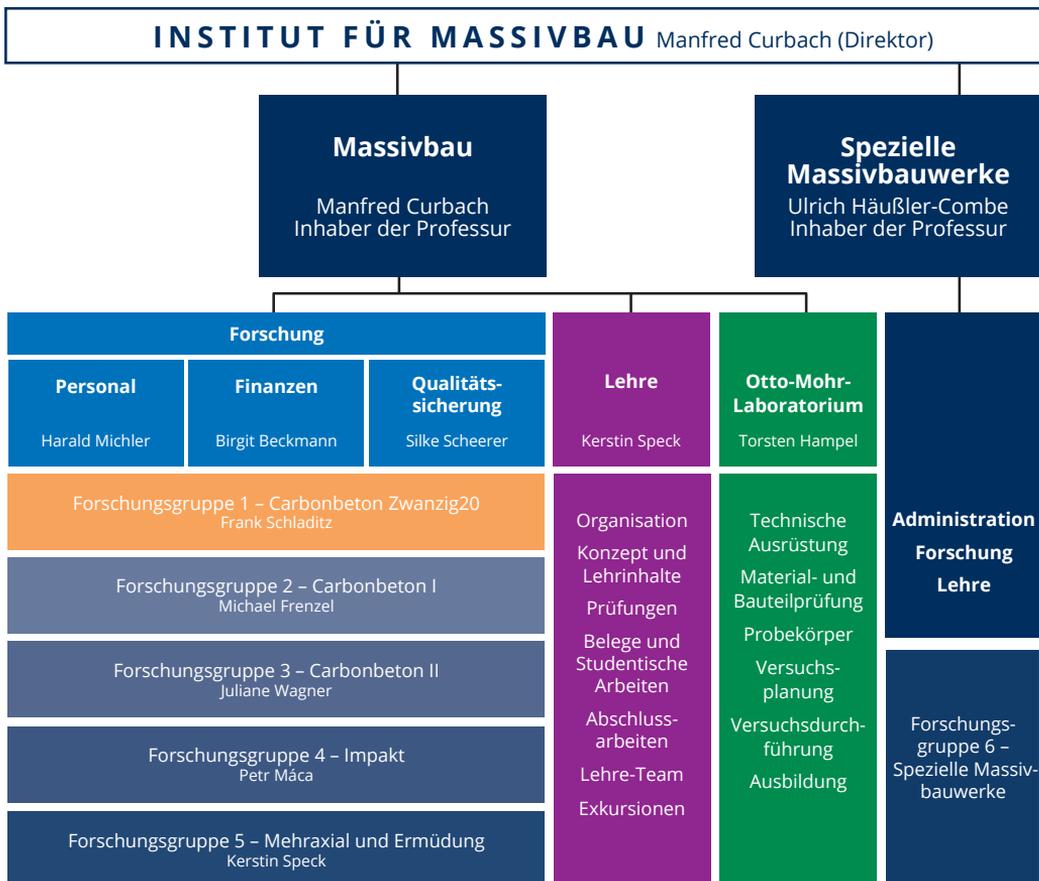
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

DAS INSTITUT IN ZAHLEN UND FAKTEN

Die Arbeit an dem im Rahmen des Programms Zwanzig20 des BMBF geförderten Großprojekts C³ – Carbon Concrete Composite stellt weiterhin einen zentralen Schwerpunkt unserer Forschungsaktivitäten dar. Kern unserer Forschungsarbeit sind neben der Forschung an textil- bzw. carbonbewehrtem Beton und Untersuchungen zum Leichtbau mit Beton auch Untersuchungen von Beton unter hochdynamischer, mehraxialer oder zyklischer Beanspruchung sowie die Untersuchung von ultrahochfestem Beton (UHPC) – Betonverhalten in all seinen Facetten.

Am Institut für Massivbau waren im Jahr 2019 18 technische Mitarbeiter*innen und 42 wissenschaftliche Mitarbeiter*innen und zwei Professoren tätig. Für 2020 konnte die Einrichtung einer neuen Professur für Carbonbeton vorangetrieben werden (Auswahlverfahren läuft) sowie die Stiftungsprofessur für Ingenieurbau eingerichtet werden, die zum 01.02.2020 besetzt wurde. Im Jahr 2019 konnten Drittmittel in Höhe von annähernd 3,34 Mio. EUR eingeworben werden.

■ Organisationsstruktur des Instituts



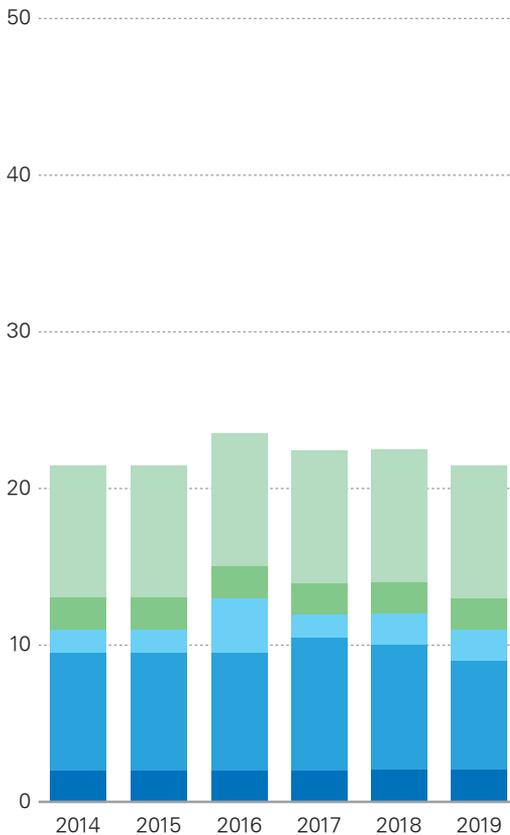
Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand 31.12.2019)

■ Drittmittelausgaben in den Jahren 2015–2019

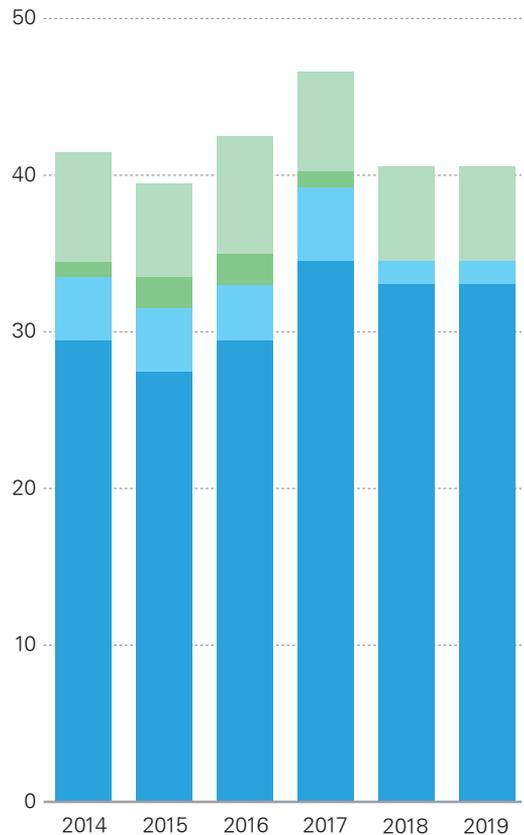
	2015	2016	2017	2018	2019
DFG	623.000 €	647.750 €	756.700 €	544.527 €	508.215 €
Bund/Länder	1.825.150 €	1.663.950 €	2.384.720 €	2.546.094 €	2.622.901 €
Stiftungen	95.500 €	98.600 €	57.270 €	-	-
Industrie	88.100 €	45.200 €	294.400 €	164.539 €	209.825 €
Gesamt	2.631.750 €	2.455.500 €	3.493.090 €	3.255.161 €	3.340.941 €

■ Personalentwicklung (Stand vom 31.12.2019)

Stellen aus Haushaltsmitteln finanziert



Stellen aus Drittmitteln finanziert



■ Technische Mitarbeiter*innen Institut
■ Wissenschaftliche Mitarbeiter*innen Institut
■ Professoren

■ Technische Mitarbeiter*innen Otto-Mohr-Laboratorium
■ Wissenschaftliche Mitarbeiter*innen Otto-Mohr-Laboratorium

■ Forschungsprojekte

Im Folgenden sind die Forschungsprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2019 bearbeitet wurden.

► **Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit des SPP 1542**

Förderer: DFG/SPP 1542
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1
 01.10.2014–30.06.2020 – Phase 2

► **Querschnittsadaption für stabförmige Druckbauteile**

Förderer: DFG/SPP 1542
 Laufzeit: 01.07.2011–30.09.2014 – Phase 1
 01.10.2014–30.06.2020 – Phase 2

► **DEM-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton**

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.03.2012–28.02.2014 – Phase 1
 01.08.2014–31.07.2016 – Phase 2
 15.05.2017–14.05.2019 – Phase 3

► **Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitsbehälter (Flugzeugtanks)**

Förderer: BMWi
 Projektträger: GRS
 Laufzeit: 01.07.2012–31.12.2014 – Phase 1A
 01.08.2014–31.07.2016 – Phase 1B
 01.04.2017–31.06.2020 – Phase 1C

► **Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderer: BMWi
 Projektträger: GRS
 Laufzeit: 01.10.2014–31.12.2017 – Phase 1
 01.05.2018–30.04.2022 – Phase 2

► **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 – Phase 1
 01.11.2018–31.05.2022 – Phase 2

► **C3-S2: Strategiefortschreibung und konzeptionelle Innovationsförderung von Carbon Concrete Composite – C³**

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.07.2015–31.12.2020

► **Experimentelle Untersuchungen des Tragverhaltens von Textilbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung**

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.09.2015–31.05.2018 – Phase 1
 01.03.2019–30.06.2022 – Phase 2

► **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/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.01.2016–31.08.2020

► **C3-V4.2: Vorgespannter Carbonbeton für Straßenbrücken und Flächentragwerke**

C3-V4.2-VI: Entwicklung kompakter Verankerungselemente für Spannverfahren ohne Verbund

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2016–30.10.2019

► **Materialermüdung von On- und Offshore Windenergieanlagen aus Stahlbeton und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung**

TP: Verbund unter Zugschwellbeanspruchung

Förderer: BMWi/WinConFat
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.11.2016–31.10.2020

► **C3-V4.12: Carbonbeton zur fugenlosen Instandsetzung geschädigter Betonfahrbahndecken**

TP C3-V4.12-II: Rissbreitenuntersuchung

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.03.2017–31.08.2019

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

Förderer: DFG
 Laufzeit: 01.04.2017–31.09.2020

► **C3-E-I: Qualitätssicherung Carbonbeton**

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

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2017–30.06.2020

► **C3-V2.3: Brandverhalten von Carbonbeton**

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

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2017–30.06.2020

► **C3-V2.7: Erstellung von Gesamtkonzepten für die nachträgliche Bauteilverstärkung mit Carbonbeton**

TP: C3-V2.7-I-a: Bemessungsmodelle und Materialspezifikation

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2020

► **GRK-TP A5: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impact auf der impactabgewandten Seite**

Förderer: DFG/GRK 2250/1
 Laufzeit: 01.05.2017–30.04.2020

► **GRK-TP A6: Verstärkung von flächigen Massivbauelementen gegen Impact auf der impactzugewandten 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-W: Analyse der C3-Wertschöpfungskette und ihrer Wettbewerbsfähigkeit**

TP 2: Technische Aspekte und Analysen im Verbundvorhaben

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 07.2017–06.2019

► **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/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.09.2017–30.06.2020

► **C3-V3.1: Ergebnishaushaus des C³-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/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.09.2017–30.04.2021

► **Einfluss lastinduzierter Temperaturfelder auf das Ermüdungsverhalten von UHPC bei Druckschwellbelastung**

Förderer: DFG/SPP 2020
 Laufzeit: 01.09.2017–31.08.2020

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

Förderer: BMWi
 Projektträger: GRS
 Laufzeit: 01.09.2017–31.08.2020

► **Simulation des Betonbruchverhaltens mit diskreten Elementen**

Förderer: Institut für Massivbau, TU Dresden
 Laufzeit: seit 01.11.2017

► **C3-V4.6: Energiespeichernder Carbonbeton**

TP C3-V4.6-II: Konstruktionskonzept eines funktionsintegrierten Bauelements

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.04.2018–31.03.2020

► **C3-V4.19: Carbonbewehrte Parkhausdeckenplatten**

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

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.04.2018–31.03.2020

► **C3-V3.4: Mechanische Verankerung**

TP C3-V3.4-I: Untersuchungen zum Verbundverhalten mit mechanisch wirkenden Bewehrungsstrukturen

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.04.2018–31.03.2020

► **Bausystem 2.0 für Carbonbeton – Bezahlbares Bauen durch eine digitalisierte und automatisierte Wertschöpfungskette**

Förderer: ESF/Freistaat Sachsen
 Laufzeit: 01.05.2018–30.04.2021

► **Modellierung von Stahlfaserbeton-Verbundwerkstoffen unter hohen Belastungsraten**

Förderer: Ministry of Higher Education and Scientific Research, Sudan
 Laufzeit: 01.08.2018–31.12.2020

► **Profil-Carbonrovings – neuartige Carbonfaserstränge für eine optimierte Betonbewehrung**

Förderer: Institut für Massivbau, TU Dresden
 Laufzeit: 01.08.2018–30.09.2019

► **Thermisch aktivierte Verbindungen im Modularen Bauen (TAVIMBA)**

TP 4: Auslegung der Verbindungen gemäß bautechnischer Anforderungen

Förderer: BMBF/smart³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Zeitraum: 01.09.2018–28.02.2021

► **Machbarkeitsstudie zum Einsatz von Carbonbeton bei Infrastrukturbauwerken**

Förderer: SAB
 Laufzeit: 01.10.2018–30.06.2019

► **Machbarkeitsstudie zur Anwendung von Carbonbeton für Trenn- und Sicherungssysteme in Bahntunneln und Schächten**

Förderer: SAB
 Laufzeit: 01.10.2018–30.06.2019

► **C3-V4.17: Automatisiertes C³-Doppelwandsystem**

TP 3: Prüfkonzeptentwicklung für und Kennwertermittlung von Doppelwandsystemen

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.11.2018–31.10.2020

► **Entwicklung einer Verbindungstechnologie für Brettsperrholz-Wandkonstruktionen mit hohem Schubwiderstand**

Förderer: BBSR/„Zukunft Bau“
 Laufzeit: 15.12.2018–15.08.2020

► **C3-V2.5A: Beanspruchungsgerechte Carbonbewehrungsstäbe für einen wirtschaftlichen Einsatz im Bauwesen**

TP C3-V2.5A-I-b: Numerische Simulation des Verbundverhaltens zwischen Carbonstrukturen und Beton

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.01.2019–31.03.2020

► **C3-L6: Bemessung und bauliche Durchbildung**

TP C3-L6-II: Entwurf und Bemessung von Carbonbeton-bauteilen mit Stabwerkmodellen und für Torsionsbeanspruchungen

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.01.2019–30.06.2020

► **C3-L9: Regelwerke**

TP C3-L9-II: Zusammenführung und Erstellung von Sicherheits- und Bemessungskonzepten für Carbonbeton zur Erstellung eines normativen Regelwerkes

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2019–30.04.2021

► **Textilbewehrter Oberbeton als Basis für eine fugenlose Oberfläche von Betonfahrbahnen (TOBFOB)**

Förderer: BAST
 Laufzeit: 01.05.2019–31.10.2020

► **C3-Invest: Carbonbetontechnikum Deutschland**

TP I: Prüflabor: Anpassung bestehender technischer Anlagen (Hydraulikanlage)

Förderer: BMBF/C³
 Projektträger: FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 01.05.2019–31.12.2020

► **Entwicklung einer Maschine für die Herstellung von Carbonstabmatten**

TP: Entwicklung von Bewehrungsmatten aus Carbonstäben

Förderer: BMWi
 Projektträger: AiF/ZIM
 Laufzeit: 01.06.2019–31.12.2020

► **Entwicklung der technisch-technologischen Lösung zur Dimensionierung und Herstellung von Textilbetonelementen für modular und formflexibel gestaltbare portable Großbehälter (TextonSilo)**

TP: Materialentwicklung und -prüfung von Fertigteilen aus Textilbeton für den Bau von Großbehältern

Förderer: BMWi
 Projektträger: AiF
 Laufzeit: 30.06.2019–31.05.2021

► **Druckgehäuse aus ultrahochfestem Beton für die Meerestechnik (DeepCsolution)**

Förderer: BMWi
 Projektträger: PTJ/Maritimes Forschungsprogramm
 Laufzeit: 01.12.2019–30.11.2022

■ Ausgewählte Publikationen

Chudoba, R.; Sharei, E.; Senckpiel-Peters, T.; Schladitz, F.: Numerical Modeling of Non-Uniformly Reinforced Carbon Concrete Lightweight Ceiling Elements. Applied Sciences, Special Issue "Textile Reinforced Cement Composites: New Insights in Structural and Material Engineering" 9 (2019) 7, 2348, 23 S. – DOI: 10.3390/app9112348

Deutscher, M.; Tran, N. L.; Scheerer, S. Experimental Investigations on the Temperature Increase of Ultra-High Performance Concrete under Fatigue Loading. Applied Sciences 9 (2019) 19, 4087, 17 S. – DOI: 10.3390/app9194087

Häussler-Combe, U.; Weselek, J.; Jesse, F.: A Safety Concept for Non-Metallic Reinforcement for Concrete under Bending. ACI Structural Journal 116 (2019) 1, S. 151–159

Holz, K.; Curbach, M.: Zugtragverhalten von Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung. Beton- und Stahlbeton, first publ. online: 23.9.2019, 9 S. – DOI: 10.1002/best.20190003

Mosig, O.; Curbach, M.: Einfluss der Wassersättigung auf die statische und dynamische Druckfestigkeit von Beton. Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019) 3, S. 168–175 – DOI: 10.1002/best.201800094

Mosig, O.; Quast, M.; Curbach, M.: Die zwei-axiale dynamische Druckfestigkeit von Beton. Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019) 12, S. 956–964 – DOI: 10.1002/best.201900053

Scheerer, S.; Zobel, R.; Müller, E.; Senckpiel-Peters, T.; Schmidt, A.; Curbach, M.: Flexural strengthening of RC structures with TRC – Experimental Observations, Design Approach and Application. Applied Sciences, Special Issue "Textile Reinforced Cement Composites: New Insights in Structural and Material Engineering" 9 (2019) 7, 1322, 18 S. – DOI: 10.3390/app9071322

Speck, K.; Vogdt, F.; Curbach, M.; Petryna, Y.: Faseroptische Sensoren zur kontinuierlichen Dehnungsmessung im Beton. Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019) 3, S. 160–167 – DOI: 10.1002/best.201800105

Wagner, J.; Curbach, M.: Bond Fatigue of TRC with Epoxy Impregnated Carbon Textiles. Applied Sciences, Special Issue "Textile Reinforced Cement Composites: New Insights in Structural and Material Engineering" 9 (2019) 10, 1980, 21 S – DOI: 10.3390/app9101980

■ Ausgewählte Vorträge und Konferenzbeiträge

Schladitz, F.: Carbon-reinforced concrete – Ecological. Easy to use. – Update on research | Carbonbeton – Ökologisch. Anwendungsfreundlich. – Update zur Forschung. Fertigteil-Deckenelement aus Carbonbeton – Innovativ, verbundlos vorgespannt. In: Innovation in Beton – Proc. der 63. Ulmer Betontage, 19.–21.2.2019 in Neu-Ulm, erschienen in BFT International 85 (2019) 2, S. 51

Steinbock, O.; Fraunholz, U.; Curbach, M.: Willy Gehler's Contribution on the development on precast concrete. In: Derkowski, W.; Gwozdziwicz, P.; Hojdys, L.; Krajewski, P.; Pantak, M.

(Hrsg.): CONCRETE – Innovations in Materials, Design and Structures – Proc. of the fib Symp. 2019, 27.–29.5.2019 in Krakau (Polen), Thelem, 2019, S. 373–374 (Book of Abstracts), Langfassung digital auf USB-Stick: S. 1267–1274

Vakaliuk, I.; Frenzel, M.; Curbach, M.: Application of parametric design tools for the roof of the C³ technology demonstration house – CUBE. In: Lázaro, C.; Bletzinger, K.-U.; Oñate, E. (Hrsg.): Form and Force – Proc. of the IASS Annual Symp. 2019 / Structural Membranes 2019, 7.–10.10.2019 in Barcelona (Spanien), 2019, S. 1077–1084 (publ. auf USB-Stick)

Curbach, M.: Aktuelle Situation beim Bauen mit Carbonbeton. Vortrag zur Mitgliederversammlung der Prüfengeieure Dresden am 20.3.2019

mit dem Sächsischen Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft im Deutschen Hygiene-Museum Dresden am 3.5.2019

Curbach, M.: Grußwort zum Fachforum „Carbonbeton – Klimaschutz und Ressourceneffizienz dank innovativer Baustoffe“, gemeinsam

Schladitz, F.: Carbonbeton im seriellen und modularen Bauen. Vortrag zum 3. Forum Wohnungswirtschaft, Bonn, 28.3.2019

■ Leistungen in der Lehre

Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2018/2019					
Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende/Betreuer	SWS	Studiengang
Stahlbetonbau	V/Ü	5.	Speck, Deutscher	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 2019					
Stahlbetonbau	V	4.	Speck	2	BIW
Stahlbetonbau	V/Ü	6.	Speck, Deutscher	2/2	BIW
Stahlbetonkonstruktionslehre	V/Ü	6.	Häußler-Combe	2/1	BIW
Entwurf von Massivbauwerken	V/Ü	8.	Scheerer, Riegelmann, Betz, Koschemann, Michler, Speck, Steinbock, Wagner	1/3	BIW
Verstärken von Massivbauwerken	Ü	8.	Müller	1,5	BIW
Mess- und Versuchstechnik	V/Ü	8.	Hampel	1/0,5	BIW
Schräggabelbrücken	V	8.	Svensson	1	BIW
Spezialbauwerke des Wasserbaus	V	8.	Häußler-Combe	1	BIW

Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2019

Veranstaltung	Art	Sem.	Vortragende/Betreuer	SWS	Studiengang
<i>Design of Concrete Structures</i>	VÜ	2.	Garibaldi	2/1	ACCESS
<i>Computational Methods for Reinforced Concrete Structures</i>	VÜ	2.	Häußler-Combe	2/1	ACCESS
<i>Cable stayed bridges</i>	VÜ	2.	Svensson, Garibaldi	2/1	ACCESS

Studienjahr <i>Academic year</i>	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19
Projektarbeiten	7	7	11	17	22	13	12	24	20
<i>Project Works</i>		7	14	11	16	7	17	10	2
Bachelorarbeiten					1				-
Diplomarbeiten	7	9	11	19	17	26	15	10	28
<i>Master's Theses</i>		1	5	12	10	15	9	19	5

■ Wissenschaftlicher Nachwuchs

Promotionen am Institut 2019

Jakob Bochmann

Carbonbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung

Matthias Quast

Betondruckfestigkeit unter zweiachialer dynamischer Belastung

Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2011–2019

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Promotionen	5	1	3	4	2	1	3	2	2

Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2011–2019

Promotionen	1	1	1	1	1	1	5	-	-
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

■ Austausch und Zusammenarbeit

Beziehungen zur Politik

Mitglied der Thüringer Programmkommission, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG)

Mitgliedschaften allgemein

Der Institutsdirektor und Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Manfred Curbach**, ist Mitherausgeber der Schriftenreihe *Konstruktiver Ingenieurbau Dresden (kid)* sowie Mitglied in zahlreichen Gremien:

- Head of delegation fib Deutschland
- Convener der fib Task Group 1.6 History of Concrete Structures
- Convener der fib Task Group 2.10 Textile Reinforced Concrete Construction and Design
- Mitglied im ACI, ASCE, DAfStb, IngKammer, PCI, RILEM, VDI, VPI
- Mitglied des Forschungsbeirats des DAfStb
- Mitglied des Arbeitsausschusses „Bemessung und Konstruktion“ des DIN, zuständig für DIN 1045-1 u. a.
- Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der Zeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“
- Mitglied des Forschungsbeirates der TU Kaiserslautern
- Mitglied der Ständigen Kommission für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs der Hochschulrektorenkonferenz HRK
- Mitglied in der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina
- Ordentliches Mitglied in der Technikwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
- Mitglied der Thüringer Programmkommission, TMWWDG
- Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
- Mitglied im Advisory Board von *structure – Zeitschrift für Tragwerksplanung und Ingenieurbau*

- Mitglied im Editorial Board der Zeitschrift „Civil Engineering Design“
- Mitglied in der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Als Dienstleistung für andere Universitäten und Institute wurden verschiedene Gutachten erstellt.

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 Promotions-ausschusses 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 Erdbeningenieurwesen und Baudynamik.

Als ausgewiesener Fachmann veröffentlichte er 2014 bei Ernst & Sohn das Fachbuch *Numerical Methods for Reinforced Concrete Structures*. Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe arbeitet eng mit Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark, Ruhr-Universität Bochum, Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger, TU München, und Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer, TU München, zusammen.



In der Bibliothek des Instituts für Massivbau | Foto: Stefan Gröschel

PUBLIKATIONEN

■ Monografien

Bochmann, J.: Carbonbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung. Dissertation, TU Dresden, 2019 – erschienen in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 49, Dresden, 2019

Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 29. Dresdner Brückenbausymposium am 11./12.3.2019 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, 212 S.*)

Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2018 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, 196 S.*)

Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 10. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB) am 11.3.2019 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, 180 S. – erschienen in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 48, Dresden, 2019*)

Ehlig, D.: Tragverhalten von Carbonbeton als Biegeverstärkung von Stahlbetonplatten unter Brandbelastung. Dissertation, TU Dresden, 2019 – erschienen in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 50, Dresden, 2019

*) online verfügbar u. a. unter: https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/forschung/publikationen/Jahrbuch_Monographien

■ Ausgewählte Forschungsberichte

Cherif, C.; Curbach, M.: Materialeffiziente und praxisgerechte Gestaltung von Verankerungen und Übergreifungen von Textilbetonbewehrungen aus Rovings hoher Feinheit. Abschlussbericht zum IGF-Vorhaben Nr. 18588 BR, gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF), Institute für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstoffe und für Massivbau der TU Dresden, 02/2019, 203 S.

Cherif, C.; Zierold, K.; Curbach, M.; Hering, M.: Textilverstärkte Betonkonstruktionen für Impaktbeanspruchungen (Impakt-Textilbeton-Konstruktionen). Abschlussbericht zum IGF-Vorhaben Nr. 19009 BG, gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF), Institute für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstoffe und für Massivbau der TU Dresden, 2/2019, 138 S.

■ Beiträge in Fachzeitschriften oder Monografien

- Chudoba, R.; Sharei, E.; Senckpiel-Peters, T.; Schladitz, F.: Numerical Modeling of Non-Uniformly Reinforced Carbon Concrete Lightweight Ceiling Elements. *Applied Sciences, Special Issue "Textile Reinforced Cement Composites: New Insights in Structural and Material Engineering"* 9 (2019) 7, 2348, 23 S. – DOI: 10.3390/app9112348
- Deutscher, M.; Tran, N. L.; Scheerer, S. Experimental Investigations on the Temperature Increase of Ultra-High Performance Concrete under Fatigue Loading. *Applied Sciences* 9 (2019) 19, 4087, 17 S. – DOI: 10.3390/app9194087
- Farwig, K.; Curbach, M.: Durchstanzen von punktgestützten Deckenplatten – Optimierungspotenzial bei ebenen Flachdecken nach dem Ansatz form follows force. *Beton- und Stahlbetonbau* 114 (2019) 5, S. 286–295 – DOI: 10.1002/best.201800110
- Fischer, O.; Schmidt-Thrö, G.; Speck, K.: Spalt- und Randzugkräfte bei Teilflächenpressung. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): Hilfsmittel zur Schnittgrößermittlung und zu besonderen Detailnachweisen, Schriftenreihe des DAfStb, Heft 631, Berlin: Beuth, 2019, S. 89–91
- Häussler-Combe, U.; Weselek, J.; Jesse, F.: A Safety Concept for Non-Metallic Reinforcement for Concrete under Bending. *ACI Structural Journal* 116 (2019) 1, S. 151–159
- Häußler-Combe, U.; Weselek, J.: Ermittlung von Teilsicherheitsbeiwerten bei Carbonbeton. *Beton- und Stahlbeton*, first publ. online: 23.9.2019, 9 S. – DOI: 10.1002/best.201900047
- Hentschel, M.; Schumann, A.; Ulrich, H.; Jentzsch, S.: Sanierung der Hyparschale Magdeburg. *Bautechnik* 96 (2019) 1, S. 25–30 – DOI: 10.1002/bate.201800087
- Hering, M.; Bracklow, F.; Kühn, T.; Curbach, M.: Impact experiments with reinforced concrete plates of different thicknesses. *Structural Concrete*, first publ. online: 3.11.2019, 12 S. – DOI: 10.1002/suco.201900195
- Hering, M.; Kühn, T.; Häntzschel, T.; Neumann, F.; Häußler-Combe, U.; Curbach, M.: Dynamisches Verhalten von Stahlbetonplatten: Sprengversuch – experimenteller Teil. *Beton- und Stahlbetonbau* 114 (2019) 3, S. 185–193 – DOI: 10.1002/best.201800104
- Holz, K.; Curbach, M.: Zugtragverhalten von Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung. *Beton- und Stahlbeton*, first publ. online: 23.9.2019, 9 S. – DOI: 10.1002/best.20190003
- Liebschner, M.; Schladitz, F.; Dinkelaker, M.; Heckert, M.; Enghardt, S.; Bauch, J.: Untersuchung von Betonproben mit CFK- und GFK-Bewehrung mittels Röntgen-Computertomografie und -laminografie. *Bautechnik* 96 (2019) 9, S. 657–665 – DOI: 10.1002/bate.201800084
- Mosig, O.; Curbach, M.: Einfluss der Wassersättigung auf die statische und dynamische Druckfestigkeit von Beton. *Beton- und Stahlbetonbau* 114 (2019) 3, S. 168–175 – DOI: 10.1002/best.201800094
- Mosig, O.; Quast, M.; Curbach, M.: Die zweiachiale dynamische Druckfestigkeit von Beton. *Beton- und Stahlbetonbau* 114 (2019) 12, S. 956–964 – DOI: 10.1002/best.201900053
- Müller, E.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Material and space saving carbon concrete elements. *Civil Engineering Design* 1 (2019) 1, S. 3–9 – DOI: DOI:10.1002/cend.201800001
- Scheerer, S.; Zobel, R.; Müller, E.; Senckpiel-Peters, T.; Schmidt, A.; Curbach, M.: Flexural strengthening of RC structures with TRC – Experimental Observations, Design Approach and Application. *Applied Sciences, Special Issue "Textile Reinforced Cement Composites: New Insights in Structural and Material Engineering"* 9 (2019) 7, 1322, 18 S. – DOI: 10.3390/app9071322
- Schladitz, F.; Lieboldt, M.: Carbonbeton – Was ist schon möglich? *Beton* 69 (2019) 5, S. 156–161
- Schütze, E.; Curbach, M.: Zur experimentellen Charakterisierung des Verbundverhaltens von Carbonbeton mit Spalten als maßgeblichem Versagensmechanismus. *Bauingenieur* 94 (2019) 4, S. 133–141

- Seifert, W.; Lieboldt, M.; Curbach, M.: Ressourcenverfügbarkeit und Konsequenzen bei der Planung von Betonbauwerken. *Beton* 69 (2019) 9, S. 321/322
- Speck, K.; Vogdt, F.; Curbach, M.; Petryna, Y.: Faseroptische Sensoren zur kontinuierlichen Dehnungsmessung im Beton. *Beton- und Stahlbetonbau* 114 (2019) 3, S. 160–167 – DOI: 10.1002/best.201800105
- Steinbock, O.; May, S.; Curbach, M.: Vorgespannte Deckenelemente aus Carbonbeton – Experimentelle Untersuchungen und Konzeption werkstoffgerechter Bauteile. *Beton- und Stahlbetonbau* 114 (2019) 11, S. 817–826 – DOI: 10.1002/best.201900042
- Wagner, J.; Curbach, M.: Bond Fatigue of TRC with Epoxy Impregnated Carbon Textiles. *Applied Sciences, Special Issue "Textile Reinforced Cement Composites: New Insights in Structural and Material Engineering"* 9 (2019) 10, 1980, 21 S – DOI: 10.3390/app9101980
- Wagner, J.; Mende, K.; Kraft, R.; Holschemacher, K.; Curbach, M.: Stabanker für dünne Carbonbetonwände. *Beton- und Stahlbetonbau* 114 (2019) 7, S. 485–494 – DOI: 10.1002/best.201800100
- Wagner, J.: Thermoanker für Carbonbeton-Doppelwände. *BFT International* 83 (2019) 3, S. 58–64 – URL: https://www.bft-international.com/de/artikel/bft_Thermoanker_fuer_Carbonbeton-Doppelwaende_3325330.html

■ Beiträge in Tagungsbänden

- Curosu, I.; Mechtcherine, V.; Hering, M.; Curbach, M.: Mineral-bonded Composites for Enhanced structural impact safety – Overview of the format, goals and achievements of the Research training Group GRK 2250. In: Pijaudier-Cabot, G.; Grassl, P.; La Borderie, C. (Hrsg.): *Proc. of 10th Int. Conf. on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-X)*, 24.–26.6.2019 in Bayonne (Frankreich), 2019, Beitrag Nr. 235408, 10 S. – DOI: 10.21012/FC10.235408
- Deutscher, M.; Tran, N. L.; Scheerer, S. Experimental investigation of load-induced temperature development in UHPC subjected to cyclic loading. In: Derkowski, W.; Gwozdziwicz, P.; Hojdys, L.; Krajewski, P.; Pantak, M. (Hrsg.): *CONCRETE – Innovations in Materials, Design and Structures – Proc. of the fib Symp.* 2019, 27.-29.5.2019 in Krakau (Polen), Thelem, 2019, S. 539/540 (Book of Abstracts), Langfassung digital auf USB-Stick: S. 1904–1911
- Deutscher, M.; Tran, N. L.; Scheerer, S. Experimental investigation of load-induced increase of temperature in UHPC. In: Zingoni, A. (Hrsg.): *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications – Proc. of the 7th Int. Conf. on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2019)*, 2.–4.9.2019 in Kapstadt (Südafrika), London: CRC Press/Taylor & Francis, 2019, S. 1450–1455 – <https://doi.org/10.1201/9780429426506>
- Frenzel, M.: Decken aus geschichteten Betonen – leicht und effizient. In: *Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E. V. (Hrsg.): Vorträge zum Deutschen Bautechnik-Tag am 7./8.3.2019 in Stuttgart, DBV-Heft 45*, 2019, S. 29/30 – DOI: 10.5445/KSP/1000028287
- Häußler-Combe, U.; Chihadeh, A.; Shehni, A.: Modelling of discrete cracks in reinforced concrete plates with the strong discontinuity approach (SDA). In: Zingoni, A. (Hrsg.): *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications – Proc. of the 7th Int. Conf. on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2019)*, 2.–4.9.2019 in Kapstadt (Südafrika), London: CRC Press/Taylor & Francis, 2019, S. 611–616 – <https://doi.org/10.1201/9780429426506>
- Holschemacher, K.; Lieboldt, M.; Schladitz, F.; Tietze, M.; Bulgakov, A. G.: Carbon Concrete: from Research into Construction Practices (in Russisch). In: *Russische Akademie für Architektur und Bauwesen (RAASN, Hrsg.): Konferenzband, Moskau*, 2019, S. 580–591
- Máca, P.; Curbach, M.: Concrete Cover Influence on Bond in Reinforced Concrete Under Impact Loading. In: Banthia, N.; Soleimani-Dashtaki, S.; Kodur, V.; Wu, B.; Fujikake, K. and Suresh, N. (Hrsg.): *Proc. of 7th Int. Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading (PROTECT2019)*, 16./17.9.2019 in Whistler (BC, Kanada), Vancouver: The University of British Columbia, 2019, S. 288–300

- May, S.; Schumann, A.; Bergmann, S.; Curbach, M.; Hegger, J.: Shear Strengthening of Reinforced Structures with Carbon Reinforced Concrete. In: Derkowski, W.; Gwozdziwicz, P.; Hojdis, L.; Krajewski, P.; Pantak, M. (Hrsg.): CONCRETE – Innovations in Materials, Design and Structures – Proc. of the fib Symp. 2019. 27.-29.5.2019 in Krakau (Polen), Thelem, 2019, S. 447/448 (Book of Abstracts), Langfassung digital auf USB-Stick: S. 1563–1570
- Mosig, O.; Curbach, M.: Experimental Determination of the Wave Propagation in Concrete Specimens. In: Banthia, N.; Soleimani-Dashtaki, S.; Kodur, V.; Wu, B.; Fujikake, K. and Suresh, N. (Hrsg.): Proc. of 7th Int. Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading (PROTECT2019), 16./17.9.2019 in Whistler (BC, Kanada), Vancouver: The University of British Columbia, 2019, S. 335–344
- Mosig, O.; Wellner, S.; Rudolph, J.: Belastungsprüfung der Geschossdecken im Jugendstil-Kaufhaus Görlitz. In: Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 10. Symp. Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB), 11.3.2019 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, S. 45–58
- Scheerer, S.; Curbach, M.: Christian Menn – Brückenbauer, Lehrer, Ästhet. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 29. Dresdner Brückenbausymposium, 11./12.3.2019 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, S. 17–22
- Scheerer, S.; Hampel, T.; Wellner, S.; Opitz, H.; Curbach, M. Load capacity proof of a rib vault, rebuilt based on a historical model. In: Zeman, O. (Hrsg.): Festschrift zum Jubiläum 25 Jahre Professur und 60. Geburtstag von o.Univ. Prof. Konrad Bergmeister, erschienen bei: ce/papers 3 (2019) 2 (special issue), S. 135–143 – DOI: 10.1002/cepa.968
- Schladitz, F.: Carbon-reinforced concrete – Ecological. Easy to use. – Update on research | Carbonbeton – Ökologisch. Anwendungsfreundlich. – Update zur Forschung. Fertigteil-Deckenelement aus Carbonbeton – Innovativ, verbundlos vorgespannt. In: Innovation in Beton – Proc. der 63. Ulmer Betontage, 19.-21.2.2019 in Neu-Ulm, erschienen in BFT International 85 (2019) 2, S. 51
- Schladitz, F.; Lägler, E.; Ehlig, D.; Nietner, L.; Tietze, M.: Carbon reinforced concrete and temperature. In: International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE, Hrsg.): The evolving metropolis – Proc. of 2019 IABSE Congress, 4.–6.9.2019 in New York City (USA), 2019, 7 S. (publ. auf USB-Stick)
- Schumann, A.; Hentschel, M.; Zobel, R.; Curbach, M.: Strengthening of the Hypar Shell in Magdeburg with Carbon Reinforced Concrete – Design and Calculations. In: Lázaro, C.; Bletzinger, K.-U.; Oñate, E. (Hrsg.): Form and Force – Proc. of the IASS Annual Symp. 2019 / Structural Membranes 2019, 7.–10.10.2019 in Barcelona (Spanien), 2019, S. 855–862 (publ. auf USB-Stick)
- Schumann, A.; May, S.; Curbach, M.: Experimental Study on Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Structures with Carbon Reinforced Concrete. In: Derkowski, W.; Gwozdziwicz, P.; Hojdis, L.; Krajewski, P.; Pantak, M. (Hrsg.): CONCRETE – Innovations in Materials, Design and Structures – Proc. of the fib Symp. 2019. 27.-29.5.2019 in Krakau (Polen), Thelem, 2019, S. 441–442 (Book of Abstracts), Langfassung auf USB-Stick: S. 1539–1546
- Shehni, A.; Häußler-Combe, U.; Curosu, I.; Gong, T.; Mechtcherine, V.: Numerical simulation of HS-SHCC under quasi-static tensile loading. In: Pijaudier-Cabot, G.; Grassl, P.; La Borderie, C. (Hrsg.): Proc. of 10th Int. Conf. on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-X), 24.–26.6.2019 in Bayonne (Frankreich), 2019, 9 S. – DOI: 10.21012/FC10.233164
- Speck, K.; Vogdt, F.; Curbach, M.; Petryna, Y.: Faseroptische Sensoren zur kontinuierlichen Dehnungsmessung im Beton. In: Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 10. Symp. Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB), 11.3.2019 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, S. 71–82 (Zweitabdruck der Veröffentlichung in der Zeitschrift Beton- und Stahlbetonbau – DOI: 10.1002/best.201800105)
- Steinbock, O.: Curbach, M.; Hänseroth, T.: Willy Gehler in der Triade aus Wissenschaft, Industrie und Verwaltung. In: Holzer, S.; Rauhut, C.; Meyer, T.; Krafczyk, C. (Hrsg.): Mit den wohlfeinsten Mitteln Dauerhaft, Feuersicher und Bequem „Sparsamkeit als prinzip, Rationalität als Weltansicht? – Tagungsband der dritten Jahrestagung der Gesellschaft für Bautechnikgeschichte, 4.–6.5.2017 in Potsdam, Gesellschaft für Bautechnikgeschichte, 2019, S. 245–261

Steinbock, O.; Fraunholz, U.; Curbach, M.: Willy Gehler´s Contribution on the development on precast concrete. In: Derkowski, W.; Gwozdziwicz, P.; Hojdys, L.; Krajewski, P.; Pantak, M. (Hrsg.): CONCRETE – Innovations in Materials, Design and Structures – Proc. of the fib Symp. 2019, 27.–29.5.2019 in Krakau (Polen), Thelem, 2019, S. 373–374 (Book of Abstracts), Langfassung digital auf USB-Stick: S. 1267–1274

Steinbock, O.; May, S.; Curbach, M.: Precast floor slabs made of carbon-reinforced concrete – Innovative, unbounded prestressing | Fertigteil-Deckenelement aus Carbonbeton – Innovativ, verbundlos vorgespannt. In: Innovation in Beton – Proc. der 63. Ulmer Betontage, 19.–21.2.2019 in Neu-Ulm, erschienen in BFT International 85 (2019) 2, S. 96

Tran, N. L.; Deutscher M.; Scheerer, S.: An investigation of the heat generated during cyclic loading of ultra-high performance concrete. In: Eberhardsteiner, J.; Schöberl, M. (Hrsg.): Proc. of 90th Annual Meeting of the Int. Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM), 18.–22.2.2019 in Wien (Österreich), erschienen in: Proc. in Applied Mathematics and Mechanics (PAMM) 19 (2019) 1, e201900469, 4 S. – DOI: 10.1002/pamm.201900469

Tran, N. L.; Deutscher, M.; Scheerer, S.: Analysis of load-induced temperature development in UHPC under cyclic compressive loading. In: Zingoni, A. (Hrsg.): Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications – Proc. of the 7th Int. Conf. on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2019), 2.–4.9.2019 in Kapstadt (Südafrika), London: CRC Press/Taylor & Francis, 2019, S. 1397–1402 – <https://doi.org/10.1201/9780429426506>

Vakaliuk, I.; Frenzel, M.; Curbach, M.: Application of parametric design tools for the roof of the C³ technology demonstration house – CUBE. In: Lázaro, C.; Bletzinger, K.-U.; Oñate, E. (Hrsg.): Form and Force – Proc. of the IASS Annual Symp. 2019 / Structural Membranes 2019, 7.–10.10.2019 in Barcelona (Spanien), 2019, S. 1077–1084 (publ. auf USB-Stick)

Wellner, S. (Zusammenstellung): Chronik des Brückenbaus. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 29. Dresdner Brückenbausymposium, 11./12.3.2019 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, S. 197–207

■ Beiträge zu den 11. Carbon- und Textilbetontagen, 24./25.9.2019 in Dresden, veröffentlicht in: C³ – Carbon Concrete Composite e. V.; Tudalit e. V. (Hrsg.): Tagungsband, 2019 | TUDALIT Magazin (2019) 17

Cherif, C.; Curbach, M.; Offermann, P.: Neuartige Profil-Carbonrovings für die Betonbewehrung. S. 18/19 | S. 27

Curbach, M.: CUBE – Ergebnishaushaus des C³-Projektes. S. 82/83 | S. 31

May, M.: Mechanische Verankerung. S. 106/107

Schlüter, D.: ENERTON – Energiegeladene Betonbauteile. S. 108/109

Schumann, A.; Will, N.: Richtlinien zur Tragwerksplanung und Bauausführung mit Carbonbeton. S. 124/125

Tietze, M.: C³-Wirtschaftlichkeit. S. 114/115

■ Vorträge

Curbach, M.: Aktuelle Situation beim Bauen mit Carbonbeton. Vortrag zur Mitgliederversammlung der Prüfengeieure Dresden am 20.3.2019

Curbach, M.: Carbonbeton: Zukunft des Bauingenieurwesens. Vortrag zum Seminargruppentreffen im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden am 14.9.19

Curbach, M.: Carbonbeton for Future: Wie Carbonbeton die Bauwelt nachhaltig verändert. Vortrag bei der katholischen Studentengemeinde „Thomas von Aquin“ am 4.11.2019 in Dresden

- Curbach, M.: Grußwort zum Fachforum „Carbonbeton – Klimaschutz und Ressourceneffizienz dank innovativer Baustoffe“, gemeinsam mit dem Sächsischen Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft im Deutschen Hygiene-Museum Dresden am 3.5.2019
- Curbach, M.: Impulsvortrag zur Eröffnung Vernissage „Megatrend – Carbonbeton“ in der Sächsischen Landesbibliothek, Staats- und Universitätsbibliothek Dresden am 11.4.2019
- Curbach, M.: Konsequenzen aus Sicht der Planung von Betonbauwerken. Vortrag zum DAfStb-Fachkolloquium „Ressourcenverfügbarkeit – Konsequenzen für das Bauen mit Beton in der Zukunft“ am 18.9.2019 in Berlin
- Curbach, M.: Laudatio anlässlich des 60. Geburtstages von Konrad Bergmeister am 26.4.2019 in Wien
- Curbach, M.: Von der Verantwortung des Bauingenieurs für die Zukunft. Vortrag zur anlässlich der Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille 2019, Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (BWG), 10.5.2019
- Lieboldt, M.; Kranich S.: Einführung zum Thema Carbonbeton im Rahmen der Ausstellung „Megatrend – Carbonbeton“ in der Sächsischen Landesbibliothek, Staats- und Universitätsbibliothek Dresden) anlässlich eines Besuchs der Hochschule der Medien Stuttgart, 8.5.2019
- Müller, E.; Bergmann, S.; Curbach, M.; Hegger, J.: Flexural strengthening of RC slabs with CRC and the influence of the positional accuracy. Vortrag zur ACI Fall Convention 2019, 20.–23.10.2019 in Cincinnati (USA), Veröffentlichung in Vorbereitung
- Schladitz, F.: Best Practice – der Transfer im C³-Projekt. Vortrag zum Workshop „Transfer ist keine Einbahnstraße!“ im Rahmen des 15. Forums für Nachhaltigkeit des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) – gleichzeitig Vorbereitungsworkshop für die Ausschreibung des neuen Rahmenprogramms FONA 4, Berlin, 13.5.2019
- Schladitz, F.: Carbon Concrete Composite (C³) – Stand der Forschung und Entwicklung. Vortrag zu Fortbildung des Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Schleswig-Holstein e.V., Rendsburg, 24.1.2019
- Schladitz, F.: Carbonbeton. Vortrag zur Dresdner Seniorenakademie, Dresden, 29.10.2016
- Schladitz, F.: Carbonbeton – ein Überblick. Vortrag zu Veranstaltung „Carbonbeton – Klimaschutz und Ressourceneffizienz dank innovativer Baustoffe“ des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), Dresden, 3.5.2019
- Schladitz, F.: Carbonbeton – Klimaschutz und Ressourceneffizienz durch einen neuen Baustoff. Vortrag zu 51. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Technischen Abteilungen an wissenschaftlichen Hochschulen, Dresden, 13.6.2019
- Schladitz, F.: Carbonbeton – Zeit für einen Paradigmenwechsel. Vortrag zum 13. Holcim Bau-Forum, Bremerhaven, 4.11.2019
- Schladitz, F.: Carbonbeton im seriellen und modularen Bauen. Vortrag zum 3. Forum Wohnungswirtschaft, Bonn, 28.3.2019

■ Ausgewählte Interviews und sonstige Beiträge

■ Interviews zu Carbonbeton

- In Zukunft könnte die Hauswand Strom speichern – Interview mit Dominik Schlüter zum gleichnamigen Artikel in den VDI Nachrichten, erschienen am 8.3.2019, S. 22
- Infrastrukturoffensive der Deutschen Bahn: TU Dresden und DB Netz AG unterzeichnen Vertrag für Stiftungsprofessur für Ingenieurbau – Radio-Interview mit Manfred Curbach für Nachrichteneinspieler von Radio Dresden, 14.10.2019
- Schwung statt Platte – Die Hyparschale in Magdeburg – Video-Interview von Manfred Curbach zur geplanten Sanierung der Hyparschale Magdeburg mit Carbonbeton, Mitteldeutscher Rundfunk, Der Osten – Entdecke wo du lebst, 7.5.2019

So ein Haus gab es noch nie – Interview mit Manfred Curbach zum gleichnamigen Artikel in der Sächsischen Zeitung, erschienen am 2.12.2019, S. 18

Viele beeindruckende Anwendungen sind schon heute möglich – Interview von Christoph Berger mit Frank Schladitz am 11.4.2019 für Springer Professional: <https://www.springerprofessional.de/baustoffe/baukonstruktion/-viele-beeindruckende-anwendungen-sind-schon-heute-moeglich-/16646046>

Zement, der heimliche Klimakiller. Mit einem Schlag 50 % Beton sparen – Video-Interview von Thies Schnack und Rachelle Pouplier mit Manfred Curbach, Spiegel online, 4.6.2019

■ Interviews zum Brand der Pariser Kathedrale Notre Dame im April 2019

Der Tag nach dem Brand in Notre Dame: „Fünf Jahre sind sehr ambitioniert“ – Telefoninterview mit Manfred Curbach für Radioeinspieler und Onlineartikel, SWR.de: 17.4.2019

Die große Frage ist, wie heiß der Stein wurde – Interview von Julia Merlot mit Manfred Curbach am 16.4.2019, Spiegel online: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/kathedrale-notre-dame-der-wiederaufbau-wird-jahre-dauern-a-1263114.html>

Notre Dame: Wie realistisch ist Macrons Wiederaufbau-Plan? – Interview von Fabienne Kinzelmann mit Manfred Curbach am 17.4.2019, blick.ch: <https://www.blick.ch/news/ausland/experten-erklaeren-macrons-wiederaufbau-versprechen-weihnachtsgottesdienst-2019-in-notre-dame-realistisch-id15278300.html>

To rebuild Notre Dame after its fire, French can look east to Dresden's Frauenkirche – Interview von Erik Kirschbaum mit Manfred Curbach zum Brand von Notre Dame und dem Wiederaufbau der Dresdner Frauenkirche am 22.4.2019, Los Angeles Times: <https://www.latimes.com/world/europe/la-fg-dresden-restoration-notre-dame-20190422-story.html>

■ Weitere Interviews

Einer der herausragenden Bauforscher unserer Zeit – Interview von Diana Uhlmann und Stefan Gröschel mit Manfred Curbach zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 2019. Dresdner Universitätsjournal 30 (2019) 9, 14.5.2019

■ Sonstiges

Curbach, M.: Laudatio für Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke aus Anlass der Verleihung der Wackerbarth-Medaille der Ingenieurkammer Sachsen. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 29. Dresdner Brückenbausymposium, 11./12.3.2019 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2019, S. 14–15

Curbach, M.: Wo wären wir heute ohne den Mut unserer Vorgänger? Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019) 2, S. 73 – DOI: 10.1002/best.201970203

Lieboldt, M.: Aktuelles zum C³-Projekt. TUDALIT Magazin (2019) 17, S. 4–5

Rittner, S.; Seidel, A.; Cherif, C.; Speck, K.; Curbach, M.: Schlaufenbewehrungen erhöhen die Materialeffizienz im Textilbeton | Looped reinforcements increase material efficiency in textile-reinforced concrete. Technische Textilien | Technical Textiles 62 (2019) 5, S. 307/308 | E 294/E 295

Rittner, S.; Speck, K.: Feste Verankerungen – Schlaufenbewehrungen reduzieren den Carbonfasereinsatz in Textilbeton | Secure anchoring elements – Looped reinforcements reduce the consumption of carbon fibres in textile-reinforced concrete. Kettenwirk-Praxis 53 (2019) 2, S. 30/31 | S. 30/31

Scheerer, S.; Gröschel, S.: Dresdner Symposien im Doppelpack. Bautechnik 86 (2019) 4, S. 372/373

DAS TEAM 2019

Institut für Massivbau

Professur für Massivbau

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

Forschung und Qualitätssicherung

Dr.-Ing. Silke Scheerer

Forschung und Finanzen

Dr.-Ing. Birgit Beckmann

Forschung und Personal

Dr.-Ing. Harald Michler

Organisation Lehre

Dr.-Ing. Kerstin Speck

Controlling/Sekretariat

Silvia Haubold (Controlling)

Dajana Musiol (Sekretariat)

Anja Giesder (C³)

Jana Strauch (C³)

Professur für Spezielle Massivbauwerke

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

Sekretariat

Angela Heller

Wissenschaftliche Mitarbeiter*innen

Forschungsgruppe 1: Zwanzig20-Projekt C³ – Carbon Concrete Composite

Dr.-Ing. Frank Schladitz

(Arbeitsgebietsleiter C³ und Forschungsgruppensprecher FG 1)

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

Dr.-Ing. Stefan Minar

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze

Forschungsgruppe 2: Carbonbeton I

Dipl.-Ing. Michael Frenzel

(Forschungsgruppensprecher)

Dr.-Ing. Daniel Ehlig

Dipl.-Ing. Sebastian May

Dipl.-Ing. Angela Schmidt

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock

Iurii Vakaliuk M.Sc.

Forschungsgruppe 3: Carbonbeton II

Dipl.-Ing. Juliane Wagner

(Forschungsgruppensprecherin)

Dr.-Ing. Zuhair Amer

Dipl.-Ing. Enrico Baumgärtel

Dipl.-Ing. Peter Betz

Olga Diring M.Sc.

Dipl.-Ing. Kristina Farwig

Dipl.-Ing. Karoline Holz

Dipl.-Ing. Maximilian May

Dipl.-Ing. Egbert Müller

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

Dipl.-Ing. Ronghua Xu

Forschungsgruppe 4: Impakt

M.Eng. Petr Máca Ph.D.

(Forschungsgruppensprecher)

Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow

Dipl.-Ing. Marcus Hering

Dipl.-Ing. Lena Leicht

Saeid Zabihi Moghaddam M.Sc.

Dipl.-Ing. Oliver Mosig

Forschungsgruppe 5: Mehraxialität und Ermüdung

Dr.-Ing. Kerstin Speck

(Forschungsgruppensprecherin FG 5 und Arbeitsgebietsleiterin Lehre)

Dipl.-Ing. Melchior Deutscher

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

Dipl.-Ing. Marc Koschemann

Forschungsgruppe 6: Spezielle Massivbauwerke

Ammar Siddig Ali Babiker M.Sc.

Ahmad Chihadeh M.Sc.

Dipl.-Ing. Daniel Karl

Tino Kühn M.Sc.

Dipl.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters

Alaleh Shehni M. Sc.

Technischer Mitarbeiter

Matthias Zagermann

Öffentlichkeitsarbeit

Chris Gärtner M.A.

Stefan Gröschel

Sandra Kranich M.A.

In 2019 ausgeschieden

Dr.-Ing. Jakob Bochmann

Dipl.-Ing. Alexander Schumann

(Forschungsgruppensprecher)

Dipl.-Ing. (FH) Frank Neumann

Dipl.-Ing. Jan Panzer

Dipl.-Math. Dirk S. Reischl

Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann

Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze

DANK AN UNSERE FÖRDERER

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

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

DFG



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



STAATSBETRIEB IMMOBILIEN-
UND BAUMANAGEMENT
SIB



STIFTUNG BAUWESEN



Europa fördert Sachsen
ESF
Europäischer Sozialfonds



ES IST NICHT ALLES GOLD WAS GLÄNZT.



**MANCHMAL IST ES
EINFACH NUR EIN SUPER BETON.**

Foto: Manfred Curbach | #nofilter

Impressum

Herausgeber

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

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Besucheradresse:
August-Bebel-Straße 30/30A
01219 Dresden

Postadresse:
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Paketadresse:
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden

Tel. +49 351 463-36568
Fax +49 351 463-37289

www.massivbau.tu-dresden.de

ISBN 978-3-86780-628-2

Redaktion

Sandra Kranich

Texte

Ammar Siddig Ali Babiker, Enrico Baumgärtel, Birgit Beckmann, Peter Betz, Jakob Bochmann, Franz Bracklow, Manfred Curbach, Ahmad Chihadeh, Melchior Deutscher, Olga Diring, Daniel Ehlig, Kristina Farwig, Michael Frenzel, Chris Gärtner, Stefan Gröschel, Thomas Häntzschel, Marcus Hering, Karoline Holz, Marc Koschemann, Tino Kühn, Lena Leicht, Matthias Lieboldt, Petr Máca, Sebastian May, Harald Michler, Oliver Mosig, Egbert Müller, Siavash Namari, Philipp Riegelmann, Silke Scheerer, Dominik Schlüter, Angela Schmidt, Alexander Schumann, Elisabeth Schütze, Tilo Senckpiel-Peters, Kerstin Speck, Oliver Steinbock, Matthias Tietze, Juliane Wagner, Sabine Wellner, Rongua Xu

Die Kurzfassungen aller studentischer Arbeiten (Projektarbeiten, Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen) wurden von den jeweiligen Studierenden und Doktorand*innen verfasst.

Mitarbeit/Korrektur

Maria Patricia Garibaldi, Chris Gärtner, Angela Heller, Petra Kahle, Dajana Musiol, Kerstin Speck

Gestaltung/Satz

Stefan Gröschel

Druck

addprint AG, Bannewitz 2020

ISBN: 978-3-86780-628-2