



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



2021

JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT



Institut für
Massivbau



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau | *Institute of Concrete Structures*

JAHRESBERICHT 2021

ANNUAL REPORT 2021





**„WENN AN VIELEN KLEINEN ORTEN
VIELE KLEINE MENSCHEN VIELE KLEINE
DINGE TUN, WIRD SICH DAS ANGESICHT
UNSERER ERDE VERÄNDERN“.**

Afrikanisches Sprichwort

| | |
|---|----|
| VORWORT <i>FOREWORD</i> | 11 |
| FORSCHUNG <i>RESEARCH</i> | 12 |
| Forschung am IMB <i>Research at IMB</i> | 14 |
| Entwurf zum Alltag <i>Design for everyday life</i> | 16 |
| Carbonbetonhaus CUBE – im Bau <i>C³ tech demo house CUBE – under construction</i> | 18 |
| Kür geglückt! <i>Happy ending!</i> | 20 |
| Carbonbeton in Syrien <i>Carbon reinforced concrete in Syria</i> | 22 |
| Modular und funktionsintegriert Bauen <i>Modular, function-integrated construction</i> | 24 |
| Netzgitterträger aus Carbonfasern <i>Carbon fibre lattice girders</i> | 26 |
| Brücken für den Wald <i>Bridges for the forest</i> | 28 |
| Verankerung von FVK-Bewehrung <i>Anchoring of FRP reinforcement</i> | 30 |
| Hybride Gebäude wachsen lassen <i>Let hybrid buildings grow</i> | 32 |
| Carbonbeton gerät unter Druck <i>Carbon concrete comes under pressure</i> | 34 |
| Plastizität gemessen und modelliert <i>Plasticity measured and modelled</i> | 36 |
| 3.000 Meter unter dem Meeresspiegel <i>3,000 meters below sea level</i> | 38 |
| Membranwirkung gegen Perforation <i>Membrane effect against perforation</i> | 40 |
| Gut geschützt <i>Well protected</i> | 42 |
| Eine gute Kombination <i>A good match</i> | 44 |
| Langsam aber stetig <i>Slow but steady</i> | 46 |
| Verbundermüdung von Stahlbeton <i>Bond fatigue of steel reinforced concrete</i> | 48 |

| | |
|--|----|
| Positive Effekte durch Ermüdung? <i>Positive effects from fatigue?</i> | 50 |
| Resonanz clever genutzt <i>Resonance cleverly used</i> | 52 |
| Temperatur verändert Beanspruchung <i>Temperature changes load</i> | 54 |
| Betonermüdung schnell oder langsam? <i>Fast or slow to concrete fatigue?</i> | 56 |
| Tragwerksentwurf mit machine learning <i>Structural design with machine learning</i> | 58 |
| Auch Überwachungssysteme altern <i>Monitoring systems also age</i> | 60 |
| Schallemissionsmessung <i>Acoustic emission measurement</i> | 62 |
| Brücken lebenslang überwachen <i>Monitoring bridges for life</i> | 64 |
| Hundert plus <i>Hundred plus</i> | 66 |
| Brückeninstandhaltung von morgen <i>Tomorrow's bridge maintenance</i> | 68 |
| Vom Papierplan zum BIM-Modell <i>From blueprints to a BIM model</i> | 70 |
| Diagnostik an Gewölbebrücken <i>Diagnostics on arched bridges</i> | 72 |
| Schlagen und lauschen – Wie genau kann das sein? <i>Hitting and hearing – how accurate can it be?</i> | 74 |
| Stählerne Bahnbrücken der Moderne <i>Steel railway bridges from the modern age</i> | 76 |

| | |
|--|----|
| SONDERFORSCHUNGSBEREICH/TRANSREGIO 280 <i>COLLABORATIVE RESEARCH CENTER/TRANSREGIO 280</i> | 78 |
| Interdisziplinäre Inspiration im SFB/TRR 280 <i>Interdisciplinary inspiration in CRC/TRR280</i> | 80 |
| Vorbereitung der Technologietests <i>Preparation of the technology tests</i> | 82 |
| Imperfektionen und Stabilität <i>Imperfections and stability</i> | 84 |
| Carbonbeton chemisch vorgespannt <i>Chemical prestressing of CRC</i> | 86 |



| | |
|--|------------|
| DAS C³-PROJEKT <i>THE C³ PROJECT</i> | 88 |
| Aktuelles zum C ³ -Projekt <i>Update on the C³ project</i> | 90 |
| LEHRE <i>TEACHING</i> | 94 |
| Lehrveranstaltungen des Instituts für Massivbau <i>Lectures at the Institute of Concrete Structures</i> | 96 |
| Projektarbeiten <i>Project Works</i> | 104 |
| Bachelorarbeiten | 111 |
| Diplomarbeiten <i>Master's Theses</i> | 112 |
| Abseits des Lehrplans <i>Off the curriculum</i> | 120 |
| Preise, Ehrungen und Wettbewerbe <i>Awards, honours and competitions</i> | 125 |
| OTTO-MOHR-LABORATORIUM <i>OTTO MOHR LABORYTORY</i> | 128 |
| Testen auf höchstem Niveau <i>Testing at the highest level</i> | 130 |
| Leistungen <i>Services</i> | 132 |
| Ausstattung <i>Equipment</i> | 134 |
| Im Fokus: Z250 – Eine für (fast) alles <i>In the focus: Z250 – one for (almost) everything</i> | 138 |
| Weitere Belastungstests im Beyer-Bau <i>Further load tests in the "Beyer-Bau"</i> | 140 |
| Hochdruck erwünscht <i>High pressure desired</i> | 142 |
| Schwingungsmessung in einem Sportkomplex <i>Vibration measurement in a sports complex</i> | 144 |

| | |
|---|-----|
| DAS INSTITUT <i>THE INSTITUTE</i> | 146 |
| SEUB, DBBP und DBBS | 149 |
| Es geht los! | 150 |
| Lange Nacht der Wissenschaft | 152 |
| Goldene Ehrennadel | 153 |
| Impressionen von der Baustelle zum Carbonbetonhaus CUBE | 154 |
| Promotionen | 156 |
| Das Institut in Zahlen und Fakten | 178 |
| Publikationen | 191 |
| Dank an unsere Förderer | 197 |
| Das Team 2021 | 198 |
| Impressum | 199 |



ERFOLGREICH TROTZ HINDERNISSEN

Auch 2021 hielt uns Corona fest im Griff, ein normales Forschen und Lehren in Präsenz war nur mit Einschränkungen möglich. Dennoch haben wir versucht, so oft wie möglich in direkten Kontakt mit unseren Studierenden zu kommen und auch Extra-Möglichkeiten für Austausch und Zusammenarbeit zu schaffen. Ein besonderes Highlight war dabei sicher ein Baumhauskurs, den wir als Entwurfskurs in Kooperation mit einem Touristikpartner in der Sächsischen Schweiz realisiert haben.

Andererseits hat uns Corona auch ganz neue Entwicklungen ermöglicht, um nicht zu sagen: Wir wurden dazu gezwungen. Nie hätten wir geglaubt, dass die Digitalisierung der Lehre in einer derartigen Geschwindigkeit vorstattengehen kann. Für alle unsere Kurse existieren nun digitale Skripte, Übungen und auch aufgezeichnete Vorlesungen. Das ist ein Segen für unsere Fernstudent:innen, die immerhin beinahe fünfzig Prozent unserer eingeschriebenen Studierenden ausmachen.

Aber auch für die Präsenzlehre entstehen durch das nun verfügbare Material ganz neue Möglichkeiten für alternative Lehrmethoden. So testen wir derzeit im Kurs „Bauen im Bestand“ das Konzept *inverted classroom*: Es gibt keine Frontalvorlesung mehr (die kann man sich als Konserve herunterladen), stattdessen arbeiten die Studierenden in der Vorlesung einzeln oder in kleinen Gruppen selbst an einer typischen Praxisaufgabe und die Lehrenden stehen unmittelbar für Fragen zur Verfügung. Spielerisch erarbeiten sich die Studierenden Kompetenzen und Fertigkeiten, und mehr Spaß macht es auch noch!

Auch in der Forschungsarbeit mussten wir kräftig nachsteuern, um unsere wissenschaftlichen Ziele zu erreichen. Besonders herausfordernd waren die heftigen Einschränkungen in den versuchstechnischen Möglichkeiten. Wochenweise fiel unser Laborpersonal aus. Und wieder zurück, mussten Abstands- und Maskenregeln eingehalten werden, so dass an eine normale Versuchsdurchführung gar nicht zu denken war. Trotz größten Engagements

unserer Labormitarbeiter:innen hieß das dennoch: Verschiebung und inhaltliche Anpassung in sehr vielen Projekten. Im Homeoffice kann man nun mal schlecht Betonprobekörper herstellen, geschweige denn testen. Damit erwies sich unsere eigentliche große Stärke, nämlich das enge Verzahnen von versuchstechnischen und theoretischen Forschungsmethoden, als beinahe impraktikabel. Dennoch sind unter diesen schwierigen Bedingungen beeindruckende Ergebnisse entstanden, von denen einige in unserem diesjährigen Jahrbuch nachzulesen sind.

Am 23 Juli kam dann noch eine ganz besondere Nachricht: Die Initiative für ein Großforschungszentrum „LAB – Lausitz Art of Building“ wurde für die zweite Antragsstufe ausgewählt. So bekommen wir diese einmalige Chance, die Bauforschung in Deutschland zu den so wichtigen Themen Klimaneutralität und Ressourcenminimierung richtig nach vorn zu bringen!

Angesichts dieser großen Herausforderungen geht unser großer Dank an alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts, die mit größtem Engagement das Jahr 2021 zu einem besonderen Jahr haben werden lassen. Dank sei auch unseren Geldgebern und Förderern gesagt, die oft zu ungewöhnlichen Lösungen bereit waren, um Forschung und Lehre auf dem hohen Level zu halten.

Mögen Sie alle Freude an den kurzweiligen Berichten und Geschichten haben, die wir Ihnen mit diesem Büchlein präsentieren.

Manfred Curbach, Ulrich Häußler-Combe und Steffen Marx



FORSCHUNG

RESEARCH



Otto Mohr
Laboratorium
Technische Universität Dresden

Otto Mohr
Laboratorium
Technische Universität Dresden

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 acht Forschergruppen zu verschiedensten Themen rund um das Bauen mit Beton geforscht. Die Bandbreite reicht von der Modellierung des Zusammenwirkens einzelner Teilchen, über die experimentelle Untersuchung von ganzen Bauteilen bis zum prädiktiven Instandhaltungsmanagement von Ingenieurbauwerken. Wir beschäftigen uns mit speziellen Materialeigenschaften verschiedenster Betone, dessen

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 eight research groups on various topics relating to building with concrete. The spectrum ranges from modelling the interaction of individual particles, to the experimental investigation of whole components, to predictive maintenance management of engineering structures. We deal with special material properties of various concretes from light-weight to ultra-high performance,



Herstellung eines Schalungselementes aus Styropor | *Manufacturing of a formwork element made of Styrofoam* | Photo: Stefan Gröschel

Verbund zum Bewehrungsstahl und zu faserbasierten Bewehrungen, mit dem Einfluss unterschiedlichster Lastszenarien vom statischen Standard-Kurzzeitversuch über zyklische Dauerversuche bis zum Impakt, mit optimierten Bauweisen für den Neubau und alternativen Methoden zum Messen und zum Erhalt des Bestehenden.

Unsere aktuellen Projekte können verschiedenen Forschungsschwerpunkten zugeordnet werden:

- Eigenschaften von Betonen verschiedenster Zusammensetzung,
- Verbund zwischen Bewehrung und Matrix,
- Spezielle Belastungsszenarien wie Impakt-, zyklische und mehraxiale Beanspruchungen bei Material- und Bauteilversuchen,
- Simulation mit FEM, Erarbeitung von Stoffgesetzen und Bemessungsverfahren,
- Bauen mit Carbonbeton – von der Materialforschung über Bemessungskonzepte und Normung bis zur praktischen Umsetzung,
- Alternative Konstruktionsmethoden für Brückenbauwerke,
- In-situ-Belastungsversuche und -Langzeitüberwachung sowie Methoden des prädiktiven Monitorings von Bauwerken,
- Digitale Methoden.

Neben der reinen Grundlagenforschung nehmen gemeinsame Projekte mit Industriepartnern einen hohen Stellenwert ein, denn dies ist die beste Methode, Forschungsergebnisse in die Baupraxis zu überführen. Auch der gegenseitige wissenschaftliche Austausch mit Forschenden anderer Universitäten und Forschungseinrichtungen hat große Bedeutung. Gemeinsame Veranstaltungen und Gespräche bspw. im Rahmen der Treffen der Schwerpunktprogramme SPP 1542, 2020 und 2255, im DFG-Graduiertenkolleg GRK 2250, in den verschiedenen Verbundvorhaben im Zwanzig20-Projekt C³, im Rahmen des SFB/TRR 280 und des SFB 1463 oder bei der Gremienarbeit bspw. zur Neuauflage der DAfStb-Hefte 220/240, in den Unterausschüssen Ultrahochfester Beton sowie Nicht-metallische Bewehrungen oder in der *fib Task Group „History of Concrete Structures“* sind für alle Teilnehmer:innen gewinnbringend und Ideenpool für neue, gemeinsame Vorhaben gleichermaßen.

the combination of concrete with different reinforcements, with the influence of different load scenarios – from static standardized short-term test to long term and cyclic tests to impact – on the load bearing capacity, with optimized construction methods for new buildings and alternative methods for measurement and 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, cyclic and multi-axial stresses in material and component tests,*
- *Simulation with FEM, development of constitutive laws and design procedures,*
- *Building with carbon reinforced concrete – from materials research to design concepts and standardisation to practical implementation,*
- *Alternative construction methods for bridge structures,*
- *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 in-situ long-term monitoring of structures as well as and new methods for predictive monitoring,*
- *Digital methods.*

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, 2020 or 2255, of the Research Training Group GRK 2250, in the various collaborative research projects within the Twenty20 project C³, within the frameworks of the SFB/TRR 280 and the SFB 1463, or, e. g., the committees work on the new edition of the DAfStb booklets 220/240, the subcommittees on UHPC and on Non-metallic reinforcements 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.



Carbonbetonhaus CUBE | Carbon reinforced concrete building CUBE | Photo: Stefan Gröschel

ENTWURF ZUM ALLTAG

DESIGN FOR EVERYDAY LIFE

Im Zuge des Forschungsprojekts „C³ – Carbon Concrete Composite“ wurden umfangreiche Grundlagen für den Verbundwerkstoff Carbonbeton erarbeitet. Die Erkenntnisse dieser Forschungstätigkeiten wurden in Form einer Vielzahl von Forschungsberichten, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften oder auch Konferenzbeiträgen vorgestellt – eine für die breite Masse zugängliche Reglementierung fehlt jedoch. Dies sorgt für eine Markteintrittsbarriere des, durch sehr gute mechanische Eigenschaften bestehenden, Werkstoffs. Ein übergeordnetes Ziel ist es daher für die Praxis ein möglichst unkompliziertes Regelwerk für den Carbonbeton zur Verfügung zu stellen, in das die Ergebnisse aus dem C³-Projekt mit einfließen sollen.

Zu diesem Zweck wird vom DAfStb aktuell eine an den Eurocode 2 angelehnte Richtlinie für den Neubau von Carbonbetonteilen erstellt, die im Verlaufe des kommenden Jahres herausgebracht werden soll. Eine der Diskussionsgrundlagen für diese Richtlinie bilden die im C³ erarbeiteten Richtlinienentwürfe, die sogenannten Arbeitspapiere. Die Arbeitspapiere wurden im Projekt C3-V1.2 erstellt und werden seit dem

In the course of the research project “C³ – Carbon Concrete Composite”, extensive foundations for the application of the carbon concrete composite material were developed as well as in-depth considerations were made. The findings of these research activities have been presented in the form of a large number of research reports, publications in specialist journals or even conference papers, but there is no regulation accessible to the general public. This creates a market entry barrier for the material, which impresses with its very good mechanical properties. Therefore, a major goal is to provide a set of regulations for carbon concrete that is as uncomplicated as possible for practical use, into which the results from the C³ project are to be incorporated.

For this purpose, the DAfStb is currently preparing a guideline for new construction based on carbon concrete components derived from Eurocode 2, which is to be published in the course of the coming year. One of the discussion bases for this guideline are the draft guidelines prepared in C³, the so-called working papers. The working papers were prepared in the previous project C3-V1.2 and have been supplemented

Projektabschluss im Lückenschluss-Projekt C3-L9 ergänzt, um die fortlaufend erlangten Forschungserkenntnisse zu integrieren.

Für C3-L9 wurde der Umfang gegenüber C3-V1.2 allerdings deutlich eingekürzt, so dass keine eigenen Versuche in dem Projekt mehr durchgeführt werden. Stattdessen wird sich auf die reine Ergebnissammlung, Diskussion und Aufbereitung in den Arbeitspapieren konzentriert. Ebenfalls verringert wurde die Arbeitsgruppe, die nur noch vier Projektpartner umfasst.

Dadurch, dass die Arbeitspapiere nur einen Entwurf bzw. eine Diskussionsgrundlage für die Richtlinie darstellen, sind die hier vorgestellten Anwendungsgebiete teilweise detaillierter und umfangreicher, beispielweise wird bereits auf die Ermüdungsfestigkeit und die Vorspannung von Carbonbeton eingegangen. Allerdings soll auch die Richtlinie nach der ersten Veröffentlichung kontinuierlich fortgeschrieben werden, wofür auf die Ergebnisse aus C3-L9 zurückgegriffen werden kann. Außerdem wird in den Arbeitspapieren auf das Verstärken mit Carbonbeton eingegangen, was nicht Bestandteil der Richtlinie wird. Dieses Themenfeld wird zukünftig in verstärkungsspezifische Regularien integriert.

in its successor project C3-L9 to integrate the continuously acquired research findings.

For C3-L9, however, the scope was significantly reduced compared to C3-V1.2, so that no experiments are carried out in the project anymore. Instead, the focus is on the pure collection of results, discussion and processing in the working papers. The working group, which now consists of only four project partners, has also been reduced.

Because the working papers only represent a draft or a basis for discussion for the guideline, the areas of application presented are partly more detailed and extensive, for example, the fatigue strength and prestressing of carbon concrete are already dealt with. However, the guideline will also be continuously updated after the first publication, for which the results from C3-L9 can be used. In addition, the working papers deal with strengthening with carbon concrete, which will not be part of the guideline. This topic will be integrated into strengthening-specific regulations in the future.



Fertigung eines Carbonbetonbauteils | Manufacturing of a carbon reinforced concrete component | 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-L9: Regelwerke

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

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

05/2019 – 09/2022

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. Peter Betz
Dr.-Ing. Harald Michler

► **Projektpartner | Project partners**

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



TWIST-Schale im Bauzustand | TWIST shell during erection | Photo: Stefan Gröschel

CARBONBETONHAUS CUBE – IM BAU

C³ TECH DEMO HOUSE CUBE – UNDER CONSTRUCTION

Zur weiteren Umsetzung des Carbonbetonhauses CUBE am Campus der TU Dresden, konnte im Dezember 2020 das Vergabeverfahren abgeschlossen und die Beauftragung der Roh- und Ausbauleistungen erteilt werden. Die Arbeiten übernahmen als Arbeitsgemeinschaft (Arge) die Bauunternehmen bendl HTS, Sebnitz und Hentschke Bau, Bautzen. Die Gewerke Heizung, Lüftung, Sanitär, Gebäudeautomation, Elektrik und Geothermie wurden separat im Winter 2020/21 an die Elektro-Poick GmbH, Cölln, die R & Z Innovative Haustechnik GmbH, Radibor und BauGrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH, Bad Wurzach vergeben. Da bereits 2020 die Baugrube erstellt wurde, konnte die Arge im Januar 2021 mit den Gründungsarbeiten beginnen.

Bis Mai 2021 errichtete bendl HTS den zweigeschossigen CUBE-Fertigteilkomplex „BOX“. Die Halbfertigteilwände, Decken und Treppen stellte das Betonwerk Oschatz her. Die Wände bestehen innen und außen aus lediglich 4 cm dünnen, Carbonbetonschalen zwischen die eine 7 cm starke Hochleistungsdämmung und ein 12 cm dicker Füllbeton eingebracht

For the further realisation of the carbon concrete building CUBE at the TU Dresden campus, the tendering process was completed in December 2020 and the contract for the structural and finishing works was awarded. The construction work was carried out as a joint venture by the construction companies bendl HTS, Sebnitz and Hentschke Bau, Bautzen. The heating, ventilation, sanitation, building automation, electrical and geothermal trades were awarded separately in winter 2020/21 to Elektro-Poick GmbH, Cölln, R & Z Innovative Haustechnik GmbH, Radibor and BauGrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH, Bad Wurzach. Since the excavation pit had already been prepared in 2020, the consortium was able to begin with the foundation works in January 2021.

In May 2021 bendl HTS erected the two-storey building complex “BOX” made of prefabricated concrete elements. The semi-precast walls, ceilings and stairs were produced by the Oschatz concrete precast plant. The walls consist of only 4 cm thin, carbon concrete shells on the inside and outside, between which a 7 cm thick high-performance insulation and a 12 cm wide

wurden, sodass sich eine schlanke Außenwand mit einer Gesamtstärke von 27 cm ergibt. Die Decken sind 25 cm stark, ca. 4,7 m lang und einachsrig gespannt. Sie weisen einen Hohlkörperquerschnitt auf, um den Betonverbrauch möglichst gering zu halten. Die Hohlkörper wurden in der Art eingebracht, dass ein Deckenelement aus nur 3 cm dicken, carbonbewehrten Gurten und 19 cm hohen, 6 cm breiten Stegen besteht. Zur Verbindung der Fertigteile kamen Ortbeton und nichtmetallische Stab- und Bügelbewehrung zum Einsatz.

Im Juni montierte die Metallbau Schubert GmbH die Stahlstützen und -riegel, die sowohl einen Teil der Fassade bilden als auch zur Auflagerung der beiden verdrehten Dach-Wand-schalen („TWIST“-Elemente) dienen. Nach dem Schalungsaufbau konnte schließlich im August die Herstellung der beiden Flügel und im Oktober der TWIST-Elemente beginnen. Diese bestehen aus einer 25 cm starken Tragschicht mit leichten Füllkörpern, einer 15 cm dicken Dicht- und Dämmschicht und einer 4 cm dünnen Betonwetterschutzschicht. Die Arbeiten erfolgten von innen nach außen, schicht- und lagenweise. Dabei kamen zwei Spezialspritzbetone und Carbongelege zum Einsatz. Bis auf die Wetterschale konnten die beiden Flügel und TWIST-Elemente bis Ende 2021 vollständig hergestellt werden.



Die BOX wird abgenommen | The BOX is inspected and approved |
Photo: Stefan Gröschel

filler concrete were inserted, resulting in a slim exterior wall with a total thickness of 27 cm. The hollow-core slabs are 25 cm thick, approx. 4.7 m long and span uniaxially. The hollow bodies were placed in such a way that a slab element consists of only 3 cm thick, carbon-reinforced chords and 19 cm high, 6 cm wide webs. In-situ concrete and non-metallic bar and stirrup reinforcement were used to connect the precast elements.

In June, Metallbau Schubert GmbH assembled the steel columns and beams that form part of the façade and also serve to support the two twisted roof-wall shells (“TWIST“-elements). After erecting the formwork, the construction of the two external wings could finally begin in August and of the TWIST-elements in October. These consist of a 25 cm thick bearing shell with lightweight fillers, a 15 cm thick sealing and insulation layer and a 4 cm thin concrete weather protection shell. The work was carried out from the inside to the outside, layer by layer. Two special sprayed concretes and carbon fabric reinforcements were used. Except for the weather protection shell, the two wings and TWIST-elements were completely erected by the end of 2021.

► **Titel | Title**

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 im Verbundvorhaben C3-V3.1: Ergebnishaushaus des C³-Projektes – CUBE

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

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

09/2017 – 09.2022

► **Verbundvorhabenleiter | Joint project manager**

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

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

Dr.-Ing. Michael Frenzel, Dipl.-Ing. Angela Schmidt, Iurii Vakaliuk, M. Sc., Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze

► **Projektpartner | Project partners**

Institut für Betonbau, HTWK Leipzig | Architekten Ingenieure Bautzen GmbH | ASSMANN Bauen + Planen AG, Dresden | Betonwerk Oschatz GmbH | bendl Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG, Sebnitz | texton e. V., Dresden



CarboLight Bridge im Deutschen Museum München | CarboLight Bridge in the Deutsches Museum in Munich | Photo: Ansgar Pudenz

KÜR GEGLÜCKT! HAPPY ENDING!

Das Bauen mit Beton ressourcenschonender und klimafreundlicher zu gestalten, gehört zu den wichtigsten Zielen im Bauwesen. Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ wurden dafür bionische und mathematische Entwurfsprinzipien angewandt, um innovative Betone effizient einzusetzen. Als Demonstrator für diesen Ansatz wurde am Institut für Massivbau eine Brücke aus Carbon- und Infralichtbeton entwickelt und im modernisierten Bereich Brückenbau im Deutschen Museum München aufgebaut.

Die CarboLight Bridge ist als filigrane Konstruktion aus zwei flach geneigten Stützen und einem dreigeteilten Überbau mit 9,50 m Länge und von 1,20 m Breite konzipiert. Die gestalterischen und konstruktiven Möglichkeiten des leichten Bauens mit Beton und Carbonbeton werden vor allem durch das Konstruktionsgewicht von lediglich 2,1 t und die schlanken V-förmigen Stützen aufgezeigt. Maßgeblichen Anteil dafür haben die kraftflussoptimierte Form und der Sandwichaufbau des Überbaus.

Der dreischichtige Aufbau variiert in der Höhe zwischen 60 mm und 160 mm. Die zweiachsig

Making construction with concrete more resource-efficient and climate-friendly is one of the most important goals in the construction industry. Within the DFG Priority Programme 1542 "Concrete Light", bionic and mathematical design principles were applied for this purpose to use innovative concretes efficiently. As a demonstrator for this approach, a bridge made of carbon and infra-lightweight concrete was developed at the Institute of Concrete Structures and set up in the refurbished bridge division at the Deutsches Museum in Munich.

The CarboLight Bridge is designed as a filigree construction consisting of two gently inclined columns and a three-sectional superstructure with 9.50 m length and of 1.20 m width. The design and construction possibilities of lightweight construction with concrete and carbon concrete are demonstrated above all by the construction weight of only 2.1 t and the slim V-shaped columns. The force-flow-optimised shape and the sandwich superstructure play a major role in this.

The three-layer structure varies in height between 60 mm and 160 mm. The biaxially curved

gekrümmte Unterseite und die ebene Oberseite bestehen aus einer nur 20 mm dicken Schicht Carbonbeton. Dazwischen befindet sich Infralichtbeton mit einer Dichte von ca. 800 kg/m³.

Mittels einer 3D-Modellierung der Brücke wurden die Geometrie hinsichtlich des Lastabtrags und der Konstruktion optimiert sowie Schalungen aus gefrästem Sperrholz gefertigt. Um die Montage, das Erscheinungsbild und die Tragfähigkeit der Carbonbetonbrücke zu erproben, erfolgte die Herstellung eines Testexemplars der Brücke im Otto-Mohr-Laboratorium. Nach erfolgreicher Beprobung, wurden fünf vorgefertigte Segmente zum Einbauort in ca. 3 m Höhe ins Deutsche Museum transportiert. Mithilfe eines verstellbaren Unterstützungssystems wurden die Segmente ausgerichtet und der Infralichtbeton sowie die Deckschicht aus Carbonbeton vor Ort eingebracht.

Ergänzend zur Ausstellungsbrücke verdeutlicht ein Tastexponat des Überbauquerschnitts das optimierte Zusammenspiel von Carbon- und Infralichtbeton in der hybriden Konstruktion. Dadurch wurde letztlich eine signifikante Ressourceneinsparung gegenüber einer Stahlbetonkonstruktion vergleichbarer Tragfähigkeit erzielt. Beide Exponate sind ab Sommer 2022 im Deutschen Museum zugänglich.

underside and the flat top layer are made of carbon-reinforced concrete 20 mm thick. In between is infra-lightweight concrete with a density of around 800 kg/m³.

Based on the 3D modelling of the bridge, the geometry was optimised in terms of load transfer and design and the moulds were made from milled plywood. To test the assembly, appearance and load-bearing capacity of the carbon concrete bridge and individual segments, an identical test bridge was manufactured in the Otto Mohr Laboratory. After successful testing, five prefabricated segments were transported to the installation site at a height of approx. 3 m in the Deutsches Museum. Employing an adjustable support system, the segments were aligned and the infra-lightweight and the carbon-reinforced concrete top layer were cast on site.

In addition, a tactile exhibit of the superstructure cross-section demonstrates the optimised interaction of carbon and infra-lightweight concrete in this hybrid construction. This ultimately resulted in a significant resource-saving compared to a reinforced concrete structure of comparable load-bearing capacity. Both exhibits will be accessible at the Deutsches Museum from the summer of 2022.



Die Brücke bekommt den letzten Feinschliff | *The bridge gets the finishing touches* | Photo: Stefan Gröschel

► **Titel | Title**

CarboLight Bridge als Demonstrator für die SPP-1542-Projekte des IMB, TU Dresden

CarboLight Bridge as demonstrator for the SPP 1542 projects of the IMB, TU Dresden

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 1542 | Institut für Massivbau, TU Dresden | Deutsches Museum München

► **Zeitraum | Period**

10/2011 – 12/2021

► **Projektleiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

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

► **Unterstützer | Supporter**

HICONFORM – Freitaler Modellwerkstätten eG | Heidelberger Beton GmbH | Institut für Baustoffe, TU Dresden



Übliche Verstärkungsmethoden in Syrien | Traditional strengthening methods in Syria | Photos: Zuhair Amer

CARBONBETON IN SYRIEN

CARBON REINFORCED CONCRETE IN SYRIA

Im Forschungsprojekt wurde das Potential für den Einsatz von Carbonbeton in Syrien analysiert und Handlungsempfehlungen sowie Berechnungsalgorithmen, angepasst an regionale Besonderheiten, erarbeitet.

Die Bauwerke in Syrien unterliegen, verglichen z. B. mit denen in Deutschland, zum Teil abweichenden, besonderen Beanspruchungen, die sowohl spezielle Konstruktionsweisen als auch einen besonderen Umgang mit dem Bestand erfordern. Konkret handelt es sich einerseits um die natürliche Einwirkung Erdbeben. Andererseits ist ein Großteil der vorhandenen Bauwerke von extremen Lasten infolge des Krieges beansprucht.

In Deutschland wird vor allem seit Mitte der 1990er Jahre ein neuer Baustoff intensiv erforscht. Textil- oder Carbonbeton (TRC bzw. CRC) weist viele Eigenschaften auf, die ihm gegenüber der herkömmlichen Massivbauweise Vorteile verschaffen. Bereits dünne, materialeffiziente Schichten sind geeignet, um die Tragfähigkeit deutlich anzuheben oder die Gebrauchstauglichkeit zu verbessern. Dies gilt sowohl für den statischen Belastungsfall, aber auch für wiederholte Anregungen. Dies alles macht Textil- oder Carbonbeton prädestiniert für den Einsatz in meinem Heimatland.

In the research project, the potential for the use of carbon reinforced concrete in Syria was analysed and recommendations for action as well as calculation algorithms, adapted to regional characteristics, were developed.

The structures in Syria are subject to, compared for example with those in Germany, partly deviating, special stresses that require both particular construction methods and a special way of dealing with the existing buildings. In concrete terms, these are, on the one hand, the natural action of earthquakes. On the other hand, a large part of the existing structures is stressed by extreme loads as a result of the war.

In Germany, a new building material has been the subject of intensive research, especially since the mid-1990s. Textile or carbon reinforced concrete (TRC and CRC, resp.) has many properties that are advantageous compared to conventional solid construction. Even thin, material-efficient layers are suitable for significantly increasing the load-bearing capacity or improving usability. This applies both to the static load case, but also to repeated suggestions. All of this makes textile or carbon concrete predestined for use in my home country.

At the Institute of Concrete Structures at the TU Dresden, there was the opportunity to work

Am Institut für Massivbau der TU Dresden bestand die Möglichkeit, eng mit hervorragenden Fachleuten auf diesem Gebiet zusammenzuarbeiten, ein umfassendes Wissen zu erwerben und gleichzeitig ein Konzept für die Anwendung von Textilbeton bei kriegs- und erdbebengeschädigten Bauwerken in Syrien zu erarbeiten. 2021 lag der Fokus auf folgenden Arbeitspunkten:

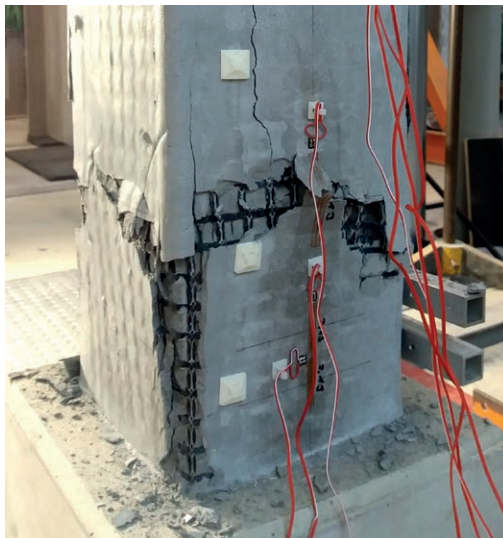
- Zusammenfassung der häufigsten Schadensbilder und Defizite im Bestand,
- Darstellung der in Syrien üblicherweise angewendeten Verstärkungsmaßnahmen an ausgewählten Beispielen,
- Durchführung von Laborversuchen mit Carbonbeton zur Kennwertermittlung,
- Vergleiche zwischen herkömmlichen Methoden der Verstärkung in Syrien und der Verstärkung mit Anwendung von Carbonbeton,
- Finalisierung eines Instandsetzungs- und Ertüchtigungskonzeptes für ausgewählte Bauwerks- und Schadenstypen,
- Unterlegung des Konzeptes mittels Berechnungen und Simulationen, gestützt auf die Versuchsergebnisse aus dem Labor.

Abschließend wurden die Berechnungsalgorithmen mit ausgewählten Beispielen ergänzt.

closely with outstanding experts in this field, to acquire extensive knowledge and at the same time to develop a concept for the use of TRC in structures damaged by war and earthquakes in Syria. In 2021, the focus was on the following working points:

- *Summary of the most common damage patterns and deficits in the existing structure,*
- *Description of the strengthening measures commonly used in Syria on the basis of selected examples,*
- *Carrying out laboratory tests with carbon reinforced concrete to determine characteristic values,*
- *Comparisons between conventional methods of strengthening in Syria and strengthening with CRC,*
- *Finalisation of a repair and retrofitting concept for selected types of structures and damage,*
- *Supporting the concept by means of calculations and simulations, based on the test results from the laboratory*

Finally, the calculation algorithms were supplemented with selected examples.



Mit CRC verstärkte Stütze im Test – Versagen am Fußpunkt | *CRC strengthened column in an lab test – failure on its base* | Photo: Zuhair Amer

► **Titel | Title**

Einsatz von Carbonbeton in Syrien
Carbon reinforced concrete in Syria

► **Förderer | Funding**

Alexander von Humboldt Stiftung

► **Zeitraum | Period**

07/2019 – 12/2021

► **Projektleiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dr.-Ing. Zuhair Amer



Eine Kunststoffmatrize garantiert die Lagesicherheit der textilen Bewehrung sowie der Funktionskomponenten. Sie wird auf die Schalung gelegt und ausbetoniert. | A plastic matrix guarantees the positional stability of the textile reinforcement and the functional components during concreting in the precast plant. | Photo: Dominik Schlüter

MODULAR UND FUNKTIONSINTEGRIERT BAUEN MODULAR, FUNCTION-INTEGRATED CONSTRUCTION

Gebäude sollen architektonisch ansprechend und für jedermann erschwinglich sein, aber auch unserem Anspruch an Komfort entsprechen, ohne sich negativ auf die Klimaschutzziele auszuwirken. Zwischen diesen Zielen und der momentanen Situation – insbesondere was den Energieverbrauch der Gebäude angeht – besteht jedoch eine große Lücke. Für das Erreichen der Klimaschutzziele müsste ein Großteil der Gebäude bis 2045 saniert, renoviert oder erneuert werden. Die aktuelle Sanierungsrate stagniert jedoch momentan bei ca. 1 %. Dies liegt u. a. am Fachkräftemangel, welcher wiederum zu steigenden Baukosten, langen Bauzeiten und schlussendlich einem Verfehlen der Klimaschutzziele führt.

Ein Ansatz, um dem entgegenzuwirken, ist das serielle Bauen, welches auch die serielle Sanierung mit einschließt. Im Rahmen von ENERTON wurden dahingehend Bauteile entwickelt, welche in herkömmlichen Fertigteilbauwerken hergestellt werden können. Der Clou: sie ermöglichen zugleich die Integration von Gebäudetechnik und erneuerbaren Energietechnologien. Somit können alle notwendigen Technologien bereits im Fertigteilwerk vorinstalliert werden. Dies spart Zeit und Kos-

Our building stock should consist of architecturally appealing buildings that meet our standards on comfort, are affordable for everyone and contribute to our climate protection goals. Most investors can probably agree with this vision. However, there is still a large gap between this vision and the current situation – especially with regard to the energy consumption of buildings. In order to achieve the climate protection targets, a large part of the buildings would have to be refurbished, renovated or renewed by 2045. The current renovation rate is stagnating at around 1% which is far too slow. This is, among other things, due to the prevailing shortage of skilled workers, which in turn leads to rising construction costs, long construction times and ultimately a failure to achieve the climate protection targets.

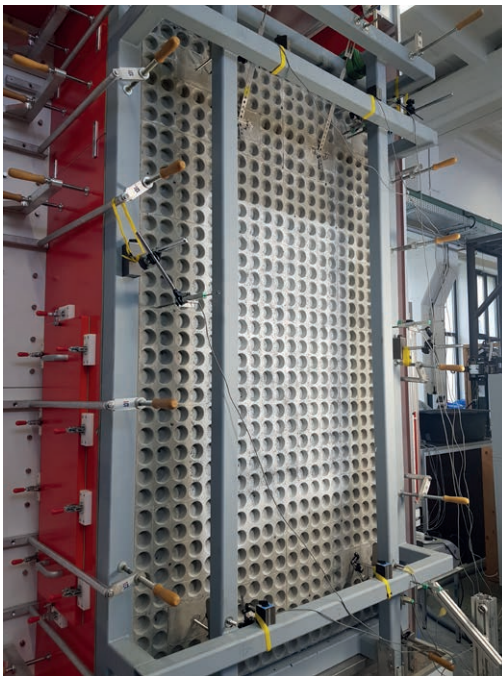
One approach to counteract this is serial construction, which also includes serial renovation. Within the framework of the project ENERTON, building components were developed that can be produced in conventional precast plants and enable the integration of building technology as well as renewable energy technologies. This means that all the necessary

ten vor Ort. Die entwickelten Platten kommen durch Strukturoptimierung und Einsatz von Carbonbeton mit einem stark reduzierten Materialbedarf aus.

Durch experimentelle und numerische Untersuchungen wurden am Institut für Massivbau Herstell- und Konstruktionskonzepte entwickelt und optimiert. Ein besonderer Fokus galt der Speicherung von elektrischer Energie sowie der Kabelführung. Der Projektpartner an der TU Darmstadt entwickelte temperaturunempfindliche und kostengünstige Stromspeicher mit hoher Zyklenstabilität auf Basis nicht kritischer Materialien. Für den Anwendungsfall „vorgehängte hinterlüftete Fassade“ wurden zu Projektende realitätsnahe Versuche in einem Fassadenprüfstand durchgeführt. Dabei wurden insbesondere das Tragverhalten der optimierten Platte sowie der Verbindungselemente auf die Probe gestellt. Die Versuche zeigten, dass die Platten den statischen Anforderungen genügen. In weiteren Projekten sollte nun die Herstellungsmethodik weiterentwickelt werden, um zukünftig ein kostengünstiges modulares Bauen mit hohem Vorfertigungsgrad zu ermöglichen.

technologies can already be pre-installed in the precast plant. This saves time and costs on the site. The slabs developed through structural optimisation and the use of carbon concrete require a greatly reduced amount of material.

With the help of experimental and numerical investigations, manufacturing and construction concepts were developed and optimised at the Institute of Concrete Structures. A special focus was placed on the storage of electrical energy and cable routing. The project partner at TU Darmstadt developed temperature-insensitive and cost-effective electricity storage systems with high cycle stability based on non-critical materials. At the end of the project, realistic tests were carried out in a façade test stand for the application “ventilated façade”. In particular, the load-bearing behaviour of the optimised panel and the connecting elements were investigated. The tests showed that the panels meet the static requirements for a large number of applications. In further projects, the manufacturing methodology must be further developed to enable cost-effective modular construction with a high degree of prefabrication in the future.



Entwickeltes Bauteil im Fassadenprüfstand | *Developed component in a façade test stand* | Photo: Dominik Schlüter

► **Titel | Title**

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

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

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) / C³ – Carbon Concrete Composite

► **Zeitraum | Period**

04/2018 – 02/2021

► **Teilprojektleiter | 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



Textiler Netzgitterträger | Textile latticed girder | Photo: Paul Penzel, ITM TU Dresden

NETZGITTERTRÄGER AUS CARBONFASERN CARBON FIBRE LATTICE GIRDERS

Stahlbeton-Filigranfertigteile (FFT) haben sich im Bauwesen als Halbzeuge für massive Wände und Decken etabliert, um einen schnellen Baufortschritt in Verbindung mit einem geringen Schalungsaufwand zu erreichen. Durch die vorteilhafte Werksfertigung wird eine sehr gute und einheitliche Qualität dieser FFT erreicht, die in Ortbeton nur mit einem größeren Aufwand zu realisieren ist. Idealerweise enthalten die FFT bereits die gesamte, für den Endzustand erforderliche, Bewehrung. Der Einsatz von Stahlgitterträgern stellt dabei eine am Markt etablierte, bewährte Technologie zur Fertigung von FFT dar. Die Korrosionsanfälligkeit von Betonstahl sowie die hohen Transportkosten verhindern jedoch innovative Baukonstruktionen in ressourcensparender Sandwich- bzw. Hohlkörperbauweise.

Im Vergleich zu herkömmlicher Stahlbewehrung bietet die Verwendung textiler, korrosionsunempfindlicher Bewehrungsmaterialien das Potential zu wirtschaftlichen und ressourcensparenden Konstruktionen. Durch den vollständigen Ersatz der Stahlbewehrung durch Carbonfaser-Bewehrung können so beispielsweise Halbfertigteil-Deckenplatten – bei gleichzeitig sehr hoher Tragfähigkeit

Reinforced concrete filigree precast elements (FFT) have established themselves in the construction industry as semi-finished parts for solid walls and slabs in order to achieve rapid construction progress in conjunction with low formwork requirements. Due to the advantageous factory production, a very good and uniform quality of these FFT is achieved, which can only be realized in in-situ concrete with a greater effort. Ideally, the FFT contains already all the reinforcement required for the final state. The use of steel lattice girders represents a proven technology for the production of FFTs that is well established on the market. However, the corrosion susceptibility of reinforcing steel as well as the high transport costs prevent innovative construction designs in resource-saving sandwich or hollow core construction methods.

Compared to conventional steel reinforcement, the use of textile reinforcement materials that are insensitive to corrosion offers the potential for economical and resource-saving constructions. By completely replacing steel reinforcement by carbon fibre reinforcement, it is possible, for example, to make semi-precast slabs thinner and, for the first time, with cavi-

– dünner und erstmals mit Hohlräumen ausgeführt werden. Damit steigen die Nutzungsmöglichkeiten für Installationen und durch das hervorragende Rissbildungsverhalten von Carbonbetonbauteilen kann ein geringerer Nachbearbeitungsaufwand erreicht werden, ohne die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zu verringern.

Im Rahmen dieses Projekts wird daher angestrebt die in Halfertigteil-Deckenplatten bisher verwendeten Stahlgitterträger durch dreidimensionale Netzgitterträger aus Carbonfasern zu ersetzen.

Dabei müssen die Netzgitterträger sowohl die erforderliche Bewehrung für den Einsatz und das Handling der neuartigen Halfertigteil-Deckenplatten sicherstellen, als auch einen Teil der Biegebewehrung der Deckenplatte bilden. Um die notwendige Druckstabilität, welche die Begehrbarkeit während der Montage sicherstellt, zu erreichen, werden daher neuartige, schubsteife Elemente verlangt. Ziel des Vorhabens ist somit die Entwicklung von textilen 3D Netzgitterträgern aus Carbonbewehrung sowie deren Fertigungstechnologie für den großindustriellen Einsatz in neuartigen Halfertigteil-Deckenplatten mit integrierten, großvolumigen Hohlräumen.

ties – while at the same time maintaining a very high load-bearing capacity. This increases the possibilities of use for installations and, due to the excellent cracking behaviour of carbon concrete components, a lower amount of post-processing can be achieved without reducing the load-bearing capacity and serviceability.

This project, therefore, aims to replace the steel lattice girders previously used in semi-finished slabs with three-dimensional lattice girders made of carbon fibres.

In this context, the lattice girders must both provide the reinforcement required for the use and handling of the new type of semi-precast slabs and form part of the flexural reinforcement of the slab. Novel shear-resistant elements are therefore required to achieve the compressive stability necessary to ensure walkability during erection. The aim of the project is thus the development of textile 3D lattice girders made of carbon fibres as well as their manufacturing technology for large-scale industrial use in novel semi-finished slabs with integrated, large-volume cavities.



Gitterträger aus Stahl | *Steel lattice girders* | Photo: Harald Michler

► **Titel | Title**

Entwicklung von textilen 3D-Netzgitterträgern und deren Herstellungstechnologie für die effiziente Fertigung von leichten Carbonbetonfertigteilen

Development of textile 3D lattice girders and their manufacturing technology for the efficient production of lightweight prefabricated carbon reinforced concrete slabs

► **Förderer | Funding**

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) / Forschungskuratorium Textil e. V.

► **Zeitraum | Period**

05/2021 – 07/2023

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

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

► **Bearbeiter | Contributors**

Marina Stümpel, M. Sc.
Dr.-Ing. Harald Michler

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), TU Dresden



Prüfkörper im Maßstab 1 : 1 vor Versuchsdurchführung | *Bending test of a beam in scale 1 : 1* | Photo: Oliver Steinbock

BRÜCKEN FÜR DEN WALD

BRIDGES FOR THE FOREST

Der Sachsenforst ist ein dezentraler Staatsbetrieb und ist im Rahmen seiner Hauptverantwortung für den Wald in Sachsen sowie das darin vorhandene Verkehrsnetz verantwortlich. In Zusammenarbeit mit der PD (Projektpartner Deutschland), welche öffentliche Partner bei der Umsetzung komplexer und innovativer Vorhaben unterstützt, werden für das untergeordnete Verkehrsnetz modulare Brückenbauwerke entworfen.

Zunächst erfolgte hier eine umfangreiche Analyse der vorhandenen Infrastruktur des Sachsenforstes mit dem Ziel ein Lastenheft für die Anforderungen an Brücken im Verkehrsnetz des Sachsenforstes zu formulieren. Hierbei zeigte sich, dass eine wirtschaftliche modulare Bauweise, mit hoher Flexibilität bei gleichzeitig hoher Dauerhaftigkeit, das Ziel des Projektes darstellt. Die Carbonbetonbauweise verspricht mit seiner hohen Dauerhaftigkeit im feuchten Klima des Waldes enorme Vorteile im Vergleich zu konventionellen Stahlbeton-, Stahl- und insbesondere Holzbrücken. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen des Pro-

Sachsenforst is a decentralized state enterprise and is responsible for the forest in Saxony as well as the existing traffic route network within it as part of its primary responsibility. In cooperation with PD ("Projektpartner Deutschland"), which supports public partners in the implementation of complex and innovative projects, modular bridge structures were designed for the subordinate traffic route network.

First of all, a comprehensive analysis of the existing infrastructure of the Sachsenforst was carried out with the aim of formulating specifications for the requirements of bridges in the traffic route network of the Sachsenforst. This showed that an economical modular construction method with high flexibility and high durability at the same time is the goal of the project. The carbon concrete construction method with its high durability in the humid climate of the forest promises enormous advantages compared to conventional reinforced concrete, steel and especially wooden bridges. Economic feasibility studies by the project partner PD prove the sustainability of the carbon concrete construction method - among other things due

jektpartner PD belegen die Nachhaltigkeit der Carbonbetonbauweise – u. a. aufgrund der längeren Nutzungsdauer und des geringeren Erhaltungsaufwandes.

Im konkreten wurden längsgegliederte Fertigteile mit konstanter Konstruktionshöhe und Carbonbewehrung entworfen, die variabel für Spannweiten zwischen 3 m und 9 m eingesetzt werden können. Der Bewehrungsgrad der Fertigteile variiert in Abhängigkeit der Stützweite ebenso wie die Dicke der Ortbetonergänzung, die gleichzeitig zur Lastverteilung in Querrichtung herangezogen wird. Das Gewicht der robusten Brückenkonstruktion wurde durch die Anordnung von innenliegenden Porenbetonsteinen auf ein Minimum reduziert. Die effektive Dicke der Betonkonstruktion mit rinnenartigem Fertigteilquerschnitt beträgt 7,5 cm.

Das Institut für Massivbau war neben dem Entwurf und der Konzeption dieser modularen Bauteile auch mit dem experimentellen Nachweis dieser neuartigen Bauweise beauftragt. In Abstimmung mit der Landesstelle für Bautechnik wurde ein entsprechendes Versuchsprogramm abgestimmt und durchgeführt, womit die Weichen für eine Umsetzung an einem Pilotprojekt gestellt wurden. Nachdem im Jahr 2021 die Großbauteilversuche im Maßstab 1 : 1 bereits erfolgreich durchgeführt wurden, stehen im Jahr 2022 noch kleinteilige Ergänzungsversuche an, sodass die Grundlagen vorliegen um die für neue Bauweisen notwendige Zustimmung im Einzelfall (ZiE) zu erhalten.



Bewehrungskorb aus Carbonfaserstäben in der Schalung | Carbon reinforcement cage in the mould | Photo: Oliver Steinbock

to the longer service life and lower maintenance costs.

In this specific case, longitudinally articulated precast elements with a constant structural height and carbon reinforcement were designed, which can be used variably for spans between 3 m and 9 m. The degree of reinforcement of the precast elements can be adapted to the specific requirements and varies depending on the span length. The thickness of the cast-in-place concrete, which is used for load distribution in the transverse direction is also variable. The weight of the robust bridge superstructure was reduced to a minimum by an arrangement of internal aerated concrete blocks. The effective thickness of the concrete structure with a channel-like precast cross-section is 7.5 cm.

In addition to the design and conception of these modular components, the Institute of Concrete Structures was also commissioned with the experimental verification of this innovative construction method. In coordination with the "Landesstelle für Bautechnik", a corresponding test program was coordinated and carried out, thus setting the course for implementation of a pilot project. The large-scale 1 : 1 component tests were successfully carried out in 2021. A small-scale supplementary tests will be carried out in 2022, so that the "approval on an individual basis" (ZiE) required for new construction methods can be obtained.

► **Titel | Title**

Einsatz von Carbonbeton im Wald- und Forstwegebau in Sachsen

Potential of carbon reinforced concrete in forest and track road construction in Saxony

► **Förderer | Funding**

PD – Berater der öffentlichen Hand GmbH, Berlin

► **Zeitraum | Period**

08/2020 – 03/2022

► **Projektleiter | Project manager**

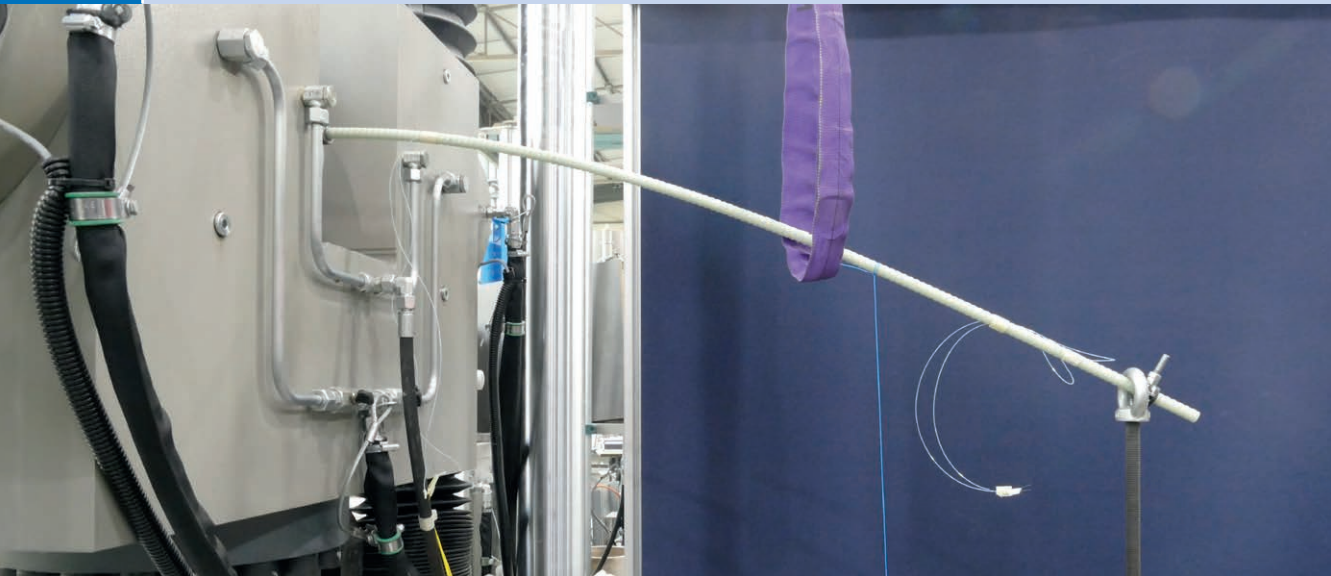
Dr.-Ing. Frank Schladitz

► **Bearbeiter | Contributor**

Dr.-Ing. Oliver Steinbock

► **Partner | Partner**

Staatsbetrieb Sachsenforst, Pirna



Biegeversuch an FVK-Stäben mit FOS | Bending test of FRP bars with FOS | Photo: Chongjie Kang

VERANKERUNG VON FVK-BEWehrUNG

ANCHORING OF FRP REINFORCEMENT

Faserverbundkunststoffe (FVK) ermöglichen im Bauwesen besonders effiziente, leichte und wirtschaftliche Bauteile. Durch ihre hohe Zugfestigkeit, Korrosionsunempfindlichkeit und geringe Wärmeleitfähigkeit können FVK-Bewehrungen insbesondere bei schlanken, hoch beanspruchten Betonbauteilen sowie in aggressiver Umgebung sinnvoll eingesetzt werden. Um das Potential dieser innovativen Werkstoffe im Bauwesen vollständig nutzen zu können, sind experimentell verifizierte Kenntnisse zum Verbundtragverhalten erforderlich. Zur Verankerung von FVK-Spanngliedern wird zudem eine Technologie benötigt, die das schnelle Verankern auf der Baustelle zulässt. In diesem Forschungsvorhaben werden daher neuartige, praxistaugliche Verankerungsmöglichkeiten für Bewehrung und Spannglieder aus FVK entwickelt. Die Grundlage dafür bilden experimentelle und numerische Untersuchungen.

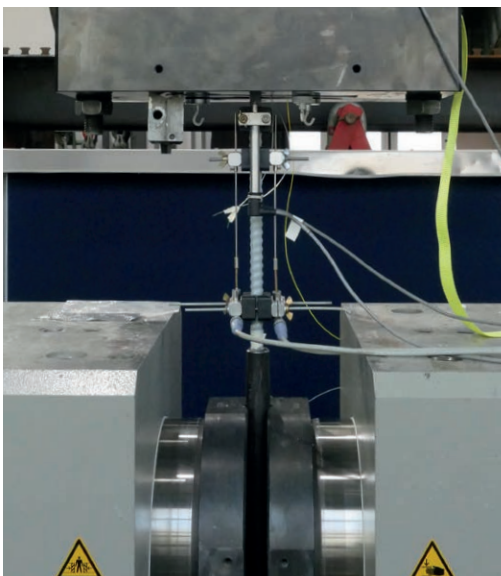
Um das Verbundverhalten von FVK-Bewehrung und Beton im Rahmen der experimentellen Untersuchungen zu bewerten, wird neben der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung die Dehnungsentwicklung im Stab betrachtet. Zur Dehnungsmessung werden dabei faser-

Fibre-reinforced plastics (FRP) make it possible to produce particularly efficient, lightweight and economical components in the construction industry. Due to their high tensile strength, insensitivity to corrosion and very low thermal conductivity, FRP reinforcements can be usefully employed in particular for slender, highly stressed concrete components as well as in aggressive environments. In order to fully exploit the potential of these innovative materials in civil engineering, experimentally verified knowledge of the bond behaviour is required. For the anchorage of FRP tendons, a technology is also needed that allows rapid anchorage on the construction site. This research project is therefore focused on developing new, practical anchoring options for reinforcement and tendons made of FRP. Experimental and numerical investigations form the basis of the project.

In order to evaluate the bond behaviour of FRP reinforcement and concrete within the framework of the experimental investigations, the strain development in the rebar is considered in addition to the bond stress-slip relationship. Fibre optic sensors (FOS) based on Rayleigh scattering are used for strain measurements. FOS

optische Sensoren (FOS) auf Basis von Rayleighstreuung verwendet. FOS sind bereits in großem Umfang auf Stahl- und Betonoberflächen eingesetzt worden. Für die Applikation auf FVK-Stäben gibt es dagegen nur wenige Untersuchungen. Mit dem Ziel Material- und Handlungsempfehlungen für einen zuverlässigen Einsatz von FOS auf FVK-Stäben zu formulieren, wurden daher Zug- und Biegeversuche an reinen FVK-Stäben sowie Ausziehversuche mit FOS durchgeführt. Es wurden zwei Arten von Fasercoatings (mit Acrylat- und Polyimidbeschichtung) und zwei Arten von Klebstoffen (Epoxid und Cyanoacrylat + Silikon) zur Applikation verwendet, sodass insgesamt vier Fasercoating-Klebstoff-Kombinationen untersucht wurden. Zudem wurde die Art der Applikation (Klebung in einer Nut und auf der Staboberfläche) variiert. Mit den Untersuchungen wurde die Plausibilität und Zuverlässigkeit der verschiedenen Kombinationen geprüft, die Verbundspannungen zwischen den Stäben und dem Beton in den Ausziehversuchen gemessen und die Biege- und Zugfestigkeit der FVK-Stäbe ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen als Grundlage für die weiterführenden Vier-Punkte-Biegeuntersuchungen an Betonbauteilen mit FVK-Bewehrung bzw. -spanngliedern.

have already been widely used on steel and concrete surfaces. For the application on FRP bars, however, there are only a few investigations. To formulate material and handling recommendations for a reliable application of FOS on FRP bars, tensile and bending tests on pure FRP bars as well as pull-out tests with FOS were carried out. In this context, two types of fibre coatings (with acrylate and polyimide coating) and two types of adhesives (epoxy and cyanoacrylate + silicone) were used for the application, so that a total of four fibre coating-adhesive combinations were investigated. In addition, the type of application (bonding in a groove and on the bar surface) was varied. The investigations were used to test the plausibility and reliability of the different combinations, to measure the bond stresses between the bars and the concrete in the pull-out tests and to determine the bending and tensile strength of the FRP bars. The results of these investigations serve as a basis for the further four-point bending tests on concrete components with FRP reinforcement or tendons.



Ausziehversuch an FVK-Stäben | *Pull-out test of FRP bars* | Photo: Chongjie Kang

► **Titel | Title**

Entwicklung neuartiger praxistauglicher Verankerungs- und Übergreifungslösungen von Bewehrung aus Faserverbundkunststoff

Development of new applicable anchorage and lap solutions for fibre composite reinforcement

► **Förderer | Funding**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) / ZukunftBau

► **Zeitraum | Period**

03/2020 – 05/2022

► **Projektleiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiter | Contributors**

Jiafeng Zhou, M. Eng., Dr.-Ing. Chongjie Kang, Marina Stümpel, M. Sc.

► **Projektpartner | Project partners**

Professur Bauchemie und Polymere Werkstoffe, Bauhaus-Universität Weimar | HALFEN GmbH, Langenfeld



Verbindung von Brettsperrholzwandscheiben mit innenliegender Betonnut (links), Versagen der Schraubenverbindung (Mitte), Ausbruch des Carbonbetons (rechts) | Connection of cross-laminated timber wall panels with internal concrete groove (left), failure of bolted joint (centre), the breakout of carbon concrete (right) | Photos: Ludwig Hahn, Auerbach und Hahn GmbH

HYBRIDE GEBÄUDE WACHSEN LASSEN LET HYBRID BUILDINGS GROW

Zur Reduzierung der Baustoffmenge im Hochbau können statt reiner Stahlbetonbauten nachhaltigere Hochhäuser in Hybridbauweise aus Brettsperrholz (BSP) und Beton errichtet werden. Doch um mit BSP-Fertigteilelementen hoch hinaus zu kommen, ist die Schubtragfähigkeit der Stoßfugen zwischen den BSP-Scheiben zu gewährleisten. Deshalb wurde im Forschungsprojekt „BSP-Verbinder“ eine Verbindungstechnologie entwickelt, mithilfe der auf der Baustelle angelieferte Wandscheiben aus Brettsperrholz mit einer Nut aus Vergussbeton verbunden werden.

Zur Schubkraftübertragung zwischen Holz und Beton wurden zusätzlich Verbindungsmittel in die BSP-Schmalseite eingebracht. Dabei kamen neben Schrauben, einem Stahllochblech und Kervenverbindungen auch unter 45° eingeklebte textile Gelege zum Einsatz und wurden experimentell untersucht.

Mithilfe von Druck-Scher-Versuchen an 60 cm hohen Probekörpern sowie zusätzlichen Biegeschubversuchen an verfugten 1,50 m hohen wandartigen Trägern wurde die Stoßfuge zweier Wandscheiben hinsichtlich ihrer Trag-

In order to reduce the amount of building materials used in building construction, more sustainable high-rise buildings can be constructed as hybrid construction of cross-laminated timber (CLT) and concrete as an alternative to completely reinforced concrete structures. But to be able to build high with prefabricated CLT panels, the shear load-bearing capacity of the butt joints between the elements must be guaranteed. For this reason, a connection technology was developed in the research project "CLT Connectors". The aim was to connect the prefabricated CLT wall panels to a groove made of grouted concrete.

For the transmission of shear force between wood and concrete, additional fasteners were inserted into the CLT narrow side. Therefore screws, a perforated steel plate, notches or textile grids glued in timber at 45° were used and experimentally investigated.

To determine the load-bearing capacity of the different connecting systems compression-shear tests on 60 cm high test specimens as well as additional bending shear tests on joined 1.50 m high wall-like beams were carried out. Different failure mechanisms occurred in the respective

fähigkeit untersucht. In den jeweiligen Versuchen traten unterschiedliche Versagensmechanismen auf. Während die Schrauben entsprechend der Einbringung im Holz den Scherbeanspruchungen bis zum Auszug- oder Abscherversagen standhalten konnten, wiesen die ins Holz eingeklebten Carbongelege zwar eine ausreichende Zugtragfähigkeit auf, wurden aber bei nicht ausreichender Verankerungslänge in Richtung der Schubkraft aus dem Beton herausgezogen bzw. scherten entgegen der Schubkrafttrichtung ab. Demgegenüber führte die Verbindung über ein Stahllochblech in der BSP-Mittellage zum Querdruckversagen des Holzes.

Bei den steiferen Kerfenverbindungen trat ein sprödes Versagen im Beton im Bereich der Kerfe und im Holz im Bereich der Verbindungsmittel ein. Im Vergleich zu den Druck-Scher-Versuchen konnte mit den Biegeschubversuchen gezeigt werden, dass die Steifigkeit und Tragfähigkeit der untersuchten Wandfuge um ein Vielfaches ansteigt, wenn zur Verbindung von BSP-Wandscheiben eine hybride Bauweise aus Holz und Vergussbeton statt einer herkömmlichen Stoßdeckleiste zum Einsatz kommt.

tests. The screws could withstand the shear stresses up to pull-out or shear failure according to their insertion in the wood. The carbon grids glued into the wood were pulled out of the concrete in the direction of the shear force as the anchorage length was not sufficient and sheared off against the direction of the shear force. In contrast, the connection via a perforated steel plate in the CLT middle layer led to transverse compression failure of the timber.

Using stiffer notches, the connection between CLT and concrete failed brittly in the concrete in the area of the notch and in the timber in the area of the fasteners. Compared to the compression shear tests, it could be shown in the bending shear tests that the stiffness and load-bearing capacity of the investigated CLT wall joint increased in the case of concrete connection compared to a conventional butt deck strip. Therefore a shear-resistant connection between the wall elements was achieved.



Prüfung Großbauteil ohne Holzflanken mit Verbindung aus Beton | Testing large component without wooden flanks with a concrete connection | Photo: Marén Kupke, AIB GmbH

► **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) / ZukunftBAU

► **Zeitraum | Period**

12/2018 – 06/2021

► **Projektleiter | Project manager**

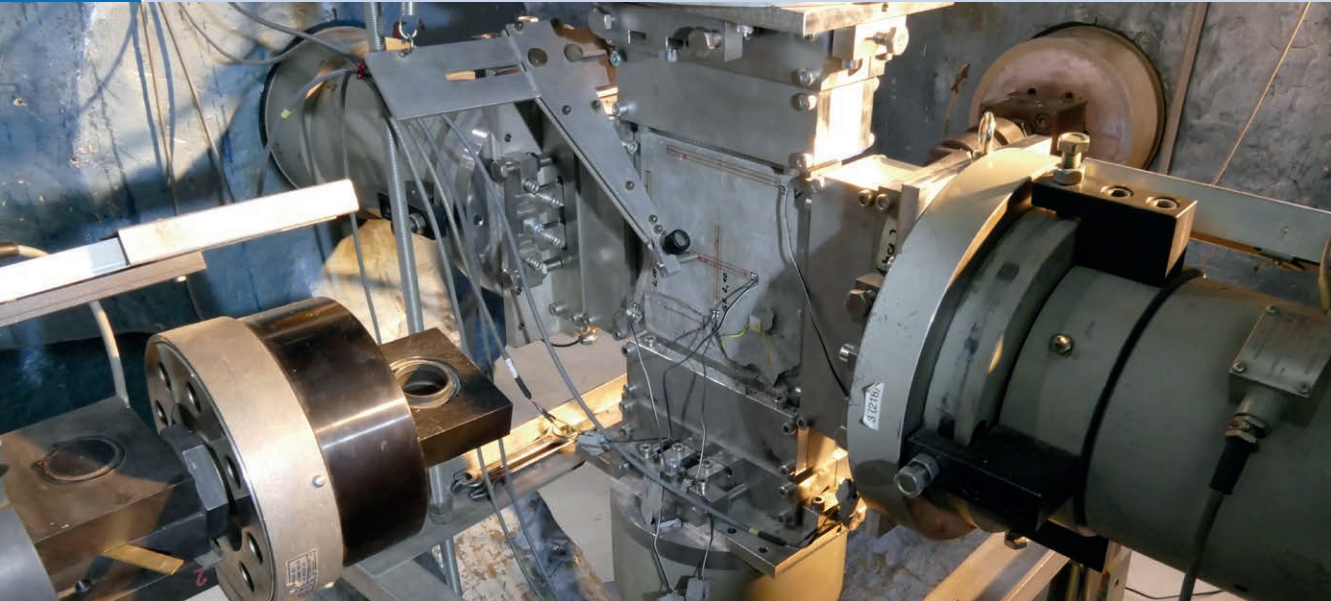
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach

► **Bearbeiterin | Contributor**

Dipl.-Ing. Kristina Farwig

► **Projektpartner | Project partners**

Auerbach und Hahn GmbH, Wilsdruff | AIB GmbH, Bautzen



Probekörper bei einer zweiaxialen Druckbelastung | Test specimen under a biaxial compressive load | Photo: Peter Betz

CARBONBETON GERÄT UNTER DRUCK

CARBON CONCRETE COMES UNDER PRESSURE

Während sich die bisherige Forschung im Carbonbeton überwiegend auf das Zugtragverhalten des Verbundwerkstoffs fokussierte, ist das Wissen zum Drucktragverhalten noch rudimentär. In der ersten Projektphase Carbonbeton unter Druck wurden erste Untersuchungen hinsichtlich der einaxialen Druckbelastung durchgeführt und verschiedene Einflussfaktoren identifiziert. Dem Bewehrungsgrad wurde bspw. ein großer Einfluss auf die Drucktragfähigkeit zugesprochen, während die Art der Herstellung eine untergeordnete Rolle spielt. Für die Anwendung am Bauteil eignen sich diese Untersuchungen nur bedingt, da einaxiale Belastungen nur in seltenen Fällen vorkommen. In der Realität liegen meist mehraxiale Spannungszustände vor.

Die zweite Projektphase beschäftigt sich daher mit der Validierung der bisherigen Erkenntnisse für bauteilnähere Spannungszustände anhand zweiaxialer Versuche. Unterschieden wird zwischen zweiaxialen Druckbelastungen und Druckbelastungen mit Querkzug in der Bewehrungsebene. Während es bei ersterem um die im Stahlbetonbau gegebene Erhöhung der Druckfestigkeit des Betons in Sonderfällen

While previous research in carbon concrete has mainly focused on the tensile load-bearing behaviour of the composite material, knowledge of the compressive load-bearing behaviour is still rudimentary. In the first project phase, initial investigations were carried out concerning uniaxial compressive loading and various influencing factors were identified. The degree of reinforcement, for example, was found to have a major influence on the compressive load-bearing capacity, while the production method played a subordinate role. For the application on the structural element level, these investigations are only suitable to a limited extent, as uniaxial loads only occur in rare cases. In reality, there are usually multi-axial stress conditions.

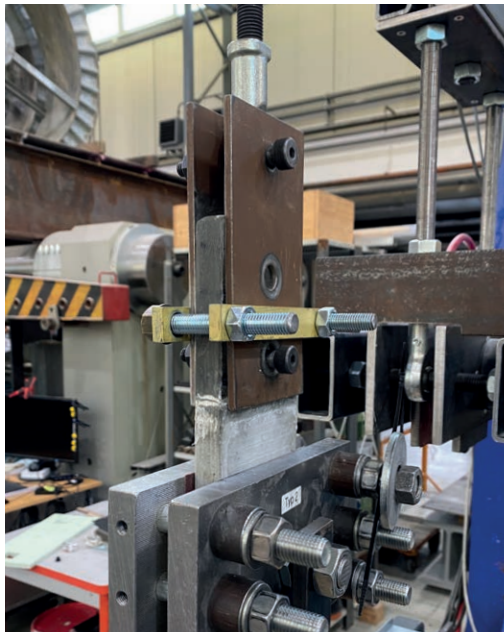
Therefore, the second project phase deals with the validation of the previous findings for stress conditions that are closer to those present in a structural element by using biaxial tests. A distinction is made between biaxial compressive loads and compressive loads with transverse tension in the reinforcement plane. While the former involves the increase in compressive strength in special cases in reinforced concrete structures, the reduction of compressive strength in cracked com-

geht, ist die Abminderung der Druckfestigkeit bei gerissenen Bauteilen, also Druckzonen mit Querzug, für die Querkraft- und Torsionsbemessung essentiell. Für beide Belastungsarten sind Untersuchungen zum Einfluss von Lagenanzahl, Garndurchmesser, Maschenweite, Tränkung, Herstellung und zur Orientierung der Bewehrung vorgesehen. Der Großteil der zweiachialen Druckversuche konnte dieses Jahr erfolgreich abgeschlossen werden.

Wichtig für eine erfolgreiche Projektdurchführung ist die Wahl geeigneter Lasteinleitungssysteme. Bei den Druckkräften konnte auf bewährte Lasteinleitungsprinzipien zurückgegriffen werden, für die Einleitung der Zugspannungen in die Bewehrung ist jedoch aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse in der Triaxialprüfmaschine die Entwicklung einer neuer Verankerungskonstruktion erforderlich. Neben einer gleichmäßigen Einbringung der Zugspannungen ist auf eine möglichst geringfügige Beeinträchtigung der Druckspannungsverteilung zu achten. In Voruntersuchungen wurden dazu verschiedene Verankerungssysteme mit Klemmungen und Bolzen, Verankerungsbereichen aus Harz und Beton sowie zusätzlich besandete Bewehrungen betrachtet.

ponents, i.e. compression zones with transverse tension, is essential for shear force and torsion design. For both types of loading, investigations were planned on the influence of the number of layers, yarn diameter, mesh size, impregnation, fabrication and orientation of the reinforcement. The majority of the biaxial compression tests have been successfully completed this year.

For successful project implementation, the selection of suitable load introduction systems is of particular importance. For the compressive forces, proven loading principle could be used, but for the introduction of tensile stresses, the development of a new anchoring fixture is necessary due to the limited space in the testing machine. In addition to a uniform introduction of tensile stresses, care must be taken to ensure that the compressive stress distribution is impaired as little as possible. In preliminary investigations, different anchorage systems with clamps and bolts, anchorage areas made of resin and concrete, as well as additionally sanded reinforcements were considered.



Versuch zur Erprobung der Zugverankerung aus Harz | *Experiment to test the tensile anchorage made of resin* | Photo: Peter Betz

► **Titel | Title**

Experimentelle Untersuchung des Tragverhaltens von Textilbeton unter Druckbeanspruchung – Phase 2: Einfluss biaxialer Lasteintragung

Experimental investigation of the load bearing behaviour of textile reinforced concrete under compression load – 2nd phase: Influence of biaxial load application

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► **Zeitraum | Period**

09/2015 – 05/2018 (Phase 1)

03/2019 – 05/2023 (Phase 2)

► **Projektleiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Peter Betz



Durch plastische Verformungen ist der Würfel unter dreiaxialen Druck sichtbar breiter geworden als die Lasteinleitungsbürsten | Plastic deformations under triaxial compression have made the cube visibly wider than the brushes that are used to introduce the load in the specimen | Photo: Kerstin Speck

PLASTIZITÄT GEMESSEN UND MODELLIERT

PLASTICITY MEASURED AND MODELLED

In der Triaxialprüfmaschine wurden Betonproben unter ein-, zwei- und dreiaxialen Druck mehrfacher auf unterschiedlichen Lastniveaus be- und entlastet. Die Schädigung erfolgte dabei unter Spannungsverhältnissen auf den Druck-, Zug- und Schubmeridianen, wobei die Formänderung qualitativ der Formänderung unter der namensgebenden einaxialen Belastung entspricht. In den Beton wurden dabei faseroptische Sensoren mittels eines Trägergerüsts aus Messing-U-Profilen integriert. Die Dehnungen wurden so während der kompletten Be- und Entlastungszyklen in allen drei Richtungen gemessen und zusätzlich die Steifigkeit nach der Vorschädigung in den einzelnen Richtungen ermittelt.

Mittels dieser neuen experimentellen Erkenntnisse hinsichtlich der plastischen Deformationsentwicklung und der Duktilität erweiterte und validierte Dr. Vogdt (TU Berlin) ein von Prof. Petryna aufgestelltes verzerrungs- und energiebasiertes Werkstoffgesetz. Einige Annahmen, die bei der Implementierung bisheri-

In the triaxial testing machine, concrete specimens were loaded and unloaded several times at different load levels under uniaxial, biaxial and triaxial compression. The degradation took place under stress conditions on the compression, tension and shear meridians, whereby the change in shape qualitatively corresponded to the change in shape under the eponymous uniaxial load. Fibre-optic sensors were integrated into the concrete by using a support frame made of brass U-profiles. The strains were thus measured during the complete loading and unloading cycles in all three directions and the stiffness after pre-damage was also determined in the individual directions.

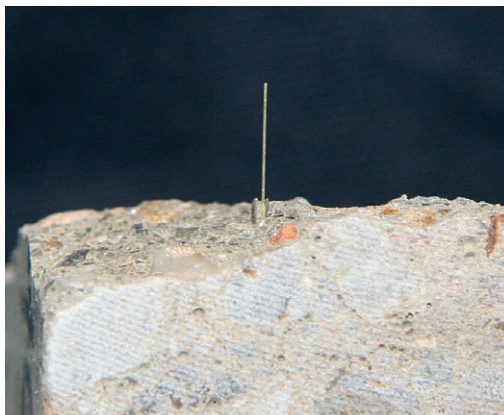
Using these new experimental findings regarding plastic deformation development and ductility, Dr. Vogdt (TU Berlin) extended and validated a distortion- and energy-based material law established by Prof. Petryna. Some assumptions that are often made when implementing previous material models were refuted by the measurement data. For example, a volume

ger Materialmodelle häufig getroffen werden, wurden durch die Messdaten widerlegt. So konnte eine Volumenkonstanz bzw. eine konstante Dilatanz während der plastischen Deformationsentwicklung nicht bestätigt werden. Vielmehr ist die plastische Deformationsentwicklung von der vorliegenden Umschnürung und dem Belastungsgrad der Betonprobe abhängig. Dies ist so bedeutend, da es die grundlegende Variable der Plastizitätstheorie betrifft. Alle weiteren Größen werden aus dem simulierten plastischen Deformationszustand abgeleitet.

Die plastische Deformationsentwicklung wurde dabei empirisch erfasst und eine neue Fließregel abgeleitet. Eine neue Verfestigungsregel berücksichtigt außerdem, dass die Duktilität von der Umschnürung unter verschiedenen dreiaxialen Spannungsverhältnissen abhängig ist. Das daraus resultierende Plastizitätsgesetz ist in Form von verschiedenen dreiaxialen Druckversuchen mit unterschiedlichen Spannungsverhältnissen abzubilden, ohne dass eine Anpassung der Modellparameter an die verschiedenen Versuche erforderlich wird. Dieser Umstand bietet eine deutliche Verbesserung gegenüber bisher üblichen Betonmodellen. Die vorgeschlagenen Entwicklungsgleichungen sind absichtlich allgemein formuliert, damit sie zukünftig für die Anpassung vorhandener Betonmaterialmodelle einsetzbar sind, indem die darin enthaltenen Evolutionsregeln ersetzt werden.

constancy or a constant dilatancy during the plastic deformation development could not be confirmed. Rather, the plastic deformation development depends on the existing confinement and the degree of loading of the concrete sample. This is so significant because it concerns the fundamental variable of the plasticity theory. All other variables are derived from the simulated plastic deformation state.

The plastic deformation development was thereby empirically determined and a new yield rule was derived. A new hardening rule also takes into account that ductility depends on confinement under different three-axial stress ratios. The resulting plasticity law is able to represent different triaxial compression tests with different stress ratios without the need to adapt the model parameters to the different tests. This circumstance offers a significant improvement over previously used concrete models. The proposed evolution equations are intentionally formulated in general terms so that they can be used in the future for adapting existing concrete material models by replacing the evolution rules they contain.



Faseroptischer Sensor nach dem Bruch des Betons | *Fibre optic sensor after the fracture of the concrete* | Photo: Kerstin Speck

► **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 – 08/2021

► **Projektleiter | 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



Betondruckgehäuse am Haken, bereit zur Prüfung | Concrete pressure vessel on hook, ready for testing | Photo: Martin Findeisen

3.000 METER UNTER DEM MEERESSPIEGEL 3,000 METERS BELOW SEA LEVEL

Dass Wasser, insbesondere Salz- oder Meerwasser, Korrosionen an Stahlbauteilen hervorruft ist allgemein bekannt. Um hier entgegenzuwirken, wurden korrosionsbeständige Edelstähle entwickelt. Jedoch können diese der Korrosion im Meerwasser nicht auf sehr lange Zeit widerstehen. Vor allem in der Tiefseeforschung stellt dies ein großes Problem dar. Um die Messstellen über lange Zeiträume mit Energie zu versorgen, sind hoch belastbare und korrosionsbeständige Druckgehäuse notwendig.

Aus diesem Grund wurde bisher mit Titangehäusen gearbeitet, da Titan eine sehr hohe mechanische Festigkeit und eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit aufweist. Wesentliche Nachteile dieses Materials sind jedoch der sehr hohe Preis und die schwere Bearbeitbarkeit. Als eine Alternative zeigt sich hier der UHPC (ultrahochfester Beton). Hierbei handelt es sich um einen Beton, der eine Druckfestigkeit von 130 MPa und mehr aufweist. Beton kann im frischen Zustand in eine Vielzahl von Formen gegossen werden und ausgehärtet ist er extrem

It is generally known that water, especially salt or seawater, causes corrosion of steel components. Corrosion-resistant stainless steels were developed to prevent this. However, these steels cannot withstand corrosion in seawater for very long. This is a major problem, especially in deep-sea research. To supply the measuring points with energy over long periods of time, highly robust and corrosion-resistant pressure vessels are necessary.

For this reason, a lot of work has been done with titanium vessels so far, as titanium has a very high mechanical strength and a very good corrosion resistance. However, the main disadvantages of this material are a very high production price and difficult workability. Ultra-high performance concrete (UHPC) with a compressive strength of 130 MPa and more is a viable alternative. Concrete can be cast in a variety of shapes when fresh and is extremely strong when cured. UHPC thus has very good workability and strength properties. In addition, there is the corrosion resistance of concrete. This makes

widerstandsfähig. Damit weist UHPC sehr gute Verarbeitungs- und Festigkeitseigenschaften auf. Hinzu kommt die Korrosionsbeständigkeit von Beton. Dies macht Beton zu einem idealen Material für derartige Druckgehäuse. Bei all diesen Vorteilen muss jedoch auch der eine wesentliche Nachteil von Beton erwähnt werden. Dieser ist: die Zugfestigkeit weist nur einen Bruchteil der Druckfestigkeit auf. Jedoch kann dies durch gezielte Planung wieder ausgeglichen werden. Die im Projekt DeepCsolution untersuchten Probekörper wurden so designed, dass Zugspannungen minimiert wurden.

Diese Betrachtungen jedoch alle nur theoretisch durchzuführen, reicht nicht aus um die Funktionsfähigkeit eines solchen Druckgehäuses unter Beweis zu stellen. Aus diesem Grund wurden 2021 am Lehrstuhl für Meerestechnik der Universität Rostock Bauteilversuche durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurden die Betondruckgehäuse mit einem Prüfdruck von 330 bar, was einer Wassertiefe von 3.300 m entspricht, ausgesetzt. Diese Prüfung haben die Betondruckgehäuse aus UHPC bestanden und können nun auch praktische Anwendung erfahren. Hierfür wird in Zusammenarbeit mit dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) eine Langzeitmission geplant, bei dem ein solches Betondruckgehäuse als Batterieschutzhülle verwendet werden soll.

concrete an ideal material for such pressure housings. The main disadvantage of concrete is that its tensile strength is only a small fraction of the compressive strength. However, this can be compensated for by careful planning. The test specimens examined in the DeepCsolution project were designed in such a way that tensile stresses were minimized and therefore no longer represent a problem.

However, carrying out all these considerations only theoretically is not sufficient to prove the functionality of such a pressure vessel. For this reason, component tests were carried out in 2021 at the Chair of Ocean Engineering of the University of Rostock. During these tests, the concrete pressure vessels were subjected to a test pressure of 330 bar, which corresponds to a water depth of 3,300 m. The concrete pressure vessel made of UHPC has passed this component test and can now be used. For this purpose, a long-term mission is being planned in cooperation with the Alfred-Wegener-Institute (AWI), in which such a concrete pressure vessel is to be used as a protective battery shell.



Betondruckgehäuse im Drucktank der Universität Rostock | Concrete pressure vessel in the pressure tank of the University of Rostock | Photo: Martin Findeisen

► **Titel | Title**

TP Untersuchung von UHPC und UHPC-Druckgehäusen unter stoßartiger Belastung, Langzeitbelastung und mehr-axialer Beanspruchung im Verbundvorhaben DeepCsolution: Druckgehäuse aus ultrahochfestem Beton für die Meerestechnik

SP Investigation of UHPC and UHPC pressure vessels under impact loads, long-term loads and multi-axial stresses within the joint research project DeepCsolution: Ultra-high strength concrete pressure vessels for marine engineering

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) / Maritimes Forschungsprogramm

► **Zeitraum | Period**

12/2019 – 11/2022

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

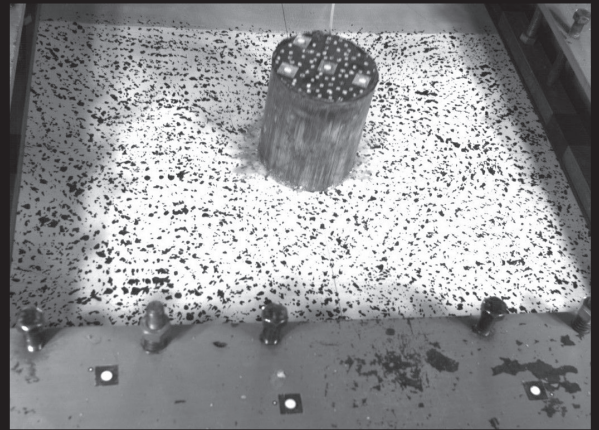
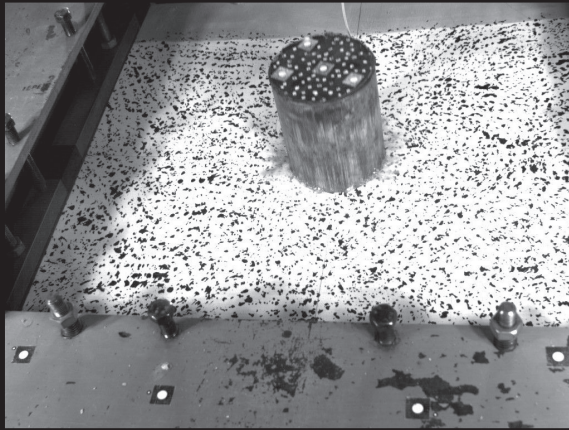
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dr.-Ing. Marcus Hering

► **Projektpartner | Project partners**

IBB Ingenieurbüro Baustatik Bautechnik, Dresden | Sudholt-Wasemann GmbH, Herzebrock-Clarholz | CARBOCON GMBH, Dresden | Alfred-Wegener-Institut Helmholtz Zentrum für Polar und Meeresforschung, Bremerhaven



Stereoaufnahme eines kleinformatigen Impakttests zur Materialcharakterisierung | Stereo image of a small scale impact test for material characterisation | Photos: Franz Bracklow

MEMBRANWIRKUNG GEGEN PERFORATION MEMBRANE EFFECT AGAINST PERFORATION

Als Folge stetig steigender Gefahren von natürlich bzw. menschlich verursachten Katastrophenfällen besteht ein weltweites Interesse, die Impaktsicherheit von Baukonstruktionen zu erhöhen. Einen vielversprechenden Ansatz stellt die Verstärkung der betreffenden Bauteile unter Verwendung von mineralisch gebundenen Kompositen dar. Entsprechende Materialkombinationen werden aktuell im Rahmen des Graduiertenkollegs 2250 „Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety“ erforscht und weiterentwickelt. Eine zentrale Rolle nimmt in diesem Zusammenhang die Wirkungsweise auf Bauteilebene ein, deren Analyse Gegenstand des Teilprojekts A5 ist.

Im Rahmen der ersten Kohorte des GRK 2250 wurden dazu bereits biegebewehrte Stahlbetonplatten durch Auftragen einer Schicht aus Carbonbeton bzw. aus einer hochfesten Polymerfaserbetonmatrix (*strain hardening cementitious composite*, SHCC) auf der impaktabgewandten Bauteilseite verstärkt. Es zeigte sich, dass durch die ausgeprägte Membranwirkung der zusätzlichen Verstärkungsschichten eine Erhöhung des Perforationswiderstands erzielt werden konnte.

As a consequence of steadily rising fear of natural and human caused disasters, there is a worldwide interest to increase the impact safety of building constructions. A promising approach is to strengthen the existing structures by using mineral-bonded composites. Appropriate material combinations are currently investigated and further developed in the frame of research training group (GRK) 2250: “Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety”. In this context, a central role is on the mechanism on the structural level, that is investigated in sub-project A5.

In the framework of first cohort, concrete plates with bending reinforcement were strengthened by adding a layer of carbon textile reinforced concrete respectively a layer of high-strength polymer fiber concrete matrix (strain hardening cementitious composite, SHCC) on the impact rear side. Among others, due to the pronounced membrane effect of the additional strengthening layers, the perforation resistance could be increased.

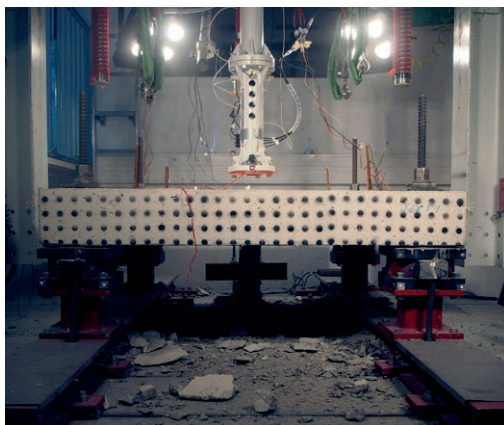
Following this work, in second cohort the focus is currently on the enlargement of the exper-

An diesen Arbeitsstand anknüpfend wird aktuell im Rahmen der zweiten Kohorte an der Erweiterung des Versuchsprogramms gearbeitet. Neben der systematischen Untersuchung der bereits verwendeten biegebewehrten Platten, werden nun zusätzlich auch Grundplatten mit Bügelbewehrung getestet. Durch die experimentelle Abbildung unterschiedlicher Schädigungsgrade soll die bereits vorhandene Schädigungsbeschreibung weiterentwickelt sowie eine quantitative Evaluation der Perforationsgrenzverschiebung vorgenommen werden. Aus den bisherigen Arbeiten zur Bruchkörperanalyse konnte bereits ein möglicher Zusammenhang zwischen dem Schädigungszustand der Grundplatte und der Leistungsfähigkeit der im späteren Projektverlauf applizierten Verstärkungsschichten abgeleitet werden. Eine zentrale Rolle nehmen dabei die Größe des Durchstanzwinkels sowie die Ausprägung des unterseitigen Schädigungsbereichs ein.

Bei der Auswertung einer Vielzahl anderer Impactversuche auf Bauteilebene konnten in einer Literaturstudie verschiedene Einflussfaktoren auf diese Kennwerte festgestellt werden. Mit Kollegiaten anderer Fachrichtungen finden weiterhin Charakterisierungen der Verstärkungsmaterialien mithilfe von kleinformigen Impactversuchen statt.

experimental programme. Besides the systematic investigation of the already used plates with bending reinforcement, additional plates with shear reinforcement will be tested. Due to the experimental realisation of different damage levels, the already existing damage description is further developed as well as a quantitative evaluation of the perforation limit-shifting should be realised. From the previous work of the fracture body analysis, a possible correlation between damage level of the base plates and the performance of strengthening layers, applied at a later stage of the project, could be already derived. For that, the size of the punching cone angle and the extent of the damaged area underneath the plate leads a central role.

During the evaluation of a large number of other impact experiments on the structural level, various factors influencing these characteristic values were identified in the frame of a literature research. With colleagues from other departments, additional small-scale impact tests take place for a further characterisation of the strengthening materials.



Stahlbetonplatte ohne zusätzliche Verstärkungsschicht nach der Durchführung eines Impactversuchs | Reinforced concrete plate without additional strengthening layer after conduction of impact test | Photo: Franz Bracklow

► **Titel | Title**

TP A5/II: Verstärkung von flächigen, bügelbewehrten Massivbauelementen gegen Impact auf der impactabgewandten Seite als Teilprojekt im Graduiertenkolleg GRK 2250: Impactsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite

SP A5/II: Strengthening on the rear side of flat, stirrup reinforced solid construction elements against impact within the Research Training Group GRK 2250: Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / GRK 2250

► **Zeitraum | Period**

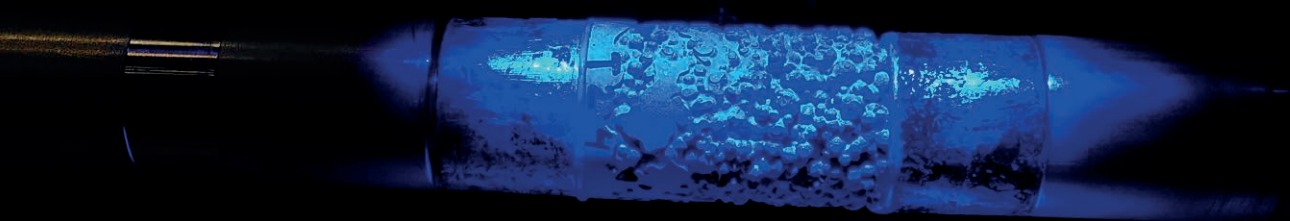
05.2020 – 04/2023 (2. Kohorte)

► **Teilprojektleiter | Subproject managers**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow



Haufwerksporiger Leichtbeton ist vielversprechend als Dämpfungsmaterial bei Impaktbelastung, hier beim Zugtest im Split-Hopkinson-Bar | Porous lightweight concrete is promising as a damping material against impact loading, here during the test in the split Hopkinson tensile bar | Photo: Lena Leicht

GUT GESCHÜTZT WELL PROTECTED

Der Schutz gegen Angreifer, Waffen oder Anprallereignisse wird sowohl in der Natur als auch in der Technik oft mit geschichteten Aufbauten realisiert. Die obere Lage dient der Verteilung des Impakts und der Verhinderung der Durchdringung zu den darunterliegenden Schichten. Diese Schicht ist in der Natur oft mineralisch und lamellar, im Fall von Rüstungen handelt es sich oft um carbonfaserverstärkte Kunststoffmatrizen. Die äußere Lage ist meist durch eine hohe Steifigkeit und eine hohe Festigkeit gekennzeichnet. Die untere, weichere Lage ist diejenige, die durch den Aufprall zerstört wird und dadurch Energie absorbiert beziehungsweise, die den Aufprall für das zu schützende Lebewesen oder die zu schützende Struktur dämpft. Hierfür werden oft Elastomere oder schaumartige Strukturen verwendet.

Es kommen aber auch mineralisch gebundene Komposite infrage, die in diesem Forschungsprojekt in Betracht gezogen werden sollen. Insbesondere wurden unterschiedliche Leichtbetone und ein Beton mit Altgummizuschlägen im Split-Hopkinson-Bar untersucht.

Ein Split-Hopkinson-Bar ist eine Versuchseinrichtung bestehend aus mindestens zwei Stä-

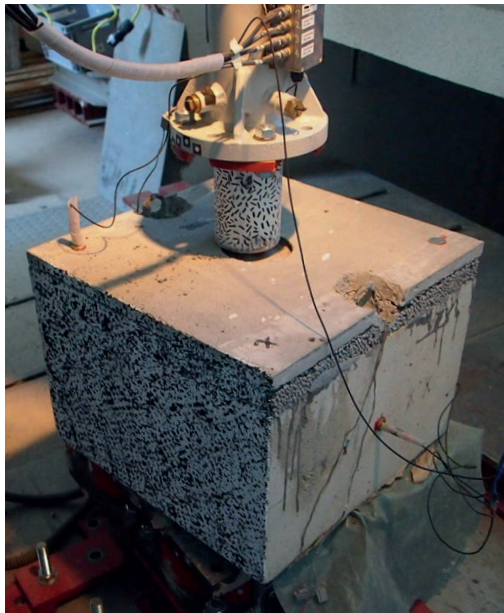
Protections against aggressors, weapons or collision in nature but also in technical applications are often layered. The outer layer distributes the impact load and prevents penetration to underlying materials. In nature, this layer is often lamellar and in the field of armors, carbon-fiber-reinforced epoxy matrices are widely used. The high stiffness and strength characterizes this layer. This layer is backed by a softer layer which is crushed and thus absorbs impact energy or it otherwise damps the impact for the being or structure it surrounds. Elastomers or foam-like structures are well-suited for this task.

However, the mineral-bonded composites studied in this research project are good candidates as well. Different types of lightweight concretes and a concrete with waste tire rubber aggregates were studied in a split Hopkinson bar.

A split Hopkinson bar consists of at least two slender bars which sandwich a specimen. A tensile or compressive wave is introduced in the first (incident) bar and protrudes towards the specimen. The specimen transfers one part of the wave into the second (transmission) bar and the other part of the wave is reflected back into the incident bar by the specimen. Strain

ben, zwischen denen eine Probe eingebaut wird. In den ersten Stab wird eine Druck- bzw. Zugbelastung eingeleitet, die durch die Probe in den zweiten Stab zum Teil übertragen und zum Teil in den ersten Stab zurückreflektiert wird. Dehnungsmessungen auf den Stäben erlauben die Auswertung der Zustände innerhalb der Probe.

Das Ziel der Versuche an kleinen, zylindrischen Proben war es, das Materialverhalten unter unterschiedlich schneller Belastung zu untersuchen. Die Versuche unterscheiden sich somit hinsichtlich der Dehnrate, die innerhalb der Probe wirkt. Besonders das Energieabsorptionsvermögen, womit die aufgenommene Energie bezogen auf die eingetragene Energie gemeint ist, ist hier von Bedeutung. Außerdem war das Bruchbild der Proben von großem Interesse. Die Versuchsreihe ist fast abgeschlossen und die Auswertung wird darauf hinweisen, welches Material am besten geeignet ist, um als Schutzschicht auf eine Betonstruktur aufgebracht und in einem größeren Maßstab geprüft zu werden. Zu diesem Zweck werden Stahlbetonquader mit den vielversprechendsten Materialkombinationen verstärkt und im Fallturm geprüft.



Quader mit Dämpfungsschicht nach einem Impaktversuch im Fallturm | Cuboid with damping layer after an impact experiment in the drop tower | Photo: Lena Leicht

measurements on the incident and transmission bar allow for the evaluation of the specimen's response.

The goal of the small-scale specimens was to compare the material behavior under different loading rates. The energy absorption capacity, which describes the absorbed energy compared to the introduced energy, was of special interest. Above that, the failure mode of the specimens is an important criterion. After finishing the series of tests in the SHB, the most promising materials were chosen and tested on a larger scale. The protection layer was applied on a concrete cuboid specimen that was subjected to hard impact in the drop tower.

► **Titel | Title**

TP A6/II: Charakterisierung von mineralisch gebundenen Kompositen als Dämpfungsschichten für die Impaktverstärkung flächiger Massivbauelemente als Teilprojekt im Graduiertenkolleg GRK 2250: Impaktsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite

SP A6/II: Characterization of mineral-bonded materials for damping layers for impact strengthening of flat solid construction elements within the Research Training Group GRK 2250: Mineral-bonded composites for enhanced structural impact safety

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / GRK 2250

► **Zeitraum | Period**

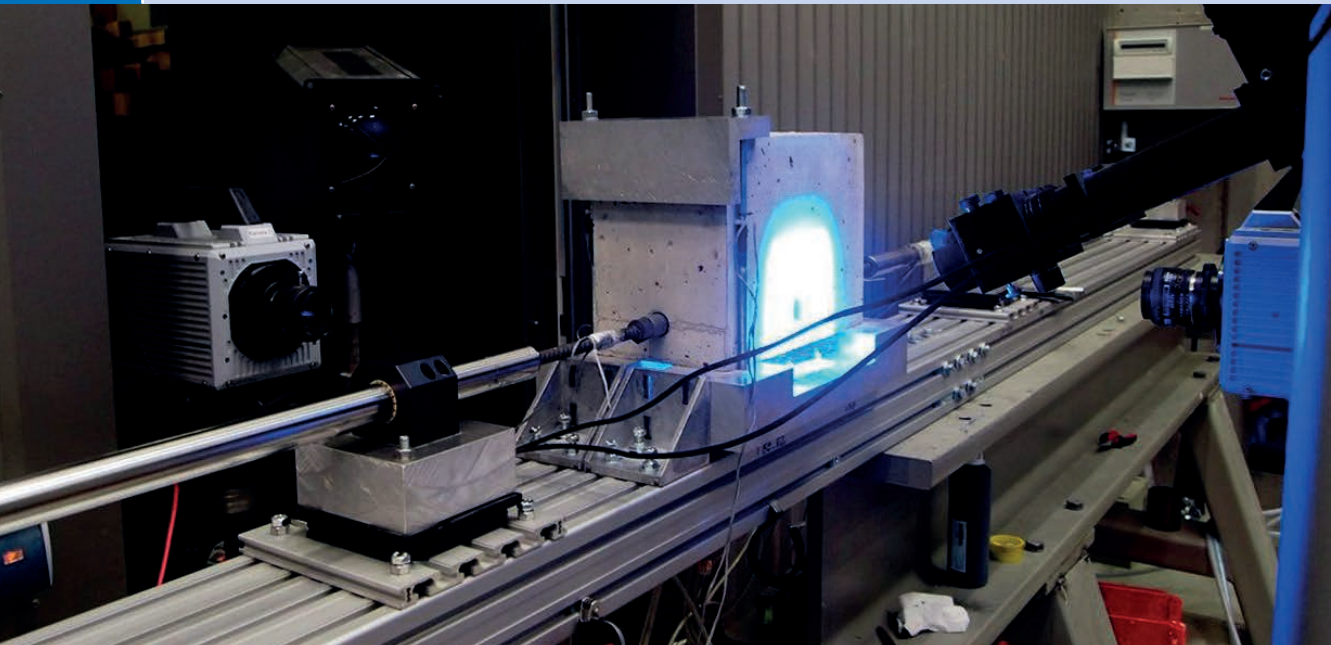
05.2020 – 04/2023 (2. Kohorte)

► **Teilprojektleiter | Subproject managers**

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

► **Bearbeiterin | Contributor**

Dipl.-Ing. Lena Leicht



Beam-End-Probekörper im Split-Hopkinson-Bar | Beam-end specimen in the split Hopkinson bar | Photo: Lena Leicht

EINE GUTE KOMBINATION

A GOOD MATCH

Verbundversuche zwischen Bewehrungsstahl und Beton werden seit langem an den unterschiedlichsten Probekörpern durchgeführt. Ziel der letzten Phase des Projekts ist es, Proben dynamisch zu untersuchen und die dynamischen Besonderheiten des Verbunds zwischen Bewehrungsstahl und Beton herauszuarbeiten.

Zum einen wurden Pull-out-, Double-pull-out-, Beam-End- und Spallationsprobekörper hergestellt und im Split-Hopkinson-Bar geprüft. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug 1 m/s bis 7 m/s und die Impaktorlänge wurde variiert. Ein Ziel der Versuche war, eine Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung zu ermitteln. Das ist eine charakteristische Kurve, die die Auszugskraft des Stahls aus dem Beton mit der Verschiebung, die gleichzeitig stattfindet, in Beziehung setzt. Da es in den unterschiedlichen Versuchsarten zu unterschiedlichen Versagensmechanismen kommt, sind sie nicht direkt miteinander vergleichbar. Bei den Pull-out- und Double-pull-out-Probekörpern kam es zudem zu einer starken Spaltrissbildung. Es konnte ge-

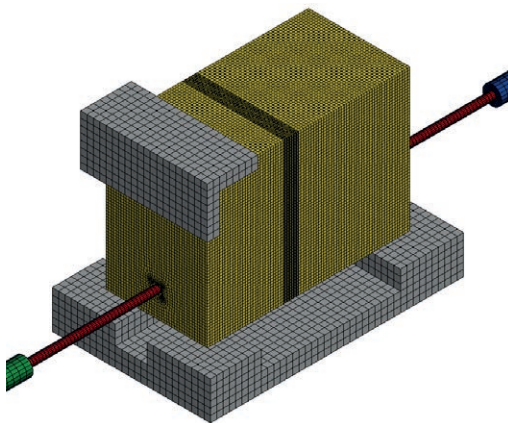
A wide variety of specimen types exists for testing the bond between reinforcement bars and concrete. The aim of the final phase of this project is to investigate a large number of specimens under high loading rate conditions and to identify the dynamic characteristics of the bond between reinforcing steel and concrete.

For this purpose, on the one hand, pull-out, double-pull-out, beam-end and spallation specimens were produced and tested. One goal of the tests is aimed at obtaining a bond stress-slip relationship. This is a characteristic curve relating the pull-out force of the rebar to simultaneously occurring displacement (slip). The tests were performed with a loading velocity between 1 m/s and 7 m/s and with different impactor lengths in the split Hopkinson bar testing facility. Since different failure mechanisms occur in different types of specimens, they are not directly comparable. On the pull-out and double-pull-out test specimens, splitting crack formation was observed. It was shown that the bond-free length, which was present in the beam-end specimens, can effectively prevent

zeigt werden, dass die verbundfreie Vorlänge, wie sie beispielsweise bei den Beam-End-Probekörpern vorhanden war, das spaltrissinduzierte Versagen effektiv verhindern kann. Zum anderen wurden Zugstäbe und Haftzugversuche mit quer eingebautem Bewehrungsstahl konzipiert und hergestellt. Mithilfe der Haftzugversuche mit Querstahl wurde der transversale Haftverbund untersucht. Die Zugstäbe dienten der Untersuchung des Rissbildes und der Frage, wie viel Energie in den einzelnen Rissen über die vorhandene Verbundlänge absorbiert werden kann.

Im numerischen Teil des Projektes wurden im Programm LS-Dyna Modelle der Probekörper erstellt, um Phänomene zu beschreiben, die experimentell nicht messbar sind. Insbesondere der Beam-End-Test wurde detailliert nachgerechnet und es zeigte sich eine gute Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen. Die Rippen des Bewehrungsstahls wurden explizit mit Hexaederelementen modelliert. Die Kraftübertragung wurde durch Verzahnung der Stahlrippen und der Betonzähne gewährleistet, die durch einen Reibkontakt miteinander verbunden sind. Die resultierende Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung ist somit nur von Betonmaterialmodell abhängig.

Gefördert durch: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501566.



Numerisches Modell des Beam-End-Probekörpers | Numerical model of the beam-end specimen | Graphic: Petr Máca

the splitting-crack-induced failure. On the other hand, specimens with transversely embedded reinforcing steel as well as tension bars were manufactured and analysed. Tensile tests with transverse steel were used to investigate the adhesive bond in the transverse direction. The tensile bars were used to investigate the crack pattern and the amount of energy that can be absorbed in the individual cracks over the existing bond length.

In the numerical part of the project, models of the above-mentioned specimens were created in LS-Dyna to describe phenomena that cannot be measured experimentally. In particular, the beam-end test was recalculated in detail and showed good agreement with experimental results. The ribs were explicitly modelled with hexahedral elements. The force transfer was realized by interlocking the concrete keys and ribs by defining a frictional contact between the rebar and the concrete. The resulting bond stress-slip relationship is thus only dependent on the concrete material model.

Supported by: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection based on a decision of the German Bundestag, project no. 1501566.

- ▶ **Titel | Title**
Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten
Bond between concrete and steel under high loading rates
- ▶ **Förderer | Funding**
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)
- ▶ **Zeitraum | Period**
10/2014 – 12/2017 (Phase 1)
05/2018 – 04/2022 (Phase 2)
- ▶ **Projektleiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**
M.Eng. Petr Máca Ph.D
Dipl.-Ing. Lena Leicht



Dehnkörper mit Rissbildung | Tension tie specimens with cracks | Photo: Marc Koschemann

LANGSAM ABER STETIG SLOW BUT STEADY

Zur wirtschaftlichen Nutzung von Stahlbetonbauteilen bedarf es Risse im Beton. Erst dadurch beteiligt sich die Bewehrung über die Verbundwirkung effektiv am Lastabtrag. Allerdings stellen Risse auch Schwachstellen von Stahlbetonbauten dar und können ursächlich für Undichtigkeiten und Bewehrungskorrosion sein und somit zur Zustandsverschlechterung führen. Immer häufiger werden Bauwerke, wie Zwischenlager der Kerntechnik, länger genutzt als ursprünglich geplant. Entsprechend lange Belastungsdauern bewirken die Zunahme der Rissbreiten, was vor allem auf Kriecheffekte in den Verbundbereichen zurückzuführen ist. Bisherige Erkenntnisse zu diesem Verhalten beruhen auf Messdaten, welche in Versuchen außerhalb des Verbundbereichs erfasst wurden.

Gegenwärtige Untersuchungen befassen sich mit dem Verbundverhalten und der Verbundspannungsverteilung von Bewehrungsstahl in normalfesten Beton unter Langzeitbelastung. Dafür werden drei Betone mit Festigkeiten zwischen 30 MPa und 70 MPa sowie Ausziehproben und Balkenendkörper verwendet. Weiterer Untersuchungsparameter ist die Verbundlänge, welche in den Versuchen zwischen 16 mm und 160 mm variiert wird. Neben Wegaufnehmern wird das Verbundverhalten durch haarfeine,

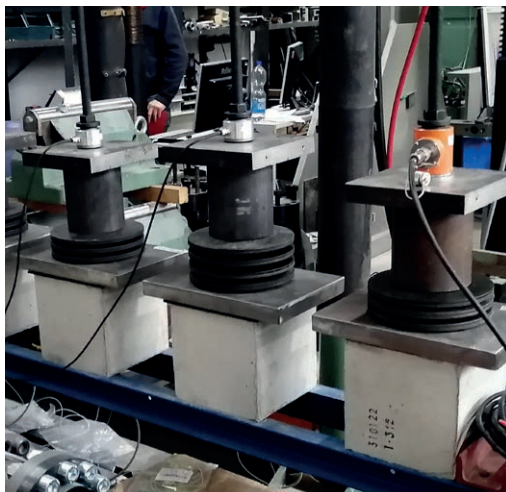
For the economic use of reinforced concrete components, cracks in the concrete are needed. Only then does the reinforcement effectively participate in the load transfer through the bonding effect. However, cracks are also weak points of reinforced concrete elements and can be the cause of leaks and reinforcement corrosion and thus lead to deterioration. More and more often, buildings such as interim nuclear storage facilities are being used for longer than originally planned. Respectively long loading durations cause the crack widths to increase, which is mainly due to creep effects in the bond zones. Previous findings are based on data determined experimentally outside of the bond zone.

In this project, the bond behaviour and the bond stress distribution of reinforcing steel in normal-strength concretes under long-term loading are investigated. For this purpose, pull-out and beam-end specimens are used made of concretes with strengths between 30 MPa and 70 MPa. Another test parameter is the bond length, which is varied between 16 mm and 160 mm in the tests. In addition to classic displacement transducers, the bond behaviour is detected also by hair-thin fibre-optic sensors. Applied to the pull-out bar, it records

faseroptische Sensoren messtechnisch erfasst. Appliziert auf den Ausziehstab, werden damit örtliche und zeitliche Veränderungen der Dehnungsverteilung innerhalb der Verbundzone während der Versuche aufgezeichnet. Bei statischen Versuchen wurde so die Beteiligung der einzelnen Rippen für verschiedene Belastungszustände sowie die lokale Schädigung des Betons ermittelt.

Für die Kriechversuche wurden weitere Proben einer Dauerlast von 66 % der statischen Verbundfestigkeit ausgesetzt. Nach einer Dauer von 1.000 h wurde gegenüber dem Belastungsbeginn ein Schlupfzuwachs von Faktor 2,5 bis 3,5 festgestellt. Dabei wurden mit Ausziehkörpern etwa doppelt so große Schlupfwerte erfasst als bei gleich belasteten Balkenendversuchen. Ergänzend zu den Verbundversuchen wird mittels Dehnkörpern von 960 mm Länge das Risswachstum unter Langzeitbelastung untersucht. Abhängig von der Betondeckung stellen sich 5 bzw. 8 Risse mit einer durchschnittlichen Rissbreite von 0,20 mm ein, welche sich mit zunehmender Belastungsdauer um etwa 25 % vergrößerten.

Gefördert durch: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 1501601.



Ausziehkörper unter Dauerbelastung | Pull-out specimens under sustained loading | Photo: Marc Koschemann

local and time-related changes in the strain distribution within the bond zone during the tests. Thus, the participation of the individual ribs for different load levels as well as the local damage to the concrete is determined in static tests.

For the creep tests, further samples were subjected to a sustained load of 66% of the static bond strength. After a duration of 1,000 h, a slip increase by a factor of 2.5 to 3.5 was observed compared to the start of loading. The slip values recorded with pull-out specimens were about twice as large as those recorded with beam end tests subjected to the same load. In addition to the bond tests, crack growth under long-term loading is investigated using tension tie specimens of 960 mm length. Depending on the concrete cover, 5 or 8 cracks appeared with an average crack width of 0.20 mm, which increased by about 25% with increasing load duration.

Supported by: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection based on a decision by the German Bundestag, project no. 1501601.

► **Titel | Title**

Untersuchung der Rissbreitenentwicklung von Stahlbeton unter Langzeitbelastung anhand lokaler Verbundbeziehungen – KEK

Investigations of the crack width development of reinforced concrete under long-term loading based on local bond relationships – KEK

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

► **Zeitraum | Period**

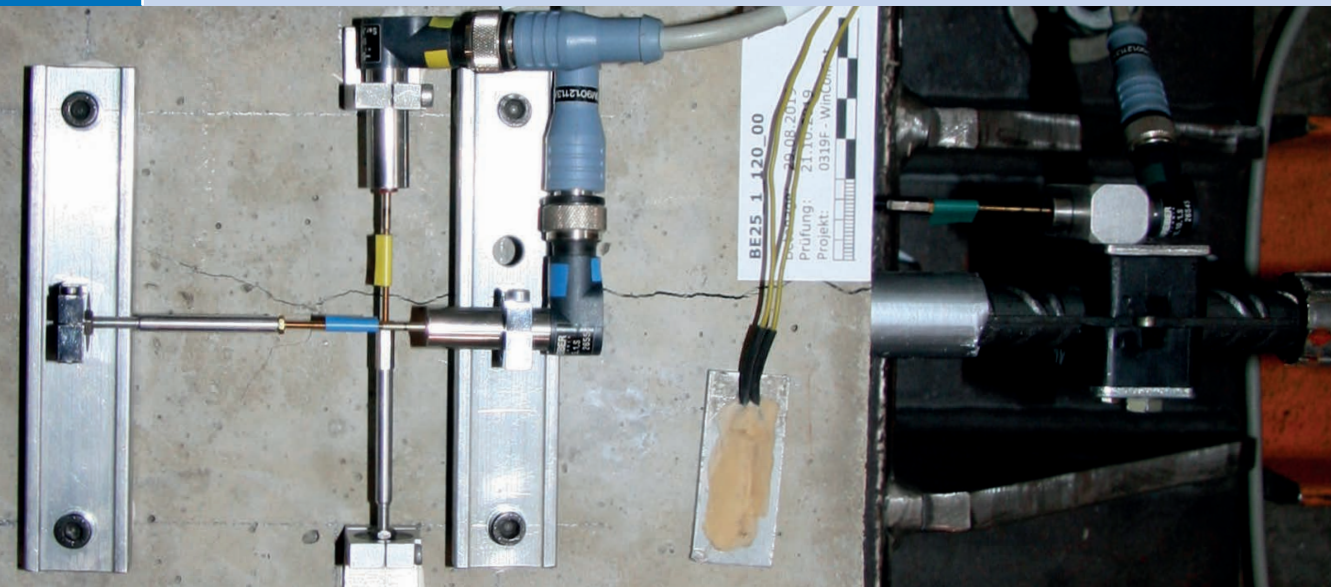
03/2020 – 02/2023

► **Projektleiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Marc Koschemann



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

VERBUNDERMÜDUNG VON STAHLBETON

BOND FATIGUE OF STEEL REINFORCED CONCRETE

Durch den Ausbau der Windenergie in Deutschland ist in den letzten Jahrzehnten der Bau von zyklisch beanspruchten Windkrafttürmen stetig vorangetrieben worden. Für solche Tragstrukturen ist die zutreffende Bestimmung des Ermüdungswiderstandes entscheidend für die Standsicherheit aber auch für einen wirtschaftlichen Materialeinsatz. Diesem Themengebiet widmete sich das Verbundforschungsvorhabens WinConFat. Ergänzend zu Untersuchungen von Beton und Bewehrungsstahl durch Projektpartner, beschäftigte sich das Institut für Massivbau mit dem Verbundverhalten beider Baustoffe im hochzyklischen Ermüdungsbereich ($N > 2 \cdot 10^6$).

Experimentell wurden 67 quasi-statische und 56 zyklische Auszieh- und Balkenendversuche durchgeführt. Gegenstand der Untersuchungen waren ein Normalbeton und zwei hochfeste Betone sowie Bewehrungsstäbe mit 16 mm Durchmesser. Trotz einer Verbundlänge von nur 32 mm, mussten bei der statischen Prüfung zu 100 kN aufgebracht werden, um ein Verbundversagen zu erreichen. Die Ergebnisse der statischen Referenzversuche ergaben einen linearen Zusammenhang zwischen

Due to the expansion of wind energy in Germany, the construction of wind turbine towers subjected to cyclic loads has been steadily advanced in recent decades. For such support structures, the correct determination of the fatigue resistance is decisive for the stability but also for the economic use of materials. The joint research project WinConFat was dedicated to this topic. In addition to investigations of concrete and reinforcing steel by project partners such as Leibniz Universität Hannover, RWTH Aachen University and other universities, the Institute of Concrete Structures dealt with the bond behaviour of both building materials in the high-cycle fatigue range ($N > 2 \cdot 10^6$).

Within the experimental test programme, 67 quasi-static and 56 cyclic pull-out and beam-end tests were carried out. The subjects of the tests were normal concrete and two high-strength concretes as well as reinforcing bars with a diameter of 16 mm. Although the bond length was only twice the bar diameter d_s , tensile forces of up to 100 kN had to be applied in the static test to achieve bond failure. The results of the static reference tests showed a linear relationship between bond strength

Verbundfestigkeit und Betondruckfestigkeit. Dabei wurden für Ausziehkörper etwa 15 % größere Ausziehkkräfte erreicht, als für Balkenendkörper, welche aufgrund geringerer Betondeckung eine deutliche Rissbildung aufwiesen.

Die Verbundermüdungsversuche wurden mit einer gleichmäßigen sinusförmigen Zugschwellbelastung und einem Unterlastniveau von 40 % und wechselnden Oberlastniveaus zwischen 75 % und 80 % der jeweiligen Referenzfestigkeit beaufschlagt. Für eine Regelprüffrequenz von 5 Hz streuen die erreichten Lastwechselzahlen aller Versuche im Bereich zwischen 10^3 und 10^7 , wodurch sich eine sehr flach verlaufende Wöhlerlinie ergibt. Mit Erhöhung der Belastungsfrequenz auf 10 Hz bzw. 20 Hz ergaben die Versuche etwas größere Lastwechselzahlen. Als Durchläufer gewertete Proben wurden nach der Zugschwellbeanspruchung einer Restfestigkeitsprüfung unterzogen, wobei gegenüber dem statischen Bezugswert leicht erhöhte Verbundfestigkeiten festgestellt wurden.

Als Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen ist festzustellen, dass ein Ermüdungsversagen des Verbundes für hochfeste Betone ($f_{cm} \geq 90 \text{ N/mm}^2$) unter baupraktischer Sicht quasi ausgeschlossen werden kann.

and concrete compressive strength. The pull-out forces for pull-out specimens were about 15 % higher than for beam-end specimens which showed significant cracking due to the lower concrete cover.

The bond fatigue tests were subjected to a uniform sinusoidal tensile loading and a lower level of 40 % and alternating upper levels between 75 % and 80 % of the respective reference strength. For a loading frequency of 5 Hz, the achieved load cycles of all tests scatter in the range between 10^3 and 10^7 , resulting in a very flat Wöhler line. Increasing the load frequency to 10 Hz or 20 Hz resulted in slightly higher numbers of load cycles. Specimens subjected to 10 million load cycles without failure were tested to the residual load capacity, whereby slightly increased bond strengths were found compared to the static reference value.

As a result of the investigations carried out, it can be stated that a fatigue failure of the bond can be quasi excluded for high-strength concretes ($f_{cm} \geq 90 \text{ MPa}$) from a practical construction point of view.



Rissbildung in der Verbundzone | Crack pattern around the bond zone | Photo: Marc Koschemann

► **Titel | Title**

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

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

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

► **Zeitraum | Period**

11/2016 – 02/2021

► **Verbundvorhabenleiter | Joint project leader**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

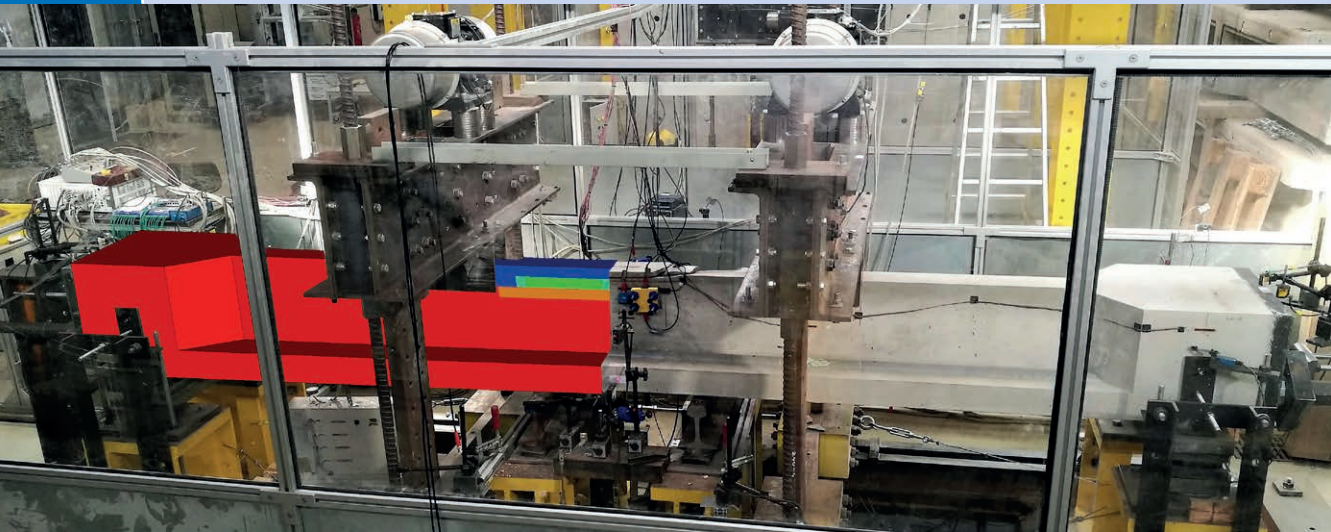
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Marc Koschemann

► **Projektpartner | Project partners**

6 Forschungseinrichtungen und 3 assoziierte Partner



Betonbalken mit Ermüdungsschädigung im Resonanzprüfstand und numerisches Modell | Concrete beam with fatigue damage in the resonance-based testing facility and damage visualisation from the numerical model | Photo and graphic: Dennis Birkner

POSITIVE EFFEKTE DURCH ERMÜDUNG? POSITIVE EFFECTS FROM FATIGUE?

Bei Bauwerken wie Windenergieanlagen und Eisenbahnbrücken kommt es während der Nutzungsdauer zu zyklischen Beanspruchungen im Querschnitt, die zu einer sukzessiven Materialermüdung führen. Hierbei verringert sich vor allem in den Randbereichen die Materialsteifigkeit, wodurch eine Umlagerung der Beanspruchung ins Innere der Bauteilquerschnitte geschieht. Dieser Effekt wird in diesem Projekt mit Hilfe von Finite-Elemente-Simulationen und experimentellen Versuchen untersucht.

Für die Finite-Elemente-Simulationen wird ein additives Dehnungsmodell für ermüdungsbeanspruchten Beton weiterentwickelt. Die Betondehnungen bestehen dabei aus vier Anteilen: einem elastischen Dehnungsanteil als reversible Verformung infolge der äußeren Lasten, einem viskosen Dehnungsanteil aus zeitabhängigen Materialeffekten, einem plastischen Dehnungsanteil, der irreversible Verformungen infolge Materialzerrüttung beschreibt, und einem Temperaturdehnungsanteil für die Verformung infolge Erwärmung. Zusätzlich wurde eine Kopplung des Elastizitätsmoduls der einzelnen Elemente an deren Schädigungs-

In structures such as wind turbines and railroad bridges, cyclic stresses occur in the cross-section during the service life, leading to successive material fatigue. As a result, the material stiffness decreases, especially in the edge zones, which leads to a redistribution of the stress to the inner part of the cross-section. This effect is investigated in this project utilizing finite element simulations and experimental tests.

For the finite element simulations, an additive strain model for fatigue loaded concrete is being developed further. The concrete strains consist of four components: an elastic strain component as a reversible deformation due to the external loads, a viscous strain component from time-dependent material effects, a plastic strain component that describes irreversible deformations due to material degradation, and a temperature strain component for the deformation due to heating. In addition, a coupling of the elastic modulus of the individual elements to their damage state was implemented. The material model was implemented in ANSYS Mechanical in an iterative calculation sequence. In the calculation, the individual

zustand implementiert. Das Materialmodell wurde in ANSYS Mechanical in einem iterativen Berechnungsablauf umgesetzt. Bei der Berechnung werden die einzelnen Lastwechsel der Ermüdungsbeanspruchung in Lastkollektiven mit gleichen Lastniveaus zusammengefasst und quasi-statisch auf das System aufgebracht. Anschließend werden elementweise die einzelnen Dehnungsanteile und die aktualisierten Steifigkeiten berechnet und das folgende Lastkollektiv appliziert. Die Modellparameter werden mit Hilfe von experimentellen Untersuchungen an kleinformatigen zylindrischen und großformatigen Balkenprobekörpern kalibriert. Da die Spannungsumlagerungen bei den Betonbalken zu ertragbaren Lastwechselzahlen von über 10^7 Lastwechseln führen können, werden die Balkenversuche in einem Resonanzprüfstand durchgeführt. So können die erforderlichen großen Beanspruchungen mit einer vergleichsweise geringen Erregerkraft erzeugt und der Very-High-Cycle-Fatigue Bereich bei einer Erregerfrequenz von etwa 18 Hz in unter einer Woche erreicht werden.

Die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens ermöglichen den Schritt in Richtung einer realitätsnäheren Bemessung und damit zu schlankeren, wirtschaftlicheren und kostengünstigeren Ausführungen ermüdungsbeanspruchter Betonbauwerke.

load cycles of the fatigue loading are combined in load collectives with equal load levels and applied quasi-statically to the system. Then, the individual strain components and the updated stiffnesses are calculated for each element and the following load collective is applied. The model parameters are calibrated through experimental investigations on small-scale cylindrical and large-scale beam specimens. Since the stress redistributions in the concrete beams can lead to an increase in the bearable load cycles to more than 10^7 , the beam tests are carried out in a resonance-based testing facility. In this way, the required large stresses can be generated with a comparatively low excitation force and the very-high-cycle-fatigue range can be achieved in less than a week with an excitation frequency of around 18 Hz.

The results of the research project make it possible to take a step towards a more realistic design and thus towards leaner, more economical and more cost-effective designs of fatigue-loaded concrete structures.



Detailaufnahme eines Ermüdungsschadens | *Detailed view of a fatigue damage* | Photo: Olaf Menze

► **Titel | Title**

Numerische und experimentelle Untersuchungen zu den Spannungsumlagerungen von ermüdungsbeanspruchten Betonbauteilen im Very-High-Cycle-Fatigue-Bereich

Numerical and experimental investigations on stress redistribution in concrete structures subjected to fatigue loading in the very high cycle fatigue range

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► **Zeitraum | Period**

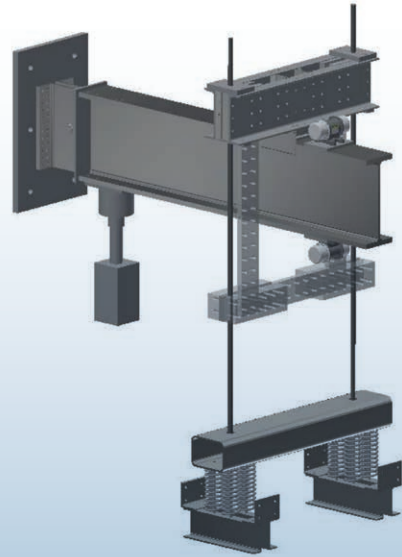
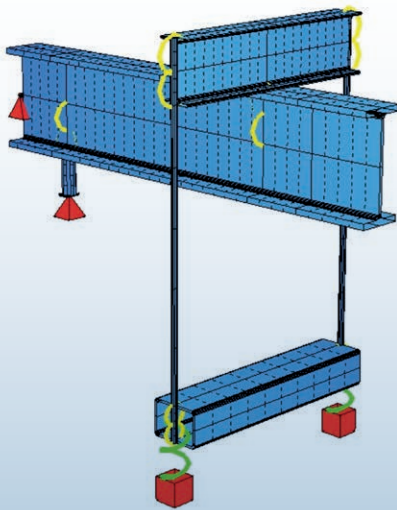
09/2019 – 12/2022

► **Projektleiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiter | Contributor**

Dennis Birkner, M. Sc.



Aufbau des Demonstrators I als numerisches Modell (links) und als CAD-Modell (rechts) | Setup of demonstrator I as a numerical model (left) and as a CAD model (right) | Graphic: Clara Schramm

RESONANZ CLEVER GENUTZT

RESONANCE CLEVERLY USED

Experimentelle Untersuchungen großer Bauteile, wie sie bei Windenergieanlagen eingesetzt werden, sind in ihrer Umsetzung mit viel Aufwand verbunden. Insbesondere die Untersuchung des Ermüdungsverhaltens, welches infolge hoher zyklischer Beanspruchungen durch Wind- und Wellenbelastung von großer Bedeutung ist, kann mit herkömmlichen servohydraulischen Aktuatoren sehr ineffizient werden. Die Idee: resonanzbasiertes Prüfen. Hierfür wurde am Institut für Massivbau der Leibniz Universität Hannover bereits ein Resonanzversuchsstand entwickelt bei dem synchronisierte Unwuchtantriebe mit minimalem Energieaufwand und gleichzeitig hoher Erregerfrequenz zyklische Ermüdungsbeanspruchungen erzeugen.

Im Rahmen dieses Projektes heißt es, die Resonanzprüfmethodik weiter zu erforschen und für unterschiedliche Anwendungen praktikabel zu gestalten. Ziel ist es, experimentelle Untersuchungen großer Bauteile bei hohen Frequenzen (20–50 Hz) und hohen Lastwechselzahlen ($N > 10^7$) energie- und zeitsparend und somit kostengünstig zu ermöglichen. Hierfür werden

Experimental testing of big structural elements, such as those used in wind energy turbines, is extremely time-consuming and expensive. In particular, the study of fatigue behaviour, which is of great importance as a result of high cyclic stresses due to wind and shaft loading, can become very inefficient with conventional servo-hydraulic actuators. The idea: resonance-based testing. Therefore, the Institute of Concrete Construction of the University of Hannover has already developed a resonance-based testing rig. To imply the excitation to the system simple imbalanced rotors were used to generate cyclic fatigue loads with minimal energy input and simultaneously high excitation frequency.

Within this project, the mission is to continue the research on the resonant testing method and to make it more practicable for different types of applications. Upon completion it will be possible to do experimental testing of large structural elements at high frequencies (20–50 Hz) and with a very large number of cycles ($N > 10^7$) in an energy and time-saving way.

zwei Demonstratoren entwickelt: Demonstrator I für axial auf Zug oder Druck beanspruchte Proben und Demonstrator II für biegebeanspruchte Tragstrukturelemente.

Mithilfe von zwei gegenläufige Unwuchtmotoren wird eine vertikale Schwingung erzeugt. Dabei liegt die Erregerfrequenz der Motoren nahe der ersten Biegeeigenfrequenz des gesamten Versuchsstandes, sodass es zu einer Vergrößerung der Kräfte infolge des Resonanzverhaltens kommt. Somit können mit vergleichsweise geringer Erregerkraft große Kräfte erzielt werden. Der Demonstrator I funktioniert als Kragarmsystem mit einer gelenkigen Lagerung. Mithilfe von Zugfedern wird eine Mittelast aufgebracht um die das System schwingt. Die Probekörper werden entweder unterhalb (Druckprobe) oder oberhalb (Zugprobe) des Kragarms platziert. Nach numerischer Betrachtung und Analyse des Versuchsaufbaus, folgt nun die Umsetzung in der Versuchshalle. Das Anspruchsvolle in der Konzipierung des Demonstrators II liegt in seiner Lagerung – einer Schwingungsknotenlagerung. Hierbei gilt es die Schwingungsknoten des Probekörpers (einem Stahlrohr) zu identifizieren, wodurch eine problematische Schwingungsübertragung auf die Umgebung minimiert wird.

To achieve the project goals, two demonstrators will be developed. Demonstrator I, for testing specimens under axial tensile or compressive loading and Demonstrator II for testing structural elements subjected to bending. By using two imbalanced rotors, which rotate in opposite directions a vertical oscillation will be generated. The excitation frequency of the rotors is close to the first natural bending frequency of the system. Due to the resonance effect, a relatively small excitation force will result in strong reaction forces. The Demonstrator I functions as a cantilever system with an articulated bearing. Vertically prestressed tension springs are used to apply a specific stress to the specimen around which the system oscillates. The specimens are placed either below (compression test) or above (tension test) the cantilever beam. After numerical considerations and the analysis of the testing rig, the realisation in the laboratory will follow. The most challenging aspect of the design of the Demonstrator II is to find its nodes of deflection. The aim here is to identify the vibration nodes of the specimen (a steel tube) so that a critical vibration transmission to the environment can be reduced to a minimum.



Zwei Unwuchtmotoren zur vertikalen Lasterzeugung am Demonstrator II | *Two imbalanced rotors to generate vertical forces to Demonstrator II* | Photo: Clara Schramm

► **Titel | Title**

TP ABT.Reso.TUD: Entwicklung und Optimierung resonanzbasierter Prüfmethoden für axial- und biegebeanspruchte Tragstrukturelemente im Verbundvorhaben ResoWind: Resonanzbasierte Prüfmethoden für kosten- und zeitoptimierte Lebensdaueruntersuchungen an Tragstrukturelementen von Windenergieanlagen

SP ABT.Reso.TUD: Development and optimization of resonance-based test methods for structural elements under axial and bending loads within the joint research project ResoWind: Resonance-based testing methods for cost- and time-optimized lifetime studies on support structure elements of wind turbines

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

► **Zeitraum | Period**

12/2019 – 11/2022

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiterin | Contributor**

Dipl.-Ing. Clara Schramm

► **Projektpartner | Project partners**

Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES), Bremerhaven | Testzentrum Tragstrukturen Hannover (TTH) Leibniz Universität Hannover | Bauunternehmung Gebr. Echterhoff GmbH & CO. KG, Westerkappeln | Vallourec Deutschland GmbH, Düsseldorf



Versiegelter HPC-Zylinder während der Erwärmung für statischen Druckversuch | Sealed HPC cylinder during heating for static compression test | Photo: Martin Markert (University Stuttgart)

TEMPERATUR VERÄNDERT BEANSPRUCHUNG TEMPERATURE CHANGES LOAD

Mit steigender Betondruckfestigkeit können immer schlankere Bauwerke, zum Beispiel weitspannende Brücken, realisiert werden. Diese erfahren neben hohen statischen Kräften schwingungsbedingt auch eine hohe Anzahl an Lastwechseln. Neben der Druckfestigkeit wird also auch das Ermüdungsverhalten relevant. Ist im herkömmlichen Stahlbetonbau vorwiegend der Bewehrungsstahl relevant für die Ermüdungsbemessung, ändert sich dies bei steigender Betondruckfestigkeit. Ultrahochfeste Betone (UHPC) nähern sich den Stahlfestigkeiten an, wodurch sich auch das Querschnittsflächenverhältnis der beiden Verbundwerkstoffe verschiebt und die Betonermüdung maßgebender wird.

Aktuell befassen sich Forschende im Schwerpunktprogramm 2020 damit, das Ermüdungsverhalten hochfester Betone zu ergründen. Bei der Durchführung von Druckschwellversuchen zur Charakterisierung von Ermüdungsfestigkeiten von Beton traten bei höheren Belastungsfrequenzen Erwärmungen im Beton auf. Im vorliegenden Projekt wird diese Erwärmung systematisch untersucht, um maßgebende Einflussgrößen zu definieren und eine Berück-

With increasing concrete compressive strength, slimmer structures such as long-span bridges are being realised. In addition to high static forces, these structures also experience a high number of load changes due to vibration. Besides the compressive strength, the fatigue behaviour also becomes more relevant. In conventional reinforced concrete, the steel properties are usually decisive for the fatigue design. This is due to the significantly higher material strength of steel and lower cross-sectional areas that result in higher stresses. Ultra-high performance concretes (UHPC), however, approach the strength of steel, which also shifts the cross-sectional area ratio of the two composite materials and makes concrete fatigue more decisive.

These aspects are currently being addressed by the Priority Programme SPP 2020 to investigate the fatigue behaviour of (ultra-)high strength concretes. When carrying out pressure swell tests, which are used to characterise the fatigue strength of concrete, the concrete heats up at higher loading frequencies. In the project presented here, this heating is systematically investigated to define decisive influencing

sichtigung der Temperatur bei der Auswertung vornehmen zu können.

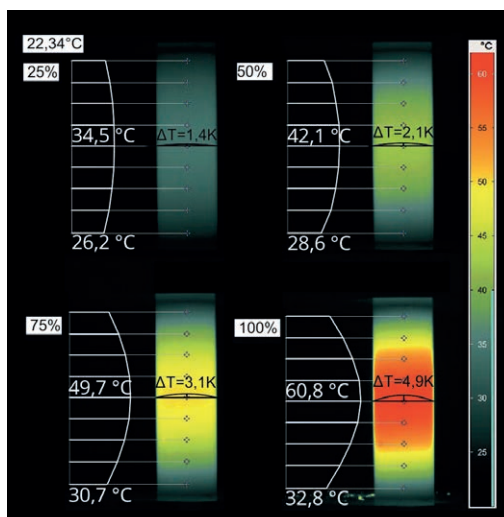
Die Experimente zeigten, dass die Erwärmung vor allem vom Spannungsspiel abhängt. Anders als die Ermüdungsfestigkeit, die stärker von der Oberspannung geprägt wird, ist hier der Einfluss der Oberspannung gleich dem der Unterspannung. Sich stark erwärmende Proben versagen außerdem früher, als die Berechnung nach fib Model Code 2010 ergibt. Untersuchungen zur einaxialen statischen Druckfestigkeit von UHPC im Bereich der gemessenen Temperatur bis 90 °C zeigten eine Reduzierung dieses Materialkennwertes um bis zu 15 %. Eine solche Reduzierung findet während der Druckschwellversuche mit steigender Temperatur kontinuierlich statt. Bei konstantem absolutem Kraftspiel verändert sich somit die bezogene Beanspruchung, was ein frühzeitiges Versagen bedingt.

Im Projekt wurde ein Ansatz erarbeitet, mit dem rechnerisch in Abhängigkeit der maximalen Temperatur sowie des Spannungsspiels die Festigkeitsreduzierung berücksichtigt werden kann. Druckschwellversuche können so auch zukünftig ohne Mehraufwand mit Frequenzen bis 20 Hz durchgeführt werden, eine eventuelle Verfälschung der Ergebnisse infolge der Erwärmung wird nachträglich berücksichtigt.

variables and to be able to take the increased temperature influence into account in the evaluation of test results.

The experimental investigations showed that the heating up is mainly dependent on the stress play. Unlike the fatigue strength, which is more dependent on the maximum stress level, here this influence is equal to the influence of the minimum stress level. Test specimens that heat up strongly also fail earlier than would be expected according to fib Model Code 2010 approaches. Investigations on the static compressive strength of UHPC in the range of the measured temperature up to 90 °C showed a reduction of up to 15% of the uniaxial compressive strength. This reduction takes place continuously during the pressure swell tests with increasing temperature. With constant absolute force play, the related stress thus changes, which causes premature failure.

Within this project, an approach was developed with which the strength reduction is taken into account mathematically as a function of the maximum temperature and the stress play. The pressure swell tests can thus be carried out up to 20 Hz without additional effort and the heating up can be taken into account subsequently.



Aufnahme der Temperaturentwicklung an der Probekörperoberfläche während eines Druckschwellversuchs mittels Wärmebildkamera | Recording of the temperature development on the specimen surface during a pressure swell test using a thermal camera | Graphic: Melchior Deutscher

► **Titel | Title**

Einfluss lastinduzierter Temperaturfelder auf das Ermüdungsverhalten von UHPC bei Druckschwellbelastung

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

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 2020

► **Zeitraum | Period**

09/2017 – 03/2022

► **Projektleiterin | Project manager**

Dr.-Ing. Silke Scheerer

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Melchior Deutscher

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Massivbau, TU Darmstadt



Carolabrücke in Dresden unter zyklischer Belastung | Carola Bridge in Dresden under cyclic loading | Photo: Raúl Enrique Beltrán Gutiérrez

BETONERMÜDUNG SCHNELL ODER LANGSAM? FAST OR SLOW TO CONCRETE FATIGUE?

Betonbrücken werden während ihrer Lebensdauer von einer großen Anzahl an Lastwechseln durch Autos, LKW oder Züge beansprucht. Das hat zur Folge, dass der Beton an den hochbeanspruchten Stellen ermüdet. In den letzten Jahren wurden Wissenslücken sowie Diskrepanzen zwischen dem im Labor beobachteten Ermüdungsverhalten und dem tatsächlichen Ermüdungsverhalten von Betonstrukturen entdeckt. So haben beispielsweise die Ermüdungsfestigkeiten, die auf der Grundlage von Laborversuchen ermittelt wurden, einen niedrigeren Wert als die in den Bauwerken geschätzten tatsächlichen Ermüdungsfestigkeiten. Die hohe Belastungsfrequenz und die daraus resultierende innere Temperaturerhöhung während der Untersuchungen im Labor verursachen anscheinend eine zusätzliche Schädigung in den Betonproben.

Gegenwärtig werden Betonproben unter Laborbedingungen in Versuchen mit der höchstmöglichen Belastungsgeschwindigkeit bis zur Ermüdung geprüft. Dies erfolgt, um Kosten und Prüfzeiten zu minimieren. Um beispielsweise die Anzahl der zyklischen Belastungen bei einem Probekörper zu simulieren, denen eine Brücke über 10 Jahre ausgesetzt ist, würde man

Concrete bridges are subjected to a large number of loading cycles caused by cars, trucks or trains during their service life. As a result, the concrete fatigues at the areas subjected to high stresses. In recent years, knowledge gaps, as well as discrepancies between the fatigue behaviour observed in the laboratory and the actual fatigue behaviour of concrete structures, have been discovered. For example, fatigue strengths calculated based on laboratory tests have a lower value than the actual fatigue strengths estimated in the real structures. The high cyclic loading frequency and the resulting internal temperature increase during the laboratory tests apparently cause additional damage to the concrete specimens.

Currently, concrete specimens are tested under laboratory conditions in fatigue tests at the highest possible cyclic loading rate until fatigue is reached. This is done to minimize cost and testing time. For example, to simulate the number of cyclic loads on a specimen that a bridge will be subjected to over 10 years, it would take about 23 days under normal laboratory conditions with a loading frequency of $f_p = 5$ Hz. Moreover, one would need several many specimens to validate the results of the tests. Therefore, it seems logical to increase the cyclic loading rate. Only if the test-

unter normalen Laborbedingungen mit einer Belastungsfrequenz von $f_p = 5$ Hz etwa 23 Tage benötigen. Zudem bräuchte man zahlreiche Probekörper um die Ergebnisse der Untersuchungen zu validieren. Es scheint daher logisch, die Belastungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Nur wenn die Prüfzeiten für die Ermüdungsversuche verkürzt werden könnten, ohne die Qualität der Ergebnisse zu beeinträchtigen, wird es möglich, die Entwicklung der Ermüdungsschädigung über die erwartete Lebensdauer der Brücke im Labor realistisch zu simulieren.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden zahlreiche Versuche mit unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten und Temperaturbedingungen durchgeführt, um die Ermüdungsfestigkeit von Beton mit den oben genannten Faktoren in Beziehung zu setzen. Aus den Versuchsdaten werden später Modelle entwickelt, die den Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit sowie der Temperaturerhöhung auf die Entwicklung der Ermüdungsschädigung berücksichtigen. Mithilfe der in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Modelle wird die bislang unzureichende Übertragbarkeit von Laborergebnissen aus Ermüdungsversuchen auf reale Bauteilsituationen ermöglicht.

ing times for the fatigue tests could be shortened without compromising the quality of the results, it will be possible to realistically simulate the fatigue damage evolution over the expected lifetime of the bridge in the laboratory.

As part of this research project, numerous tests will be conducted at different cyclic loading rates and temperature conditions to relate the fatigue strength of concrete to the above factors. The experimental data will later be used to develop models that take into account the influence of the loading rate as well as the temperature increase on the development of fatigue damage. With the help of the models developed in this research project, the previously insufficient applicability of laboratory results from fatigue tests to real component situations will be made possible.



Probekörper unter Druckschwellenbeanspruchung | Concrete specimen under cyclic loading | Photo: Doreen Sonntag

► **Titel | Title**

Einfluss der Beanspruchungsgeschwindigkeit und der Belastungsfrequenz auf den Ermüdungswiderstand von Beton (EBBE-Beton)

Influence of loading velocity and loading frequency on the fatigue resistance of concrete (EBBE-Beton)

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

► **Zeitraum | Period**

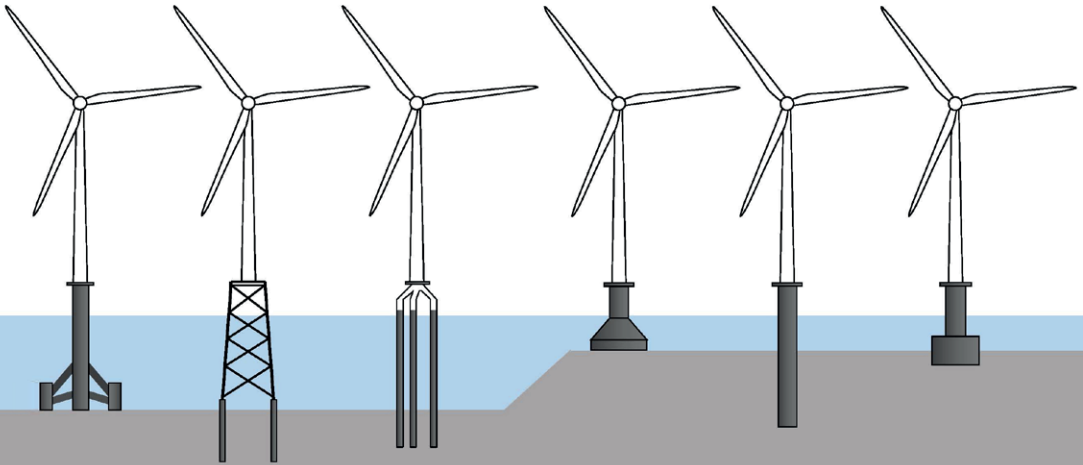
08/2020 – 07/2023

► **Projektleiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiter | Contributor**

Raúl Enrique Beltrán Gutiérrez, M. Sc.



Offshore-Tragstrukturtypen in Windparks mit unterschiedlichen Wassertiefen, von links nach rechts: Tripod, Jacket, Tripile, Schwergewichtsgründung, Monopile, Suction Bucket | Offshore substructure types in wind farms with different water depths; from left to right: tripod, jacket, tripile, heavyweight foundation, monopile, suction bucket | Graphic: Han Qian

TRAGWERKSENTWURF MIT MACHINE LEARNING

STRUCTURAL DESIGN WITH MACHINE LEARNING

Das Forschungsprojekt B01 wird im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB 1463) bearbeitet. Das Ziel des SFB 1463 ist die Erforschung physikalischer und methodischer Grundlagen, basierend auf dem Konzept des Digitalen Zwillings, für eine integrierte Entwurfs- und Betriebsmethodik zukünftiger Offshore-Megastrukturen.

Offshore-Megastrukturen sind schlanke, integrale Strukturen von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) verstanden, die sich durch sehr große Abmessungen und Massen auszeichnen sowie stark dynamisch mit ihrer Umgebung interagieren. Sie können einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg der Energiewende leisten, da sie im Vergleich zu heutigen Anlagen eine effizientere Stromerzeugung und kontinuierlichere Stromerzeugung sicherstellen. Mit den Anforderungen höherer Nennleistungen und größerer Abmessungen haben Randbedingungen aus Fertigung, Installation oder Instandhaltung enormen Einfluss auf die Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit der OWEA. Der Entwurf dieser Tragstrukturen muss alle Aspekte des Lebensprozesses einbeziehen.

The research project B01 is processed within the framework of the Collaborative Research Center (CRC 1463). The objective of the CRC 1463 is the investigation of physical and methodological fundamentals, based on the concept of the digital twin, for an integrated design and operation methodology of future offshore megastructures.

Offshore megastructures are slender, integral structures of offshore wind turbines (OWT), which are characterized by very large dimensions and masses as well as by strong dynamic interactions with their environment. They can make a significant contribution to the success of the energy transition by ensuring more efficient power generation and more continuous power feed-in compared to today's turbines. With the requirements of higher rated power and larger dimensions, boundary conditions from manufacturing, installation or maintenance have an enormous influence on the feasibility and economic efficiency of OWTs. The design of these support structures must incorporate all aspects of the life cycle process.

The objective of B01 is to describe the investigation of the load-bearing behaviour with a design

Das Ziel von B01 ist, die Untersuchung des Tragverhaltens durch einen Entwurfsraum zu beschreiben, der die wichtigen Lebensphase-ninflussfaktoren berücksichtigt. Darüber hinaus basiert der Tragwerksentwurf nicht nur auf explizitem theoretischem und praktischem Wissen, wie bspw. Normen, sondern auch auf der Intuition der Ingenieure. Wie diese Intuition mithilfe geeigneter Techniken des maschinellen Lernens (ML) in den Tragwerksentwurf kombiniert werden kann, ist eine wesentliche Aufgabe des Projekts.

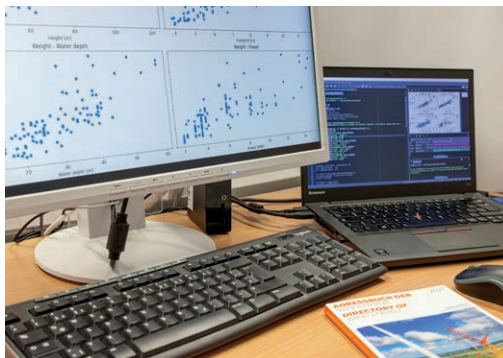
In diesem integrierten Entwurfsprozess werden die bisherigen Entwurfserfahrungen und -ansätze mit ML-Methoden kombiniert, um ein Prognosemodell zu erstellen, das die Gesamtentwurfsqualität bei unterschiedlichen Entwurfsvarianten vorhersagen kann.

In diesem Zusammenhang muss eine Datenbank von realisierten und simulierten Entwürfen der OWEA erarbeitet und zum Training des ML-Modells verwendet werden. Bislang erfolgte die Analyse des Lebensprozesses von OWEA durch eine umfangreiche Literaturrecherche in Normen, Richtlinien und anderen relevanten Veröffentlichungen. Diese Faktoren werden systematisch geordnet und in Form von Features parametrisiert, die die einzelnen Lebensphasen von OWEA charakterisieren.

process that takes into account the important life cycle influencing factors. Furthermore, the structural design is not only based on explicit theoretical and practical knowledge such as standards and codes, but also on the intuition of engineers. How to incorporate this intuition into the structural design process by using appropriate machine learning (ML) techniques is a key task of the project.

In this integrated design process, previous design experience and approaches are combined with ML methods to create a predictive model that can be used to forecast the overall design quality under different design variations.

In this context, a database of realized and simulated designs of the OWT needs to be developed and used to train the ML model. So far, the analysis of the OWT life process has been done through an extensive literature review of standards, guidelines and other relevant publications. These factors are systematically organized and parameterized in the form of features that characterize the individual life phases of OWTs.



Analyse von OWEA-Design-Parameter hinsichtlich ihrer Korrelation | *Analysis of OWT design parameters in terms of their correlation* | Photo: Stefan Gröschel

- ▶ **Titel | Title**
TP B01: Integrierter Entwurfsprozess für Offshore-Tragstrukturen
SP B01: Integrated design process for offshore structures
- ▶ **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB 1463
- ▶ **Zeitraum | Period**
01/2021 – 12/2024
- ▶ **Teilprojektleiter | Subproject manager**
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**
Han Qian, M. Sc.
- ▶ **Partner | Partner**
Institut für Informatik, Freie Universität Berlin



Vorversuche mit Beschleunigungsaufnehmern im Klimaschrank | Preliminary tests with different acceleration sensors in the climate chamber | Photo: Jan-Hauke Bartels

AUCH ÜBERWACHUNGSSYSTEME ALTERN MONITORING SYSTEMS ALSO AGE

Ein weiteres Forschungsprojekt, welches im Sonderforschungsbereich 1463 (SFB 1463) bearbeitet wird, ist das Teilprojekt C01. Das Projekt ist im Bereich der Strukturüberwachung der OWEA angesiedelt. Das übergeordnete Ziel, einen digitalen Zwilling für Windenergieanlagen zu erarbeiten, wird in diesem Projekt in dem Kontext der Echtzeitüberwachung von Tragstrukturen verstanden. Der digitale Zwilling basiert essenziell auf der Verknüpfung zwischen realen Teilkomponenten der Windenergieanlage sowie digitalen Repräsentanten und muss die reale Struktur möglichst exakt abbilden. Die wesentlichen Informationen dafür müssen über Monitoringsysteme gewonnen werden, die eine lebenslange Verknüpfung von realem und virtuellem System gewährleisten.

In dem an der TUD bearbeiteten Teilprojekt wird – mit dem Wissen, dass sich im Laufe der Zeit die reale Tragstruktur ebenso wie die Einwirkungen verändern – das Ziel verfolgt, Me-

The subproject C01 is another research project, which is part of the Collaborative Research Center 1463 (CRC 1463). The scope of the project is in the field of structural monitoring of wind turbines. The overall goal of developing a digital twin for wind energy systems is conceived in the context of real-time monitoring of support structures. The digital twin is essentially based on the coupling of real subcomponents of the wind turbine and their digital representatives that must represent the real structure as accurately as possible. The essential information for this must be obtained via monitoring systems that guarantee a lifelong link between the real and virtual systems.

In the subproject being worked on at the TUD, the goal is to research methods for a monitoring concept that encompasses the entire service life of the structure – with the knowledge that both the real load-bearing structure and the load actions change over the course of time. The problem is that monitoring systems are also

ethoden für ein lebensdauerumfassendes Monitoringkonzept zu erforschen. Problematisch ist, dass auch Monitoringsysteme einem Alterungsprozess unterliegen. Die Messanlage verschlechtert sich über die Lebensdauer bezüglich Datenquantität und -qualität. Die Schwierigkeit besteht darin, dass Komponenten des Messsystems nicht sofort vollständig ausfallen. Der Forschungserfolg hängt demnach davon ab, ob initiale Unsicherheiten und Alterungsprozesse der Messanlagen berücksichtigt und kompensiert werden können.

In diesem Zusammenhang wurden Vorversuche für die probabilistische Beschreibung der Übertragungsfunktion unterschiedlicher Sensortypen (Dehnungsmessstreifen, Beschleunigungsaufnehmer und Laser-Distanzsensoren) und der zugehörigen Messsystemkomponenten durchgeführt. Die Messwerte wurden hinsichtlich ihrer Temperatur- und Feuchteabhängigkeit ausgewertet, sodass erste zeitunabhängige Übertragungsfunktionen approximiert werden konnten.

Im weiteren Verlauf werden zeitabhängige Versuche durchgeführt, um die Alterungsprozesse weiterer Messsystemkomponenten (Sensor, Kabel, Messverstärker) beschreiben zu können.

subject to an ageing process. The output of the measuring system deteriorates over its lifetime in terms of data quantity and quality. The difficulty is that components of the measuring system do not fail completely immediately. Therefore, the success of the research depends on whether initial uncertainties and ageing processes of the measurement systems can be taken into account and compensated.

In this context, preliminary tests were carried out for the probabilistic description of the transfer function of different sensor types (strain gauges, accelerometers and laser distance sensors) and the associated measurement system components. The measured values were evaluated with respect to their temperature and humidity dependence so that initial time-independent transfer functions could be approximated.

In the further course, time-dependent tests will be carried out in order to be able to describe the ageing processes of further measuring system components (sensor, cable, measuring amplifier).



Vorversuche mit DMS im Klimaschrank | *Preliminary tests with strain gages in the climate chamber* | Photo: Jan-Hauke Bartels

► **Titel | Title**

TP C01: Robuste lebensdauerumfassende Monitoringkonzepte für Offshore-Windenergieanlagen

SP C01: Robuste lifetime monitoring concepts for offshore wind turbines

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB 1463

► **Zeitraum | Period**

01/2021 – 12/2024

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

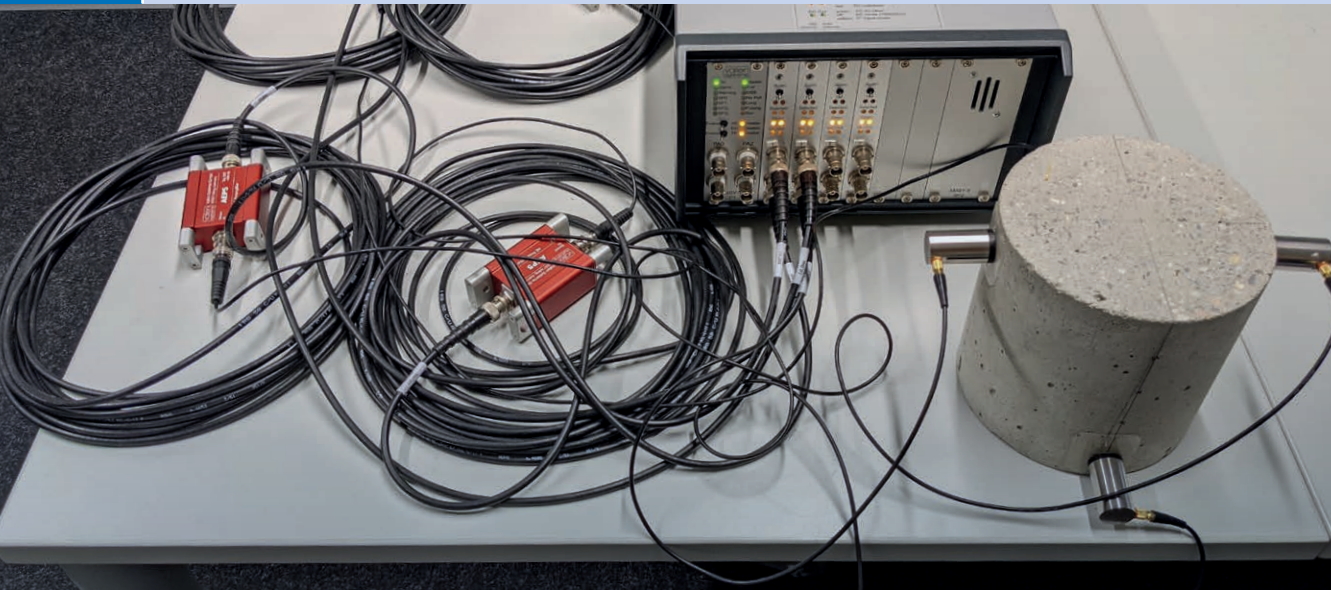
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiter | Contributor**

Jan-Hauke Bartels, M. Sc.

► **Partner | Partner**

Institut für Risiko und Zuverlässigkeit (IRZ), Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover



Tastversuch mit Erfassungseinheit AMSY6 von Vallen Systeme | Trial test with measuring instrument AMSY6 from Vallen Systeme | Photo: Ronghua Xu

SCHALLEMISSIONSMESSUNG

ACOUSTIC EMISSION MEASUREMENT

Windenergieanlagen (WEA) wandeln die Bewegungsenergie des Windes in elektrische Energie um und speisen sie in ein Stromnetz ein. In den vergangenen Jahren gewannen Hybridtürme für WEA immer mehr an Bedeutung. Diese bestehen aus Betonring- und Stahlsegmenten, die modular zusammengefügt werden. Um die Standsicherheit der Türme zu gewährleisten, werden im Inneren Spannglieder in Längsrichtung vorgespannt. Im Sinne einer kostengünstigen Instandsetzung sollen etwaige Schäden wie Spanndrahtbrüche so früh wie möglich detektiert werden.

Zur Bewertung des Spanngliedzustands gibt es verschiedene Verfahren, wie z. B. die visuelle Inspektion oder die magnetische Streufeldmessung. Jedoch können die Verfahren manchmal aufgrund beschränkter Zugänglichkeit nicht verwendet werden. Die Schallemissionsmessung hat sich durch seine hervorragende Charakteristik ausgezeichnet, dass trotz der schwierigen Zugänglichkeit eine dauerhafte Beobachtung der Spanngliedzustände und eine frühzeitige Schadenserkennung möglich sind. Dem Messverfahren liegt das Prinzip zugrunde, dass die akustischen

A wind turbine converts the kinetic energy of the wind into electrical energy and feeds it into an electricity grid. In recent years, hybrid towers for wind turbines have become increasingly important. The hybrid towers consist of concrete rings and steel segments that are assembled in a modular way. In order to ensure the stability of the towers, tendons are prestressed in the longitudinal direction inside the towers. In the interest of cost-effective repair, any damage such as tension wire breaks should be detected as early as possible.

There are various methods for evaluating the tendon condition, such as visual inspection and magnetic stray field measurement. However, sometimes the methods cannot be used due to limited accessibility. A permanent observation of the tendon states and an early damage detection are possible by using the acoustic emission measurement despite the difficult accessibility. The measuring method is based on the principle that the acoustic signal of the breaking wire can be picked up by the piezoelectric sensors and further processed by the recording unit. With the piezoelectric effect, electrical voltage is caused by the deformation of the tendons

Signale der Drahtbrüche von den piezoelektrischen Sensoren aufgenommen und weiter verarbeitet werden können. Mit dem piezoelektrischen Effekt wird elektrische Spannung durch die Verformung der Spannglieder hervorgerufen, welche zum diagonalen Signal umgerechnet wird. Danach wird durch Vorverstärker gesichert, dass die Signalübertragung über lange Kabel ohne große Impedanz erfolgt. Mittels eines Analog-Digital-Wandlers werden analoge Signale digitalisiert und dann einem Signalprozessor zugeführt. Aus den digitalisierten Signalen werden sowohl Schallemissionsparameter (SE-Parameter) wie Ankunftszeit, Signaldauer, Maximalamplitude usw. extrahiert als auch transiente Wellenformen gespeichert.

Ein Schwerpunkt im Forschungsprojekt liegt in der Bestimmung der Charakteristik jedes Glieds einer Messkette. Durch die Entkopplung der Einflüsse aus Quellmechanismus und Ausbreitungsweg auf die Signalform können SE-Ereignisse genau charakterisiert werden. Als zweiter Forschungsschwerpunkt stellt sich die Entwicklung eines Algorithmus durch Machine-Learning-Methoden vor. Anhand der gewonnenen SE-Parametern und Wellenformen soll der Algorithmus mit genug Genauigkeit ein Versagen präzisieren können.



Versuchsaufbau | Test set-up | Photo: Ronghua Xu

and will be converted to the diagonal signal. Afterwards, preamplifiers ensure that the signal is transmitted over long cables without high impedance. Using an analogue-to-digital converter, analogue signals are digitized and then fed to a signal processor. From the digitized signals, both acoustic emission parameters (AE parameters) such as arrival time, signal duration, maximum amplitude etc. are extracted and transient waveforms are stored.

One focus of the research project is to determine the characteristics of each link in a measurement chain. By decoupling the influences of source mechanism and propagation path on the signal shape, AE events can be characterized precisely. The second research focus is the development of an algorithm using machine learning methods. Based on the obtained AE parameters and waveforms, the algorithm should be able to predict a failure with sufficient accuracy.

► **Titel | Title**

TP Experimentelle Untersuchungen und Datenbasis (ExData) im Verbundvorhaben KISWind: KI-unterstütztes Schallemissionsmonitoring zur automatischen Schadenserkenntnis in Tragstrukturen von Windenergieanlagen

SP Experimental studies and data basis (ExData) within the joint research project KISWind: AI-supported acoustic emission monitoring for automatic damage detection in supporting structures of wind turbines

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

► **Zeitraum | Period**

07/2020 – 06/2023

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiter | Contributor**

Dipl.-Ing. Ronghua Xu

► **Projektpartner | Project partners**

Institut für Informationsverarbeitung, Leibniz Universität Hannover | Institut für Informatik – FG Mathematik und Informatik, Freie Universität Berlin | Max Bögl Wind AG, Neumarkt in der Oberpfalz | Marx Kronalt Partner, Hannover | TÜV Süd Industrie, Service GmbH, München



smart tendon – in Spanngliedern integrierte Sensoren für das Bauwerksmonitoring | smart tendon – sensors integrated in tendons for structural monitoring | Photo: MKP, graphic: Stefan Gröschel

BRÜCKEN LEBENSLANG ÜBERWACHEN

MONITORING BRIDGES FOR LIFE

Das BMVI verfügt über zahlreiche Daten im Bereich Verkehrs-, Infrastruktur-, Satelliten-, Umwelt- und Wettermessung. In der Förderrichtlinie „Modernitätsfonds“ wird die Entwicklung von innovativen Nutzungs- und Vernetzungsmöglichkeiten sowie die Identifikation zukünftiger Bedarfe sowie Verwendungsoptionen der Daten angestrebt. Zusätzliche Mittel stehen bereit, um den Strukturwandel in den Kohleregionen zu unterstützen. Im Programmmodul „Digitalisierung und datenbasierte Innovationen für Mobilität 4.0 und Daseinsvorsorge in den Braunkohlerevieren“ wurde deshalb ein Verbundforschungsvorhaben unter Koordination der HTWK Leipzig gestartet, an dem weitere Partner aus dem mitteldeutschen Kohlerevier beteiligt sind und auch Firmen aus dem Lausitzer Revier eingebunden werden sollen.

Das Ziel ist, dass Infrastrukturbauwerke lange genutzt, effizient unterhalten und dadurch Ressourcen eingespart werden können. Der Schwerpunkt liegt auf Spannbetonbrücken. Der Zustand der Brücken wird regelmäßig geprüft und bei erkannten Schäden einer Nach-

The BMVI has numerous data in the field of transport, infrastructure, satellite, environmental and weather measurement. The funding programme “Modernity Fund” aims to develop innovative data use and networking options and to identify future data needs and utilisation options. Additional funds are available to support structural change in coal regions. In the programme module “Digitalisation and data-based innovations for Mobility 4.0 and services of general interest in the lignite mining regions”, a joint research project was therefore launched under the coordination of the HTWK Leipzig, in which other partners from the Central German coal mining region are involved and companies from the Lusatian mining region are also to be integrated.

The project is focused on prestressed concrete bridges with the aim to ensure that infrastructure structures can be used for as long as possible, maintained efficiently and thus save resources. The condition of the bridges is regularly checked and, if damage is detected, subjected to recalculation and, if necessary, monitoring. The database created in this way could be significantly enhanced

rechnung und ggf. einem Monitoring unterzogen. Die dabei erstellte Datenbasis ließe sich durch die langzeitige Messung von Verformungen im Brückeninneren wesentlich erweitern und präzisieren. Deshalb sollen Sensoren entwickelt werden, die direkt in die Spannglieder integriert werden und den Zustand der Brücken über deren gesamte Nutzungsdauer hinweg erfassen. Favorisiert werden faseroptische Sensoren, welche eine orts aufgelöste Dehnungsmessung entlang der Spannglieder ermöglichen. Durch den starren Verbund zwischen Spanngliedern und Bauwerksbeton kann der aktuelle Bauwerkszustand erkannt bzw. mit der Bemessung abgeglichen werden. Somit werden evtl. auftretende Bauwerksschäden frühzeitig erkennbar und lokalisierbar. Für die robuste und dauerhafte Integration der Sensoren in die Spannglieder werden diverse technische Ansätze verfolgt. Nach der Entwicklung geeigneter Schutzsysteme für die Sensoren und von Technologien zur Integration im Spannglied erfolgen Laborversuche an einzelnen mit Dehnungssensoren ausgerüsteten Spanngliedern, sogenannten smart tendons. Später werden die smart tendons in großmaßstäblichen Laborversuchen an Spannbetonbalken und in einem realen Brückenbauwerk getestet. Begleitend erfolgt die Entwicklung von Überwachungskonzepten für Brücken, die die gewonnenen Messwerte einbeziehen.

and made more detailed through the long-term measurement of deformations inside the bridges. Therefore, sensors are to be developed that can be integrated directly into the tendons and record the condition of the bridges over their entire service life. Fibre optic sensors are favoured, which enable a spatially resolved strain measurement along the tendons. Due to the rigid bond between the tendons and the concrete of the structure, the current condition of the structure can be detected and compared with the design, and any damage to the structure can be detected and localised at an early stage. Various technical approaches are being pursued for the robust and permanent integration of the sensors into the tendons. After the development of suitable protection systems for the sensors and of technologies for integration in the tendon, laboratory tests will be carried out on individual tendons equipped with strain sensors, so-called smart tendons. Later, the smart tendons will be tested in large-scale laboratory tests on prestressed concrete beams and in a real bridge structure. This will be supplemented by the development of monitoring concepts for bridges that include the measured values.



Rekultivierter Tagebau Sedlitz im Lausitzer Braunkohlerevier |
 Recultivated Sedlitz opencast mine in the Lusatian lignite mining area |
 Photo: Kerstin Speck

► **Titel | Title**

TP der TU Dresden im Verbundprojekt smart_tendon:
 Erfassung von Bauwerksdaten mittels in Spannglieder
 integrierter ortsauflösender Dehnungssensoren

*SP of the Technische Universität Dresden within the joint
 research project smart_tendon: Acquisition of structural data
 by means of spatially resolved strain sensors integrated in
 tendons*

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

► **Zeitraum | Period**

11/2021 – 10/2024

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiterin | Contributor**

Dr.-Ing. Kerstin Speck

► **Partner | Partners**

Institut für experimentelle Mechanik, HTWK Leipzig |
 DYWIDAG Systems International GmbH, Leipzig |
 MKP GmbH, Weimar | Ingenieurgesellschaft für
 experimentelle Bauwerksuntersuchung mbH, Leipzig |
 Solifos Deutschland GmbH, Bonn



Validierungsbauwerk Nibelungenbrücke Worms | Validation construction Nibelungen Bridge Worms | Photo: Chongjie Kang

HUNDERT PLUS

HUNDRED PLUS

Der Zustand eines Bauwerks ist mit fortschreitendem Lebensalter von einer immer schneller zunehmenden Degradation geprägt. Um die Nutzbarkeit komplexer Bauwerke zu verlängern, sind deutlich mehr Informationen zu einem viel früheren Zeitpunkt erforderlich als heute üblich. Um dieses Defizit drastisch zu verringern und zu einer prädiktiven Instandhaltung zu gelangen, bedarf es grundlegender Forschung zu den Methoden der Erfassung, Verknüpfung und Bewertung aller Daten zu Geometrie, Material, Beanspruchung und Alterung. Die Digitalisierung, insbesondere das Konzept des digitalen Zwillings, erlangt in diesem Kontext eine völlig neue Bedeutung. Sie ermöglicht die Kombination und Echtzeitauswertung sämtlicher für Betrieb und Instandhaltung erforderlicher Daten. Das Bauwesen steht hier jedoch vor besonderen inhaltlichen und methodischen Herausforderungen: Bauwerke, v. a. der Verkehrsinfrastruktur, sind immer Unikate. Sie sind geprägt durch enorme Dimensionen und haben eine erheblich höhere Lebensdauer als andere technische Anlagen. Ihre Änderungsrate infolge Deterioration ist sehr gering und somit kaum messbar. Diesen Herausforderungen widmet sich das SPP „100+“ in drei interdisziplinären Forschungs-

The condition of a structure is characterised by an ever more rapid degradation as it ages. To prolong the usability of complex structures, much more information is needed at a much earlier stage than is usual today. To drastically reduce this deficit and move towards predictive maintenance, fundamental research is needed on the methods of collecting, linking and evaluating all data on geometry, material, stress and ageing. Digitisation, especially the concept of the digital twin, takes on a completely new significance in this context. It enables the combination and real-time evaluation of all data required for operation and maintenance. However, the construction industry is faced with special challenges in terms of content and methodology: buildings, especially in transport infrastructure, are always unique. They are characterised by enormous dimensions and have a considerably longer service life than other technical facilities. Their rate of change due to deterioration is very low and thus hardly measurable. The SPP “Hundred plus” addresses these challenges in three interdisciplinary research areas: digital models, digital linkage and status indicators.

The field “Digital Models” develops methods for generating largely automated, georeferenced, ob-

bereichen: Digitale Modelle, Digitale Verknüpfung, ustandsindikatoren.

Der Bereich „Digitale Modelle“ entwickelt Methoden, um aus heterogenen Bestandsdaten von Ingenieurbauwerken, unterstützt durch digitale Bauaufnahmeverfahren, weitgehend automatisiert georeferenzierte, objektorientierte 3D-Modelle zu erzeugen, die neben der Geometrie auch semantische Informationen enthalten. Der Bereich „Digitale Verknüpfung“ ist, wie die zeitvarianten Zustandsinformationen des realen Objektes in Echtzeit aufbereitet und mit dem digitalen Zwilling verknüpft werden können. Um riesige Datenmengen automatisiert in eine vom Menschen schnell und weitgehend intuitiv erfassbare Zustandsinformation umzuwandeln, entwickelt der Bereich „Zustandsindikatoren“ Methoden für deren automatisierte Ableitung aus kontinuierlichen Messdaten und aus Daten der klassischen Instandhaltung und Inspektion.

Die entwickelten Methoden zur Modellgenerierung, zur digitalen Verknüpfung und zur Ableitung von Zustandsindikatoren sollen an einem Demonstratorbauwerk, der Nibelungenbrücke in Worms, getestet und validiert werden.

ject-oriented 3D models from heterogeneous as-built data of engineering structures, supported by digital construction recording procedures, which contain semantic information in addition to the geometry. The focus of the area “Digital Linkage” is how the time-variant condition information of the real object can be processed in real-time and linked to the digital twin. In order to automatically convert huge amounts of data of the most varied structure and origin into condition information that can be quickly and largely intuitively grasped by humans, the “Condition Indicators” field is developing scientific methods for their automated derivation from continuous measurement data and from classic maintenance and inspection data.

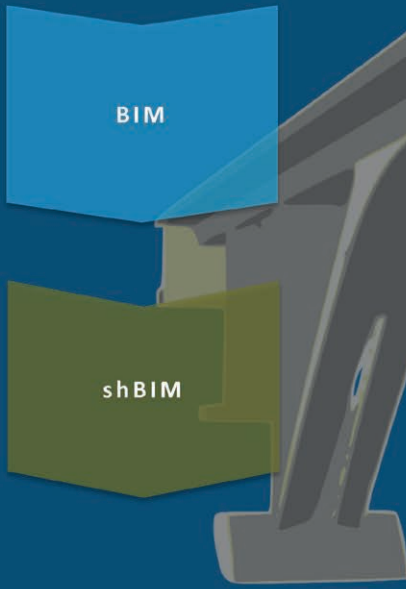
The developed methods for model generation, digital linkage and derivation of condition indicators are to be tested and validated on a demonstrator structure, the Nibelungen Bridge in Worms.



Turm der Nibelungenbrücke Worms | Tower of the Nibelungen Bridge Worms | Photo: Chongjie Kang

- ▶ **Titel | Title**
SPP 2388: Hundert plus – Verlängerung der Lebensdauer komplexer Baustrukturen durch intelligente Digitalisierung
SPP 2388: Hundred plus – Extending the service life of complex structures through intelligent digitalisation
- ▶ **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 2388
- ▶ **Zeitraum | Period**
 - ▶ Bewilligung des SPP | *Granting of the SPP*: 29.03.2021
 - ▶ Deadline Anträge | *Deadline proposals*: 29.10.2021
 - ▶ Gewünschter Beginn der SPP-Projekte | *Desired start of the SPP projects*: Sommer 2022 | *Summer 2022*
- ▶ **Koordinator | Coordinator**
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**
Dr.-Ing. Chongjie Kang

DIGITALER ZWILLING



REALES BAUWERK



Digitale Instandhaltung nach dem shBIM-Konzept | Digital maintenance according to the shBIM concept | Visualization: Robert Hartung, ICoM Universität Hannover

BRÜCKENINSTANDHALTUNG VON MORGEN

TOMORROW'S BRIDGE MAINTENANCE

Die Instandhaltung von Eisenbahnbrücken ist derzeit von einem reaktiven, problemorientierten Vorgehen gekennzeichnet. Erst wenn der Bauwerksbetreiber im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Inspektionen einen Schaden am Bauwerk feststellt, erfolgt die Planung einer Instandsetzungsmaßnahme. Wegen des dann meist fortgeschrittenen Schädigungsstatus sind diese Maßnahmen i. d. R. teuer. Eine prädiktive, langzeitliche Überwachung, wie sie in vielen anderen industriellen Bereichen etabliert ist, würde zu einer Senkung der Instandhaltungskosten und zu einer Reduzierung des Ausfallrisikos führen.

In dem Projekt DiMaRB wird daher ein digitales, prädiktives Instandhaltungskonzept für Eisenbahnbrücken entwickelt, welches auf der Nutzung von Structural Health Monitoring (SHM) und Building Information Modeling (BIM) basiert. Mit der permanenten Erfassung und Auswertung von Messdaten zum aktuellen

The maintenance of railway bridges is currently characterized by a reactive, problem-oriented approach. Only when the operator of the structure detects a deficiency in the structure during the legally required inspections, the planning of a maintenance action is carried out. Then, due to the advanced state of the damage, these actions are usually expensive. Predictive, long-term monitoring, as established in many other industrial sectors, would lead to a reduction in maintenance costs and a reduction in the risk of failure.

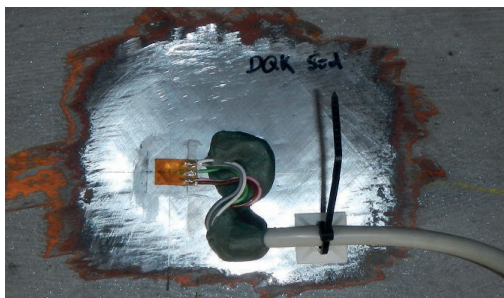
The DiMaRB project, therefore, develops a digital, predictive maintenance concept for railway bridges based on the use of Structural Health Monitoring (SHM) and the Building Information Modeling (BIM) method. With the permanent acquisition and evaluation of measurement data on the current structural condition, changes in condition, and thus possible damage, are detected early on. In addition to the BIM model,

Bauwerkszustand werden frühzeitig Zustandsänderungen, und damit mögliche Schäden, entdeckt. Auf der zentralen Instandhaltungsplattform shBIM (Structural Health BIM) werden neben dem dreidimensionalen Bauwerksmodell sämtliche instandhaltungsrelevanten Informationen aus der Planung, dem Bau und dem Betrieb gespeichert. Dort findet zudem die komplette Kommunikation aller am Prozess der Instandhaltung Beteiligten statt.

Zusammen mit den Projektpartnern erforscht das Institut für Massivbau in enger Kooperation mit der Leibniz Universität Hannover die notwendigen Methoden für ein Grundkonzept einer digital unterstützten Instandhaltung der Eisenbahninfrastruktur in Deutschland. Über die Erfassung des Ist-Zustands hinaus werden Prognosemodelle entwickelt, die eine Aussage über den Wird-Zustand der Brücke ermöglichen.

Die Umsetzung der shBIM-Plattform hat erfolgreich stattgefunden. Es ist bereits möglich, ausgewertete Messdatenreihen in Echtzeit im shBIM-Modell darzustellen. Außerdem wurden große Teile des Datenbestands der Deutschen Bahn (DB) analysiert, wodurch bestandsdatenbasierte Prognosemodelle entwickelt werden konnten.

Zum Projektabschluss wird das Konzept für das lebensdauerübergreifende Brückenmonitoring finalisiert. Dies hilft bei der Erforschung messdatenbasierter Prognosemodelle und damit der Veredelung der Sensordaten. Die entwickelten Instandhaltungskonzepte und -methoden werden an bestehenden Brückenbauwerken validiert.



Sensorapplikation einer DMS-T-Rosette zur Querkraftmessung am Stahlträger | Sensor application of a strain gauge rosette for shear force measurement on a steel beam | Photo: Frederik Wedel, MKP GmbH

all maintenance-relevant information from planning, construction and operation is stored on the central maintenance platform shBIM (Structural Health BIM). This is also where all communication between all stakeholders in the maintenance process takes place.

Along with the project partners, the Institute of Concrete Structures is researching the necessary methods for a basic concept of digitally supported maintenance of the railroad infrastructure in Germany in close cooperation with Leibniz University Hannover. In addition to the recording of the actual condition, prognosis models are being researched that allow the prediction of the future condition of the bridge.

The implementation of the shBIM platform has been successful. It is already possible to display the evaluated measurement data series in real-time in the shBIM model. Besides, large parts of the Deutsche Bahn (DB) database have been evaluated, allowing the development of inventory-based forecast models.

At the end of the project, the concept for bridge monitoring over the entire service life will be finalized. This will help in the research of measurement data-based prognosis models and thus the refinement of the sensor data. The developed maintenance concepts and methods will be validated on existing bridge structures.

► **Titel | Title**

TP der TU Dresden im Verbundprojekt DiMaRB: Digitale Instandhaltung von Eisenbahnbrücken

SP of TU Dresden in the joint research project DiMaRB: Digital maintenance of railway bridges

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

► **Zeitraum | Period**

09/2018 – 02/2022

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiter | Contributors**

Jan-Hauke Bartels, M. Sc., Max Herbers, M. Sc.

► **Projektpartner | Project partners**

6 Partner, davon 2 aus der Forschung, 2 KMU und 2 Assoziierte



Prinzip der Objekterkennung (die verschiedenen Objektklassen sind farblich markiert) | Principle of the object detection (the different object classes are marked in colors) | Visualization: Mengyan Peng

VOM PAPIERPLAN ZUM BIM-MODELL FROM BLUEPRINTS TO A BIM MODEL

In Deutschland gibt es über 65.000 Brücken der Verkehrsinfrastruktur, für dessen Großteil keine digitalen Modelle existieren. Digitale 3D-Modelle des Bestands sind jedoch für eine prädiktive Instandhaltung eine grundlegende Voraussetzung. Darüber hinaus sind die vorhandenen, sehr heterogenen Pläne häufig historisch, unvollständig oder lückenhaft. Um dem enormen Bedarf an Sanierungen oder Ersatzneubauten gerecht zu werden, sind daher aussagekräftige und genaue Bestandsunterlagen notwendig. Abhilfe kann hier die prozessuale Entwicklung von Verfahren und Systemen im Zuge des Forschungsprojektes mdfBIM Plus schaffen.

Kernziel des Projektes ist die (teil-)automatisierte Erstellung von georeferenzierten, objektbasierten Geometriemodellen von bestehenden Brückenbauwerken. Die (teil-)auto-

There are over 65,000 bridges in the transport infrastructure in Germany and for the majority of which no digital models exist. However, 3D models of the existing structures are a fundamental requirement for predictive maintenance. In addition, the existing very heterogeneous plans are often historical, incomplete or sketchy. Therefore, the need for meaningful and precise as-built documents for the renovations or replacements of new structures is not fully met. This can be remedied by the procedural development of processes and systems in the course of the mdfBIM Plus research project.

The main objective of the project is the (partially) automated creation of georeferenced, object-based geometry models of existing bridge structures. The (partially) automated model creation is realized on the basis of linking current measurement data (photogrammetry or LiDAR re-

matisierte Modellerstellung wird auf Basis der Verknüpfung von aktuellen Messdaten (Photogrammetrie- bzw. LiDAR-Aufnahmen) mit allen vorhandenen heterogenen Bestandsdaten einer Brücke realisiert. Im Projekt erfolgt dies prototypisch für Brücken, lässt sich aber auf Strecken und weitere Bauwerke übertragen.

Durch Multi-Sensor-Aufnahmen wird eine kombinierte und homogenisierte Punktwolke für Infrastrukturbauwerke erstellt und durch KI-basierte Analysemethoden semantisiert. Die vorhandenen Bestandsunterlagen werden geclustert und teilautomatisiert analysiert, um definierte Parameter zu extrahieren. In Kombination mit der homogenisierten Punktwolke kann darauf aufbauend das digitale Bestandsmodell modelliert werden, welches im Anschluss mit allen relevanten Informationen attribuiert wird.

Wesentliche Erkenntnisse über die Machbarkeit von Teilautomatisierungen in der Prozesskette konnten bereits im Rahmen der Vorstudie mdFBIM nachgewiesen werden. Diese Prozesse werden nun vollumfänglicher betrachtet, sodass im Ergebnis eine prototypische Prozessdarstellung inklusive softwareseitiger Umsetzung steht. Dieses Ergebnis kann anschließend für weitere Bauwerke sowie Streckenabschnitte der Verkehrsinfrastruktur übernommen werden und damit einen wesentlichen Beitrag zur Digitalisierung leisten.



Laserscanning mit Drohnen | Laser scanning with drones | Picture: Jan-Iwo Jäkel

cordings) with all existing heterogeneous data of a bridge. In the project, this is done as a prototype for bridges, but can be transferred to roadways and other structures.

A combined and homogenized point cloud for infrastructure structures is created using multi-sensor recordings and semanticized using AI-based analysis methods. The existing as-built documents are clustered and analyzed in a semi-automated manner in order to extract defined parameters. In combination with the homogenized point cloud, the digital as-built model can be modelled on this basis, which is then attributed to all relevant information.

Essential findings about the feasibility of partial automation in the process chain have already been demonstrated in the mdFBIM preliminary study. These processes are now considered more comprehensively so that the result is a prototypical process representation including software implementation. This result can then be used for other structures and roadways sections of the transport infrastructure and thus make a significant contribution to digitalization.

► **Titel | Title**

TP der TU Dresden im Verbundvorhaben mdFBIMplus: Teilautomatisierte Erstellung von objektbasierten Bestandsmodellen mittels Multi-Daten-Fusion multimodaler Datenströme und vorhandener Bestandsdaten

SP of Technische Universität Dresden within the joint research projekt mdFBIMplus: Partially automated creation of object-based inventory models using multi-data fusion of multimodal data streams and existing

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) / mFUND

► **Zeitraum | Period**

12/2021 – 11/2024

► **Teilprojektleiter | Subproject manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiterin | Contributor**

Mengyan Peng, M. Sc.

► **Partner | Partners**

Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen (ICoM), RWTH Aachen University | Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH), Universität Freiburg | albert.ing GmbH, Frankfurt am Main | Galileo-IP GmbH, Altenstadt | customQuake GmbH, Hamburg



Altenbekener Vaidukt (NRW) mit einer Länge von 482 m und 24 Gewölb Bögen | Altenbekener vaidukt (NRW) with a length of 482 m and 24 vaulted arches | Photo: Georg Wagner

DIAGNOSTIK AN GEWÖLBEBRÜCKEN

DIAGNOSTICS ON ARCHED BRIDGES

Gewölbebrücken, bei denen Feuchteschäden auftreten, sich Längsrisse in der Gewölbelaibung gebildet haben oder Fugenmörtel gar auf die darunter führende Straße fällt, sind in der Regel für einen vollständigen Rückbau und Ersatz durch Neubau vorgesehen. Diese Anzeichen können erfasst werden und sind kein Grund des ersatzlosen Rückbaus. In den kommenden zehn Jahren stehen bei der Deutschen Bahn die ältesten Gewölbebauwerke der Unternehmensgeschichte, mit Laufzeiten von über 150 Jahren, zur Ertüchtigung an. Aus diesem Grund wird die zweistufige Bauwerksdiagnostik ein zunehmend wichtiger Aspekt im Rahmen einer möglichen Teilerneuerung sein.

Zweistufige Bauwerksdiagnostik bedeutet, dass in einer ersten Stufe das Bauwerk anhand von historischen Unterlagen für zukünftige Untersuchungen aufbereitet wird. Es wird eine visuelle Begutachtung durchgeführt. Dabei werden z. B. Entnahmepunkte für Bohrkern anhand des Schadensbildes in Bereichen des vollen Steinquerschnitts, mit Lager- und Stoßfugen unterschiedlichen Bohrkerndurchmessers festgelegt. Hierzu ist eine Schadenskartierung anzufertigen. Bei der Erstbegutachtung sollte die zuständige Denkmalbehörde

Arched bridges where moisture damage occurs, longitudinal cracks have formed in the vault soffit, or grout even falls onto the road below are usually scheduled for complete demolition and replacement with new construction. These signs can be registered and are not a reason for dismantling without replacement. Over the next 10 years, the oldest vault structures in the history of Deutsche Bahn, with service lives of over 150 years, are due for refurbishment., For this reason, two-stage structural diagnostics will be an increasingly important aspect in the context of a possible partial renewal.

Two-stage structural diagnostics means that in the first stage the structure is prepared for future investigations on the basis of historic documents. A visual assessment is carried out during an on-site visit. In this process, are for instance sampling points for drill cores determined on the basis of the damage pattern in areas of the full stone cross-section and with bearing and butt joints with different drill core diameters. For this purpose, damage mapping shall be prepared. It is recommended that the responsible monument authority is involved in the initial assessment so that their requirements are already communicated at this time.

eingeschaltet werden, damit deren Forderungen bereits frühzeitig kommuniziert werden. Entsprechende Kontaktformulare wurden bereits mit der Arbeitshilfe für historische Eisenbahnbrücken geschaffen.

In Stufe 2 erfolgen Probenentnahme und -bewertung. Hierbei spielen nicht nur die Ermittlung von Baustoffparameter wie Feuchtegehalt, Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit und Elastizitätsmodul für das Gestein und die Bindemittel, sondern auch im Stein-Mörtel-Verbund eine wichtige Rolle. Es sollte das äußere und innere Gefüge der Haupttragelemente und der Hinterfüllbereiche erfasst werden. Die Bohrkerne werden in transportsicheren Bohrkisten ausgelegt, dokumentiert, digitalisiert und dem Labor zur Auswertung übergeben. Sie können auch zum Teil einen unmittelbaren Aufschluss über bereits durchgeführte Ertüchtigungsmaßnahmen geben z. B. bereits durchgeführte Hohlrauminjektionen.

Eine solche zweistufige Diagnostik kann durch Bereitstellung von statistisch gesicherten Baustoffkennwerten für eine erfolgreiche Nachrechnung und zu einem Erhalt des Bestands gewölbes im Rahmen der Teilerneuerung beitragen.

Corresponding contact forms have already been created with the working aid for historic railroad bridges.

In the second stage, samples are taken and evaluated. Here, not only the determination of building material parameters such as moisture content, compressive strength, splitting tensile strength and modulus of elasticity separately for the stone and the binders, but also the stone-mortar bond play an important role. The external and internal microstructure of the main bearing elements and the backfill areas should be recorded. The extracted cores are laid out in transport-safe drilling boxes, documented, digitized and handed over to the laboratory for evaluation. They can also provide direct information on retrofitting measures that have already been carried out, e.g. cavity injections.

Such a two-stage diagnosis can contribute to a successful recalculation and to the preservation of the existing vault in the context of the partial renewal by providing statistically secured building material parameters.



Ilmviadukt – entnommener Bohrkern mit Zementinjektion | *Ilmviadukt – extracted drill core with cement injection* | Photo: Silke Scheerer

- ▶ **Titel | Title**
 Fährbahnwannen auf Gewölbebrücken
Trough constructions on arch bridges
- ▶ **Förderer | Funding**
 DB Netz AG, Frankfurt am Main
- ▶ **Zeitraum | Period**
 01/2020 – 12/2022
- ▶ **Projektleiter | Project manager**
 Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
- ▶ **Bearbeiter | Contributor**
 Conrad Pelka, M. Sc.
- ▶ **Projektpartner | Project partner**
 DB Netz AG, Frankfurt am Main



Prüfkörper in der Prüfmaschine | Specimen in the test machine | Photo: Daniel Gebauer

SCHLAGEN UND LAUSCHEN – WIE GENAU KANN DAS SEIN?

HITTING AND HEARING – HOW ACCURATE CAN IT BE?

Die Messverfahren Rückprallhammer und Ultraschalllaufzeitmessung sind zwei gängige Methoden der zerstörungsfreien Prüfung von Stahl- und Spannbetontragwerken. Der Rückprallhammer misst dabei entgegen der landläufigen Meinung lediglich das elastische Oberflächenverhalten des untersuchten Betons, indem entweder die Rückprallstrecke oder die Differenz der Aufprall- und Rückprallgeschwindigkeit bestimmt wird. Die entsprechenden Werte werden in Rückprallwerte (sogenannte R- oder Q-Werte) übersetzt. Ihnen wird ein Zusammenhang mit der Härte unterstellt, welche wiederum im Zusammenhang mit der Festigkeit steht. Die Ultraschalllaufzeit misst hingegen die Dauer, die ein Wellenpaket durch eine definierte Strecke des Betons benötigt. Dabei benötigt ein von einem Sender emittiertes Signal, abhängig von den Betoneigenschaften, eine bestimmte Zeit bis zum empfangenden Sensor des Messsystems. Über die Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit und der

The rebound hammer and ultrasonic transit time measurement are two common methods of non-destructive testing of reinforced and pre-stressed concrete structures. Contrary to popular belief, the rebound hammer measures only the elastic surface behavior of the concrete under investigation by determining either the rebound distance or the difference between the impact and rebound velocities. The corresponding values are translated into rebound values (so-called R or Q values). They are assumed to be related to hardness, which in turn is related to strength. The ultrasonic transit time, on the other hand, measures the duration required for a wave to travel a defined distance through the concrete. Depending on the concrete properties, a signal emitted by a transmitter takes a certain time to reach the receiving sensor of the measuring system. From the measured ultrasonic wave velocity and from known density, the dynamic modulus of elasticity can be calculated. Both of them should be correlated to concrete strength.

Berechnung des dynamischen Elastizitätsmoduls soll auch hier ein Zusammenhang zur Festigkeit bestehen.

Mit beiden Verfahren können qualitative Aussagen zur Homogenität des Betons getätigt werden. Eine zielsichere Bestimmung der Betondruckfestigkeit als maßgebendem Parameter für die Nachrechnung von Tragwerken ist mit zerstörungsfreien Prüfmethoden jedoch derzeit nicht möglich. Um diesem Ziel jedoch etwas näher zu kommen, haben sich sechs nationale Labore zusammengetan und in zwei Versuchsserien Betonproben untersucht.

Die erste Versuchsserie bestand aus Beton eines Bestandsbauwerkes mit den damit einhergehenden Streuungen, wohingegen die zweite Versuchsserie aus eigens für die Untersuchung hergestellten Betonwürfeln bestand. Gemeinsam wurde in unabhängigen Testreihen eine Datengrundlage geschaffen, auf deren Basis Aussagen sowohl zur Wiederhol- als auch zur Vergleichspräzision abgeleitet werden. Diese Angaben sind wichtig, um perspektivisch die Verwendung zerstörungsfreier Messverfahren zur sicheren Bestimmung von Druckfestigkeiten im Rahmen der Nachrechnung verwenden zu können. Auf diese Weise können die derzeit nötigen invasiven Eingriffe in die Bestandsstruktur reduziert werden.

With both methods, qualitative statements can be made about the homogeneity of the concrete. However, an unerring determination of the concrete compressive strength as a decisive parameter for the assessment of structures is currently not possible with non-destructive testing methods. To get closer to this goal, six national laboratories have joined forces and examined concrete specimens in two test series.

The first test series consisted of concrete from an existing structure with the associated scatter, whereas the second test series consisted of concrete cubes manufactured specifically for the investigation. Together, independent test series were used to create a data basis on which to derive statements on both repeatability and comparative precision. This information is important in order to be able to use non-destructive measuring methods in the future for the reliable determination of compressive strengths within the framework of recalculation. In this way, the currently necessary invasive interventions in the as-built structure can be reduced.



Würfelprobe mit Schlagmuster | *Cube specimen with test pattern* |
Photo: Daniel Gebauer

► **Titel | Title**

Vergleichsuntersuchungen zur Einordnung der Präzision zerstörungsfreier Prüfmethoden (Rückprallhammer und Ultraschallmessung)

Comparative studies to classify the precision of non-destructive testing methods (rebound hammer and ultrasonic measurement)

► **Förderer | Funding**

Institut für Massivbau, TU Dresden

► **Zeitraum | Period**

05/2021 – 12/2021

► **Projektleiter | Project manager**

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

► **Bearbeiter | Contributors**

Daniel Gebauer, M. Sc.
Raúl Enrique Beltrán Gutierrez, M. Sc.



Brücken am Bismarckbahnhof in Hannover | Bridges at Bismarck-Station in Hannover | Photo: Johanna Monka

STÄHLERNE BAHNBRÜCKEN DER MODERNE STEEL RAILWAY BRIDGES FROM THE MODERN AGE

Ziel des Projektes ist die interdisziplinäre Erforschung der Entwicklung des Eisenbahnbrückenbaus in der Phase der Hochmoderne (1880–1940). Das übergreifende infrastrukturelle Eisenbahnnetz hat weitgehende Auswirkungen auf die Stadt-, Siedlungs- sowie Landschaftsplanung und greift dadurch tief in die kulturhistorischen Entwicklungen der Moderne ein. Es sollen repräsentative Beispiele aus Niedersachsen und Sachsen untersucht werden. Dabei wird das einzelne Bauwerk als Element der dynamischen Entwicklung des komplexen Netzwerks „Eisenbahn“ verstanden.

Als erste Beispiele wurden stählerne Eisenbahnbrücken in Hannover untersucht, welche alle zwischen 1903 und 1912 errichtet wurden. Ende des 19. Jh. war der Verkehr so stark angestiegen, dass alle vorhandenen Gleise höher gelegt und eine neue Güterumgebungsbahn gebaut werden musste. Dabei entstand eine Vielzahl an stählernen Brückenbauwerken, die alle im damals gängigen Jugendstil entworfen wurden. Durch eine solche Netzbetrachtung wird deutlich, dass sich aufgrund einer Motivation, einem Stadtumbau, ein ganz eigener Brü-

The aim of the project is the interdisciplinary research on the development of railroad bridge construction in the period of High Modernism (1880–1940). The overarching infrastructural railway network has far-reaching effects on urban, settlement and landscape planning. It is deeply affecting the cultural-historical developments of the modern age. Representative examples from Lower Saxony and Saxony will be examined. The individual structure is understood as an element of the dynamic development of the complex “railway” network.

The first examples examined were steel railroad bridges in Hanover, all of which were built between 1903 and 1912. At the end of the 19th century, traffic had increased so much that all existing tracks had to be raised and a new freight track had to be built. This resulted in a large number of steel bridge structures, all designed in the Art Nouveau style that was popular at that time. By looking at the network in this way, it becomes clear that a very unique type of bridge was developed due to a need for urban transformation, which could only be built in large cities with similar growth at that time.

ckentyp entwickelt hat, der so nur in Großstädten mit ähnlichem Wachstum zu dieser Zeit entstehen konnte.

Zudem sind Eisenbahnbrücken sich stetig verändernde Bauwerke, da ihre Funktionalität und ihr Erhaltungswert durch Instandhaltung, Reparatur und Erneuerung aufgrund erhöhter Anforderungen gesichert werden müssen. Diese Veränderungsgeschichte der Eisenbahnbrücken ist rückblickend „Teil“ des Denkmals und vorausblickend Randbedingung für jedes denkmalpflegerische Konzept.

Ein weiterer Schwerpunkt des Projektes liegt auf der Erarbeitung eines bautechnikgeschichtlichen Koordinatensystems. Dabei werden insbesondere die bautechnischen, konstruktionsgeschichtlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen in der Zeit der Hochmoderne analysiert, sodass eine Einordnung der Beispielbauwerke in den übergeordneten Gesamtkontext möglich ist.

In diesem Forschungsprojekt werden die bestehenden Kriterien für die denkmalfachliche Beurteilung von Eisenbahnbrücken der Hochmoderne anhand der Forschungsergebnisse geprüft, weiterentwickelt und eine wissenschaftliche Methodik für deren Einordnung entworfen. Als Pilotprojekt konzipiert, zielt es auf eine bundesweite Übertragbarkeit der Ergebnisse für das gesamte Eisenbahnnetz.

Railway bridges are constantly changing structures, as their functionality and preservation value must be secured through maintenance, repair and replacement due to increased requirements. In retrospect this history of change is a “part” of the monument. Looking forward, change has to be a boundary condition for any monument preservation concept.

Another focus of the research project is the development of a coordinate system for the history of construction. The developments in building technology, construction history and society during the period of High Modernism are analysed so that the exemplary buildings can be placed in the overall context.

In this research project, the existing criteria for the heritage assessment of high-modern railway bridges will be examined and further developed based on the research results. A scientific methodology for their classification will be developed. As a pilot project, it aims at a nationwide transferability of the results for the entire railway network.



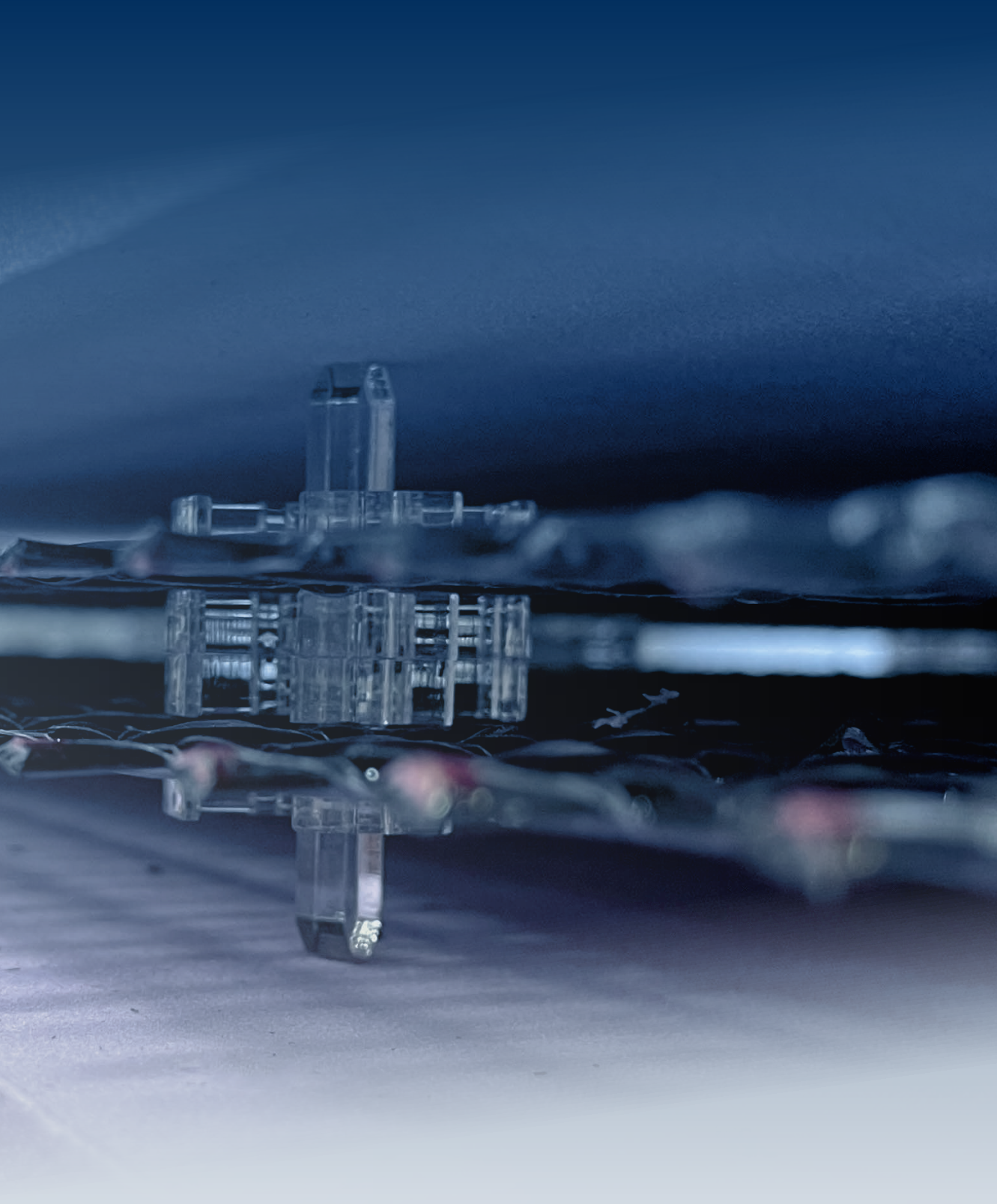
Brücke über den Altenbekener Damm, Hannover | *Bridge crossing Altenbekener Damm, Hanover* | Photo: Johanna Monka

- ▶ **Titel | Title**
Eisenbahnbrücken – Denkmale im Netz
Railway bridges – Monuments in the network
- ▶ **Förderer | Funding**
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SPP 2255
- ▶ **Zeitraum | Period**
10/2020 – 09/2023
- ▶ **Projektleiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**
Johanna Monka, M. Sc.
- ▶ **Projektpartner | Project partner**
Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege,
Hannover

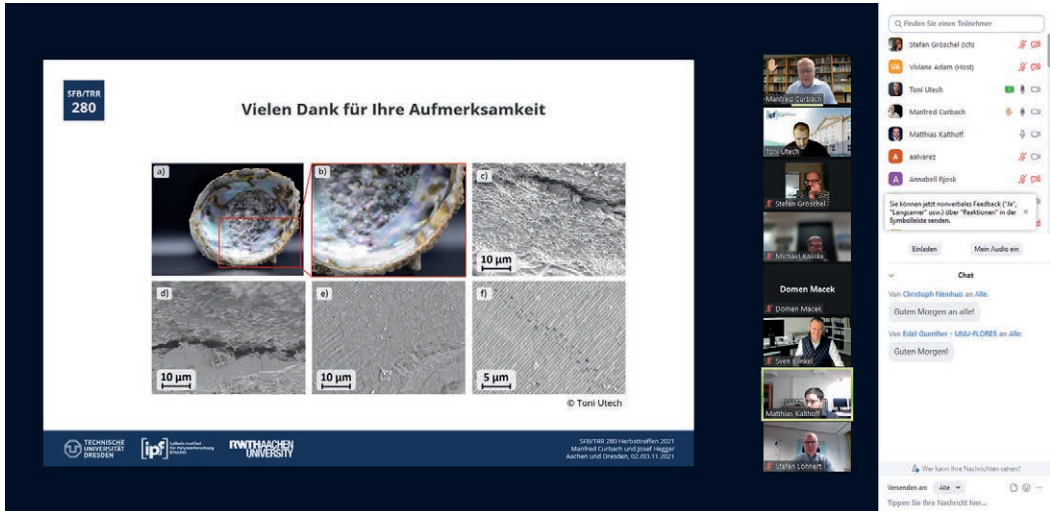


Sonderforschungsbereich/Transregio 280

Collaborative Research Center/Transregio 280



SFB TRR 280



Digitales Jahrestreffen im Herbst 2021 | Digital annual meeting fall 2021 | Screenshot: Stefan Gröschel

INTERDISZIPLINÄRE INSPIRATION IM SFB/TRR 280

INTERDISCIPLINARY INSPIRATION IN CRC/TRR280

Neue Konstruktionsprinzipien für Carbonbetonstrukturen zu entwickeln ist das zentrale Ziel des Sonderforschungsbereich/Transregios 280. Dazu müssen bestehende Denkmuster aufgebrochen und neue, andere Inspirationsquellen erschlossen werden. Als interdisziplinärer Ansatz werden im SFB/TRR drei große, grundsätzliche Themenkomplexe als Inspirationsquellen analysiert, die mit Methoden der Wissensarchitektur systematisiert und verknüpft werden: Botanik, Algebra und Kunst. Ziel ist dabei nicht nur, aus den anderen Fachdisziplinen Erkenntnisse für das Bauen und Konstruieren zu gewinnen, sondern auch durch die Zusammenarbeit Erkenntnisse für die anderen Fachdisziplinen zu erlangen.

So gibt es Parallelen zwischen pflanzlichen Strukturen und Materialkompositen wie Carbonbeton. In beiden Fällen besteht die Tragstruktur aus einem Verbund mehrerer Materialien mit verschiedenen Tragfähigkeiten, z. B. Fasern, die in eine umgebende Matrix eingebettet sind. Beim interdisziplinären Austausch

Developing new design principles for carbon concrete structures is the central goal of the Collaborative Research Centre/Transregio 280. To do this, existing thought patterns need to be broken up and new, different sources of inspiration must be tapped. As an interdisciplinary approach, the CRC/TRR analyses three large, fundamental thematic complexes as sources of inspiration, which are systematised and linked with methods of knowledge architecture: botany, algebra, and art. The aim is not only to gain knowledge for building and construction from the other disciplines but also to gain knowledge for the other disciplines through cooperation.

For example, there are parallels between plant structures and material composites such as carbon concrete. In both cases, the supporting structure consists of a composite of several materials with different load-bearing capacities, e.g. fibres embedded in a surrounding matrix. During the interdisciplinary exchange, it is found that the measurement methods are different in the respective disciplines. For example, in order to be

wird festgestellt, dass die Messmethoden in den jeweiligen Disziplinen verschieden sind. Um bspw. die gemessenen Elastizitätsmoduln einordnen zu können, müssen sie vergleichbar gemacht werden. Während im Bauingenieurwesen der Bezug der übertragenen Kraft auf verschiedene Querschnittsanteile – z. B. auf den Vollquerschnitt oder auf den reinen Betonquerschnitt ohne Bewehrungsanteile oder auf den ideellen Querschnitt – unterschieden wird, wird in der Botanik oft ausschließlich ein struktureller bzw. verschmierter E-Modul verwendet. Andererseits sind die Bestandteile Faser und Matrix in der Botanik oft nicht so klar trennbar wie im Betonbau, da im Blatt aufgrund des graduell unterschiedlichen Blattmaterials ein ideal wirkender Verbund besteht.

Bei der Analyse der botanischen Strukturen in Hinblick auf Inspiration für bauliche Carbonbetonstrukturen ist z. B. bei der Anbindung von sprossbildenden Wurzeln oder auch dem Übergang vom Blatt in den Stiel botanisches Neuland erschlossen worden. Im Idealfall können aus dem graduellen Verbund innerhalb botanischer Strukturen auch Prinzipien für den Verbund im Carbonbetonkomposit übertragen werden, um somit sowohl die Tragfähigkeiten als auch die Duktilität von Tragstrukturen gezielt steuern zu können.

able to classify the measured moduli of elasticity, they have to be made comparable. Differing cross-sections are used in civil engineering when calculating a stress. Thus, the full cross-section or the pure concrete cross-section without reinforcement or the so-called ideal cross-section are used. In contrast, a structural or smeared modulus of elasticity is used in botany. On the other hand, the components fibre and matrix are often not as clearly separable in botany as in concrete construction, as there is an ideally acting bond in the leaf due to the gradually different leaf material.

In the analysis of botanical structures with regard to inspiration for structural carbon concrete structures, new botanical territory has been opened up. For example, new insights were gained in the connection of shoot-forming roots or also the transition from the leaf to the stem. Ideally, principles for the bond in the carbon concrete composite can also be transferred from the gradual bond within botanical structures. By means of the bond between the concrete and the reinforcement, it is possible to control both the load-bearing capacity and the ductility of load-bearing structures.



Lernen von der Natur – Dreharbeiten im Botanischen Garten Dresden | *Learning from nature – filmmaking in the Botanical Garden Dresden* | Photo: Silke Scheerer

► **Titel | Title**

SFB/Transregio 280: Konstruktionsstrategien für materialminimierte Carbonbetonstrukturen – Grundlagen für eine neue Art zu bauen

CRC/Transregio 280: *Design Strategies for Material-Minimised Carbon Reinforced Concrete Structures—Principles of a New Approach to Construction*

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB/TRR 280

► **Zeitraum | Period**

07.2020 – 06.2024

► **Sprecher | Spokesperson**

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

► **Geschäftsführerin | Chief executive**

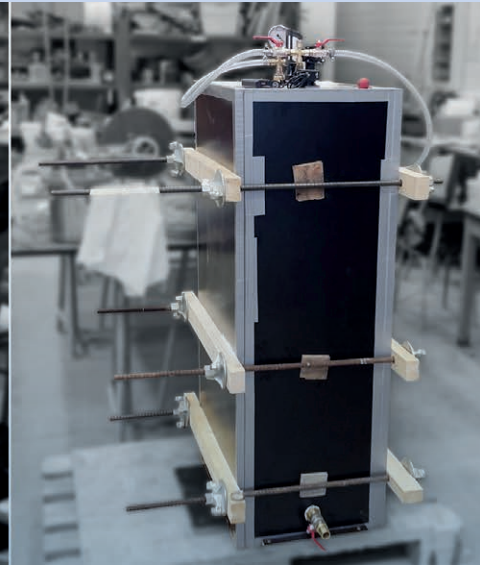
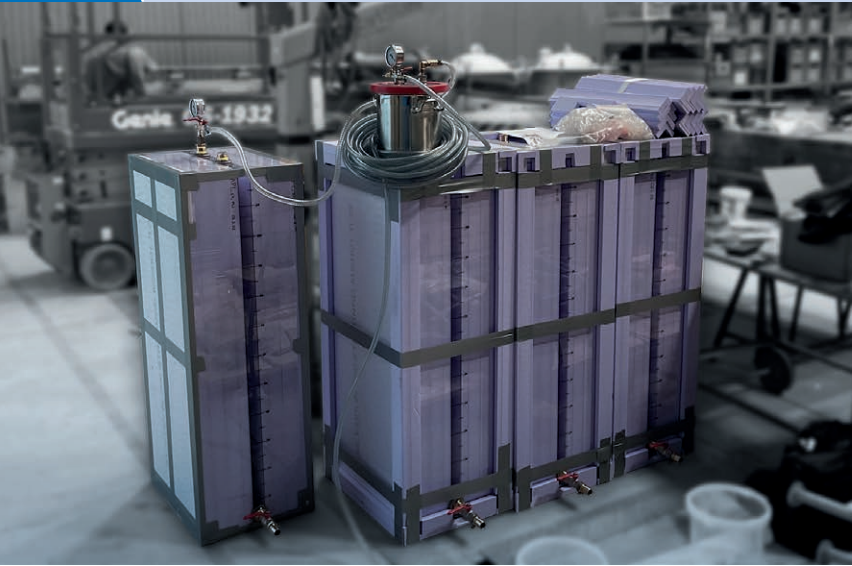
Dr.-Ing. Birgit Beckmann

► **Controlling | Controlling**

Ines Niemetz

► **Partner | Project partners**

18 Forschungsinstitute der TU Dresden und der RWTH Aachen University sowie dem Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.



Satz von vier Vakuumkammern (links) und eine zum Betonieren vorbereitete Kammer (rechts) | Set of four vacuum chambers (left) and one of the chambers prepared for concreting (right) | Photos: Lurii Vakaliuk

VORBEREITUNG DER TECHNOLOGIETESTS PREPARATION OF THE TECHNOLOGY TESTS

Im ersten Förderjahr war die Hauptaufgabe, den Softwarehintergrund für künftige Optimierungsroutinen für neuartige, leichte Carbonbetontragwerke mit schalenförmiger innerer Auflösung zu schaffen. Dabei ergaben sich neue Fragestellungen wie z. B. Einschränkungen gemäß der verfügbaren Produktionsmethoden und Anforderungen infolge des geforderten Freiheitsgradbereichs der Optimierungsverfahren.

Die resultierende innere Struktur wird überwiegend aus mehreren, sich kreuzenden Schalen und – im Optimalfall – variierenden, bio-inspirierten Formen bestehen. Die Schalendicken sind variabel, um möglichst gut dem Kraftfluss zu entsprechen. Um eine solche Flexibilität zu ermöglichen, muss eine Methode zur Realisierung der Hohlkörper entwickelt werden, die mit minimalem Aufwand anpassbar ist. Zudem ist es erforderlich, faserbasierte Bewehrungen in zugbeanspruchten Bereichen zu integrieren.

Zu Beginn wurden Randbedingungen für die Herstellung derartiger Schalen für erste Versuche festgelegt. Zum Beispiel sollen gekrümmte

In the first year of funding, the main task was to create the software background for future optimisation routines for novel, lightweight carbon concrete load-bearing structures with a shell-like intersection inside. A new set of questions raised such as limitations according to the available production methods and demands resulting from the requested range of degree of freedom for the optimisation procedures.

The light inner structure will predominantly consist of multiple intersecting shells and – optimally – have a varying bio-inspired shape. The thickness of the shell components may also vary to be as well adapted as possible to the force flow. To provide such flexibility it is required to develop a method of realisation of the hollow parts that can be customisable with minimum efforts. Additionally, it is required to integrate textile reinforcement in structural parts under tension.

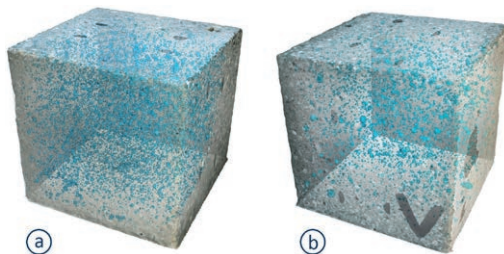
To keep the shells realizable for production for first experiments it was required to determine the boundaries such as application of only ruled surfaces. Thus, a curved formwork can be manufactured using wide range of techniques and

Oberflächen durch Regelflächen beschreibbar sein, um die breite Palette bekannter Techniken für die Schalungsherstellung nutzen zu können. Als Schalungsmaterial wurde extrudiertes Polystyrol (XPS) gewählt. Außerdem wurde ein geeignetes Trennmittel zwischen Beton und XPS-Oberfläche ausgesucht. Um den Beton der tragenden Schalenkonstruktion kontrolliert und mit hoher Oberflächenqualität gießen zu können und wegen der geplanten komplizierten, inneren Geometrie, wurde beschlossen, die bekannte Technologie der Vakuuminjektion – weit verbreitet in der Automobilindustrie – an die Bedürfnisse des Betonbaus anzupassen. Die Idee dahinter ist, das Vakuum nicht zum Pumpen des Betons zu verwenden, sondern den Beton in den kompliziertesten Bereichen durch Entfernen der eingeschlossenen Luft zum Fließen zu bringen und ihn so bis in kleinste Hohlräume zu füllen. Zur Überprüfung der Methode wurde eine spezielle Vakuumkammer entworfen und gebaut.

Anfang 2022 sind erste Tests zur Herstellung von kleinen Schalenelementen und von Verbundprobekörpern geplant. Nach deren erfolgreicher Prüfung sind Herstellung und Test einer großformatigen, bogenförmigen Schale geplant. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für komplexere Schalenkonstruktionen und deren numerische und experimentelle Analyse.

machinery. Soft extruded polystyrene (XPS) was chosen for the preparation of non-bearing parts. Furthermore, a selection of an appropriate release agent to be used in between concrete and XPS surface. In order to pour concrete with precise control of all surfaces of the load bearing shell structure and because of the envisioned dense packing of the components it was decided to adapt the well know technology of vacuum injection, widely used for automotive industry, to the needs of concrete construction. The idea behind is not to use vacuum to pump the concrete but to help the concrete flow in the most complicated areas by removing trapped air and by this let concrete fill all up to the smallest void. For verification of the method, a set of special vacuum chambers was designed and assembled.

At the beginning of 2022, initial trials are planned for the production of small shell structures and test specimens to determine the bond behaviour between textile and matrix. After the successful sample tests, it is planned to manufacture and test a large simply supported arch like shell. The results will serve as basis for more complex shell designs and their numerical and experimental analysis.



Computertomographie-Scan-Ergebnisse: (a) 3D-Modell von Lufteinschlüssen in der Probe unter Normaldruck (1,60 Vol.-% Porosität); (b) 3D-Modell von Lufteinschlüssen in der Probe unter Vakuum (0,89 Vol.-% Porosität) | *Computed tomography scan results: (a) 3D model of air voids within sample under normal pressure (1,60 vol.% porosity); (b) 3D model of air voids within the sample under vacuum (0,89 vol.% porosity) | Graphic: Iurii Vakaliuk*

► **Titel | Title**

TP C01: Auflösung kompakter Bauteile mittels sich durchdringender, lastabtragender schalenförmiger Strukturen
 SP C01: Use of pervading internal shell-type substructures to dissolve compact components

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB/TRR 280

► **Zeitraum | Period**

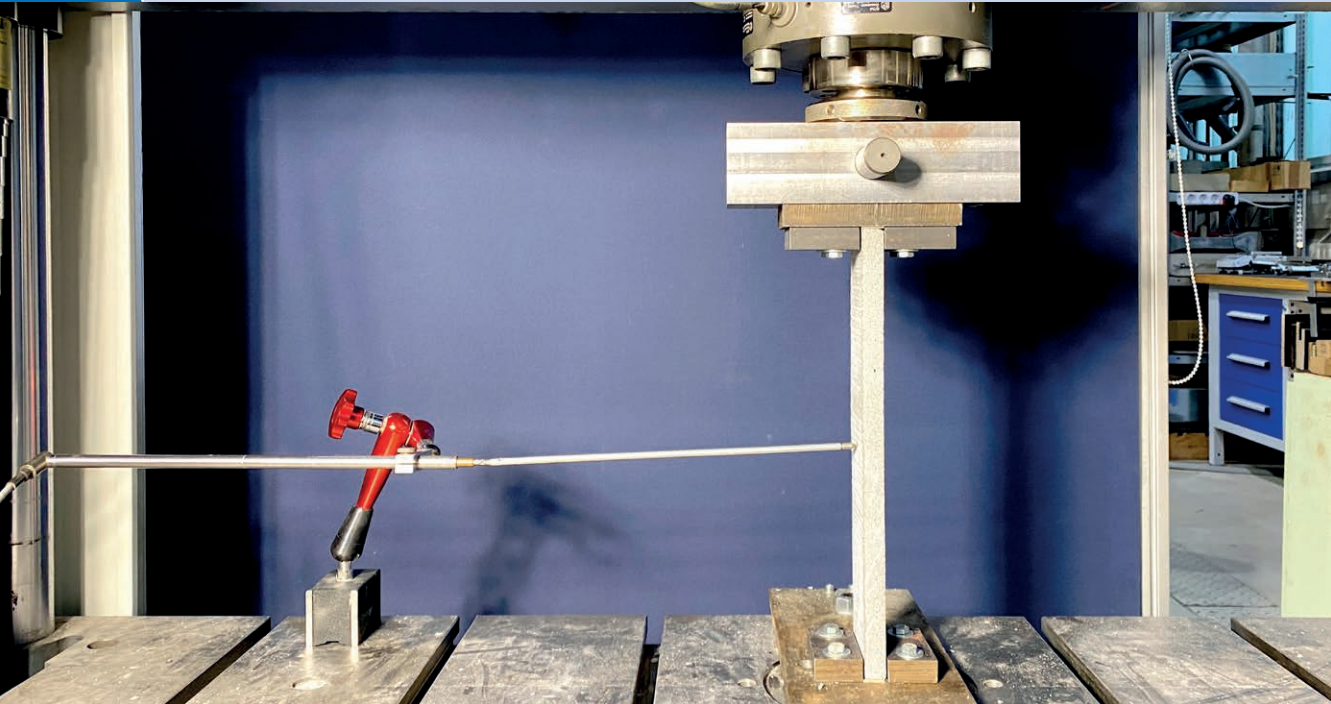
07/2020 – 06/2024

► **Leiter Teilprojekt | Subproject managers**

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

► **Bearbeiter | Contributor**

Iurii Vakaliuk, M. Sc.



Versuchsaufbau für erste Tastversuche zur Untersuchung des Stabilitätsverhaltens | *Experimental setup for initial tests to investigate stability behaviour* | Photo: Josiane Giese

IMPERFEKTIONEN UND STABILITÄT

IMPERFECTIONS AND STABILITY

Carbonbeton ist ein Verbundwerkstoff aus Hochleistungsmaterialien, der es ermöglicht, hoch tragfähige und gleichzeitig schlanke, materialeffiziente Tragwerke zu konstruieren. Mit der erheblichen Reduzierung der Bauteildicken im Vergleich zu Konstruktionen aus herkömmlichem Stahlbeton rückt das Thema Stabilität im Carbonbeton immer mehr in den Mittelpunkt. Insbesondere zu berücksichtigen ist dabei die erhöhte Empfindlichkeit filigraner Strukturen gegenüber inneren und äußeren Imperfektionen wie Geometrieabweichungen oder Inhomogenitäten im Querschnittsaufbau.

Das Forschungsvorhaben beschäftigt sich daher zunächst mit der Fragestellung, welche Parameter in welcher Größenordnung das Stabilitätsverhalten von schlanken Carbonbetonbauteilen beeinflussen. Vorgesehen sind experimentelle und numerische Untersuchungen an ebenen sowie gekrümmten Bauelementen unterschiedlicher Größen zum

Carbon concrete is a composite material made of high-performance materials that allow creation of structures that are highly load-bearing but slender and material-efficient at the same time. Due to the significant reduction in thickness of the components compared to structures made of conventional reinforced concrete, the issue of stability in carbon concrete becomes more important. Especially the increased sensitivity of filigree structures to internal and external imperfections such as geometric deviations or inhomogeneities of the cross-section must be taken into account.

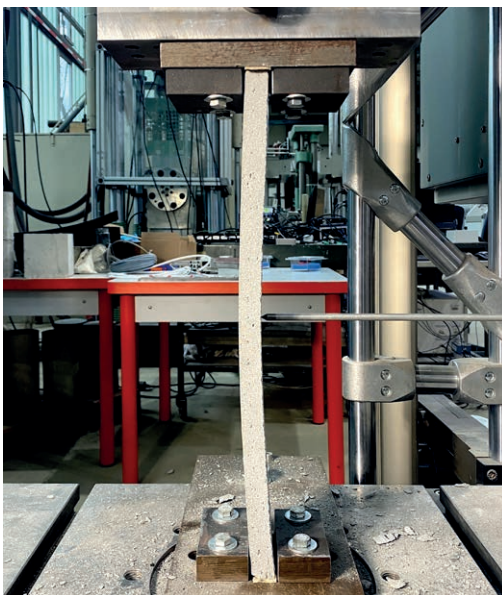
The research project is therefore initially addressing the question of which parameters influence the stability behaviour of slender carbon concrete components and to what extent. Experimental and numerical investigations of planar and curved structural elements of different sizes are planned to investigate the influence of manufacturing-related imperfections, such as material distribution (position of the reinforcement

Einfluss aus herstellungsbedingten Imperfektionen, wie Materialverteilung (Lage der Bewehrung innerhalb des Querschnitts, Kornverteilung im Beton über die Querschnittsdicke) und Geometrie (Abweichungen in der Bauteildicke, Vorkrümmungen z. B. infolge ungleichmäßigen Schwindens), aber auch Imperfektionen der Lasteinleitung. Gegenstand der aktuellen Stabilitätsuntersuchungen sind Knickversuche an kleinformatigen, schlanken Probekörpern, wobei das geometrisch und physikalisch nichtlineare Verformungsverhalten unter einaxialer Druckbeanspruchung beobachtet wird.

Das Teilprojekt C04, welches in Kooperation mit dem Institut für Massivbau der RWTH Aachen University bearbeitet wird, verfolgt das übergeordnete Ziel, praxistaugliche Konstruktionsprinzipien und Bemessungsregeln für dünnwandige Carbonbetonbauteile zu entwickeln, die die eng miteinander verknüpften Aspekte von Stabilität und Quasiduktilität in Anbetracht der Interaktion zwischen Materialverhalten und Form konsistent erfassen. Wie sich bei dem Komposit Carbonbeton, welches ausschließlich aus spröden Materialkomponenten besteht, ein duktileres Tragverhalten erreichen lässt, wird dabei am IMB in Aachen untersucht.

within the cross-section, grain distribution in the concrete over the cross-section thickness) and geometry (deviations in the component thickness, pre-curvatures, e.g. as a result of non-uniform shrinkage), but also imperfections of the load introduction. The subjects of the current stability investigations are buckling tests on small-sized, slender specimens, where the geometrically and physically non-linear deformation behaviour under uniaxial compressive loading is observed.

Subproject C04, which is being worked on in cooperation with the RWTH Aachen University, pursues the overarching objective of developing practical construction principles and design rules for thin-walled carbon concrete components that consistently capture the closely related aspects of stability and quasi-ductility, given the interaction between material behaviour and shape. The project partner in Aachen is investigating how ductile load-bearing behaviour can be achieved in the composite carbon concrete, which consists exclusively of brittle material components.



Probekörper kurz vor dem Knickversagen | *Specimen shortly before buckling failure* | Photo: Josiane Giese

► **Titel | Title**

TP C04: Stabilität und Quasiduktilität von Carbonbetonbauteilen

SP C04: Stability and quasi-ductility of carbon reinforced concrete structural members

► **Förderer | Funding**

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB/TRR 280

► **Zeitraum | Period**

07/2020 – 06/2024

► **Leiter Teilprojekt | Subproject manager**

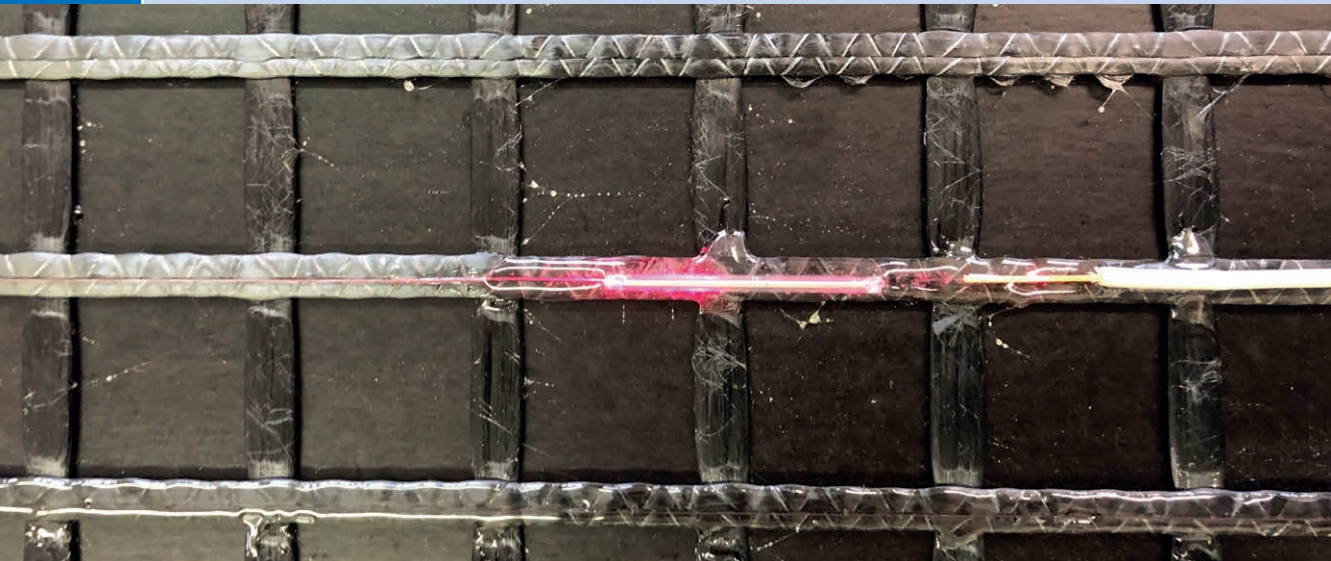
Dr.-Ing. Frank Schladitz

► **Bearbeiterin | Contributor**

Dipl.-Ing. Josiane Giese

► **Projektpartner | Project partner**

Institut für Massivbau, RWTH Aachen University



Faseroptischer Sensor für die Dehnungsmessung | Fibre optic sensor for strain measurement | Photo: Katarzyna Zdanowicz

CARBONBETON CHEMISCH VORGESPANNT

CHEMICAL PRESTRESSING OF CRC

Mithilfe der Vorspannung können Betonbauteile erheblich versteift und ihr Spannungszustand günstig beeinflusst werden. Tragwerke können dadurch einen besseren Risswiderstand erreichen und verformen sich trotz minimierten Gewichts nur sehr gering. Bei Stahlbeton ist die Vorspannung etabliert, bei Strukturen mit Carbon- und insbesondere Textilbewehrung ist der Vorspannprozess jedoch vor allem wegen der Querdruckempfindlichkeit der Fasermaterialien außerordentlich komplex.

In eigenen Vorarbeiten wurde daher die Technologie der chemischen Vorspannung (bzw. der Selbstvorspannung) von Betonelementen weiterentwickelt und als eine effiziente Methode zur Einbringung von Vorspannung in Carbonbeton wahrgenommen. Die Technologie basiert auf der Anwendung von Quellsatzmitteln im Beton, die in Zusammenarbeit mit der Dehnungsbehinderung Zugkräfte in der Bewehrung und infolgedessen Druckkräfte im Beton induzieren. Die Vorspannung gelingt somit ohne mechanische Vorrichtungen oder zusätzliche Arbeitsgänge.

Ziel des Teilprojekts ist es, Methoden für die chemische Vorspannung schalenförmiger und

With the help of pre-stressing, concrete components can be considerably stiffened and their stress state can be favourably influenced. Structures can thus achieve better crack resistance and deform very little despite minimised weight. Prestressing is well established for steel reinforced concrete, but for structures with carbon and especially textile reinforcement, the prestressing process is extremely complex, mainly because of the transverse pressure sensitivity of the fibre materials.

In our own preliminary work, the technology of chemical prestressing (or self prestressing) of concrete elements was therefore further developed and perceived as an efficient method for introducing prestress into carbon reinforced concrete (CRC). The technology is based on the application of swelling admixtures in the concrete, which, in interaction with the strain restraint, induce tensile forces in the reinforcement and consequently compressive forces in the concrete. The prestressing thus succeeds without mechanical devices or additional operations.

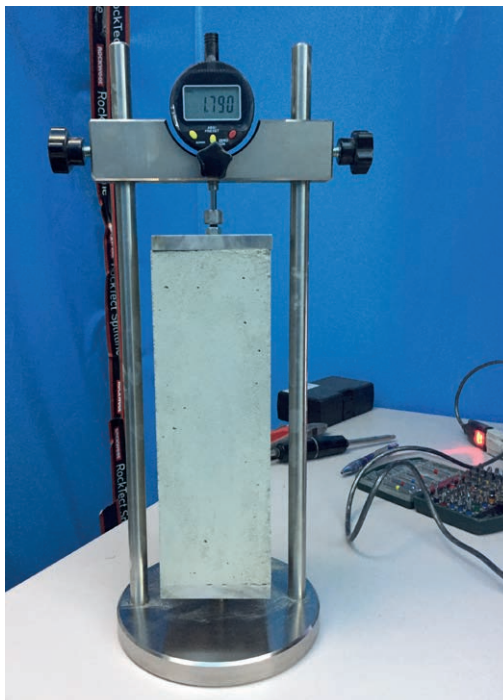
The aim of the subproject is to develop methods for the chemical prestressing of shell-shaped and folded CRC structures. Compared to the prestress-

gefalteter Carbonbetonstrukturen zu entwickeln. Im Vergleich zur Vorspannung ebener Bauteile werden bei räumlich vorgespannten Elementen zusätzliche Versteifungseffekte aktiviert, welche ein sehr günstiges Bauteilverhalten erwarten lassen. Zunächst werden geeignete Materialkombinationen entworfen und deren Potential für die chemische Vorspannung eingehend untersucht. Anschließend werden gefaltete bzw. gekrümmte, chemisch vorgespannte Elementzellen analysiert. Einzelne Probekörper werden in einem Langzeitversuch hinsichtlich der Spannkraftverluste durch Kriechen und Relaxation untersucht.

Der wesentliche Erkenntnisgewinn des Teilprojektes besteht in der Beantwortung der Frage, ob durch den chemischen Quellprozess der Betonmatrix eine form- und zeitstabile Vorspannung räumlich gekrümmter bzw. gefalteter dünnwandiger Carbonbetonelemente gelingt und ob diese Vorspannung zu einer wesentlichen Effizienzsteigerung der Bauteile führen kann.

ing of plane components, additional stiffening effects are activated in spatially prestressed elements, which lead to the expectation of very favourable component behaviour. First, suitable material combinations are designed and their potential for chemical prestressing is investigated in detail. Subsequently, folded or curved chemically prestressed element cells are analysed. Individual test specimens are examined in a long-term test with regard to the tension force losses due to creep and relaxation.

The main gain in knowledge of the project consists in answering the question of whether the chemical swelling process of the concrete matrix can lead to a dimensionally stable and time-stable prestressing of spatially curved or folded thin-walled carbon reinforced concrete elements and whether this prestressing can lead to a significant increase in the efficiency of the components.



Messaufbau für Versuche mit behinderter Ausdehnung | *Measurement setup for tests with restrained expansion* | Photo: Katarzyna Zdanowicz

- ▶ **Titel | Title**
 TP C06: Chemische Vorspannung gefalteter und schalenförmiger Carbonbetonstrukturen
 SP C06: Chemical prestressing of folded and shell-type carbon reinforced concrete structures
- ▶ **Förderer | Funding**
 Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB/TRR 280
- ▶ **Zeitraum | Period**
 08/2021 – 06/2024
- ▶ **Leiter Teilprojekt | Subproject manager**
 Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
- ▶ **Bearbeiterin | Contributor**
 Dr.-Ing. Katarzyna Zdanowicz



DAS C³-PROJEKT

THE C³ PROJECT





C³ | carbon
concrete
composite

AKTUELLES ZUM C³-PROJEKT

UPDATE ON THE C³ PROJECT

Das seit dem Jahr 2014 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt C³ – Carbon Concrete Composite trägt weiterhin erfolgreich zur anwendungstechnischen Etablierung der Carbonbetonbauweise im Markt bei. Ein Jahr vor dessen Abschluss haben die ca. 160 Partner des Projektes bereits 55 Einzel- und Verbundvorhaben abschließen können. Aktuell werden schrittweise die Arbeiten der verbliebenen sechs Einzel- und Verbundvorhaben beendet. Schwerpunkt ist dabei die Überführung der projektspezifischen Ergebnisse aus den Bereichen Material, Konstruktion, Bemessung, Produktion, Markt, Normen und Richtlinien sowie weiteren Querschnittsthemen in das Leuchtturmprojekt CUBE.

Fusion zum Industrieverband

Im März 2021 sprachen sich die Verbandsmitglieder des bisher bedeutendsten Bauforschungsprojekts zu Carbonbeton, dem Verein C³ – Carbon Concrete Composite e. V., und des Industrieverbands TUDALIT e. V. in einer Mitgliederversammlung für die Fusionierung beider Vereine zum weltweit größten Industrie- und Forschungsverband im Bereich der Carbonbetonbauweise aus. Damit gilt der C³-Verband für brancheninterne aber auch branchenverwandte Unternehmen und Forschungseinrichtungen als Hauptansprechpartner im politischen, öffentlichen, wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Sektor zur Carbonbetonbauweise.

Um die Kontinuität des erfolgreichen C³-Verbands gewährleisten zu können und gleichzeitig die Verstetigung des Bauens mit Carbonbeton weiter voranzutreiben, wurden Anträge für weiterführende Projekte gestellt, um einen Mehrwert für die C³-Mitglieder, aber auch für alle, die zukünftig nachhaltig, klimaneutral und ressourcenschonend bauen möchten, zu generieren und die Wirtschaftlichkeit und die

The C³ – Carbon Concrete Composite project, which has been funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) since 2014, continues to successfully contribute to the establishment of carbon concrete construction on the market. One year before its conclusion, the project's approximately 160 partners have already completed 55 individual and joint projects. At the moment, the remaining six individual and joint projects are being brought to an end. The focus is on the transfer of results from the areas of materials, design, dimensioning, production, market, standards and guidelines, as well as other cross-sectional topics, to the lighthouse project entitled CUBE.

Merging into an industry association

In March 2021, the association members of the most important construction research project on carbon concrete to date, C³ – Carbon Concrete Composite, and the industry association TUDALIT voted at a general meeting in favour of merging the two associations to form the world's largest industry and research association in the field of carbon concrete construction. As a result, the C³ association is considered to be the main contact point in the political, public, economic and scientific sector for carbon concrete construction for companies and research institutions both within the industry, and also all branches related to it.

In order to guarantee the successful continuity of the C³ association and at the same time promote the permanent adoption of construction with carbon concrete, applications for continuing projects have been submitted to generate added value for the C³ members, but also to build in a sustainable, climate-neutral and resource-saving manner in the future, as well as to create the economic viability and acceptance for the carbon concrete construction method. These projects are briefly outlined here.

Akzeptanz für die Carbonbetonbauweise zu schaffen. Diese Projekte werden hier in Kürze skizziert.

WIR recyceln Fasern

Das im September 2021 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bewilligte Projekt „WIR recyceln Fasern“ (WIRreFa) hat sich zum Ziel gesetzt, in der Region Elbtal Sachsen eine zirkuläre Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft für Faserverbundwerkstoffe aufzubauen. Es ist bekannt, dass mit der Substitution von Metallen durch Faserverbundwerkstoffe faserhaltige Abfälle anfallen. Parallel dazu gibt es im Freizeitbereich, in der Automobilindustrie, in der Luft- und Raumfahrt und darüber hinaus eine stetig steigende Nachfrage an Fasern aus Kohlenstoff und Glas. Nach Ende der Nutzungsphase gilt es nun, diese hochwertigen Sekundärrohstoffe als Teil eines geschlossenen Stoffkreislaufes zu etablieren.

Industriestandard Carbonbeton (ISC)

Ebenfalls eine Bewilligung erhielt das Verbundprojekt „Industriestandard Carbonbeton (ISC)“ und zwar für eine dreijährige Umsetzungsphase im Rahmen des Programms RUBIN vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. In diesem Projekt werden ab Januar 2022 die bis heute fehlenden Standards für das Bauen mit Carbonbeton gesetzt. Zusammen mit 15 Partnern soll die Carbonbetonbauweise der breiten Masse zugänglich gemacht werden.

Mobiles Einsatzteam auf Deutschlandtour

Das C³-Strategieteam verfolgt das Ziel, Carbonbeton marktfähig zu machen. Im Bereich der Instandsetzung wird Carbonbeton bereits erfolgreich und breitflächig eingesetzt und auch im Neubau verzeichnet der C³-Verband eine positive Entwicklung. Um zu zeigen, dass der Einsatz von Carbonbeton schneller, einfacher, materialschonender und effizienter erfolgen kann, wurde ein sogenanntes Mobiles Einsatzteam ins Leben gerufen. Ein Team aus Experten, die sich auf dem Weg zu interessierten Fachbetrieben machen und anhand einer Vorort-Präsentation die Vorteile von Carbon-

WE recycle fibres

The project “WIR recycle fibres” (WIRreFa), approved by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in September 2021, has set itself the goal of establishing a circular and resource economy for fibre composites in the Elbe Valley in Saxony. It is an established fact that through the substitution of metals by fibre composites, waste containing fibres is produced as a result. At the same time, there is a steadily increasing demand for carbon and glass fibres in the leisure, automotive, and aerospace industries. After having used the fibres, the task is then to establish these high-quality, secondary raw materials as part of a closed material cycle.



Stefan Minar, Leiter des Projektes „WIR recyceln Fasern“, freut sich über den bewilligten Antrag | Head of the „WE recycle fibres“ project Stefan Minar is overjoyed that the application has been approved | Photo: Sandra Kranich/C³

Industrial Standard Carbon Concrete (ISC)

The “Industrial Standard Carbon Concrete (ISC)” project was also approved for a three-year implementation phase under the RUBIN program of the German Federal Ministry of Education and Research. Starting in January 2022, this project will set the standards for building with carbon concrete that has been missing until now. Alongside 15 partners, the carbon concrete construction method is to be made accessible to the masses.

Mobile Action Team on tour in Germany

The C³ strategy team is striving to make carbon concrete marketable. Carbon concrete is already



Das mobile Einsatzteam präsentiert vor Ort Carbonbeton in Theorie und Praxis | *The mobile action team presents carbon concrete in theory and practice on-site* | Photo: Amer Suliman/C³

beton demonstrieren. Die Interessenten wurden zuvor per E-Mail aufgefordert, sich für eine solche Präsentation zu bewerben.

Die erste Tour stand ganz unter dem Motto Verstärkung und führte das C³-Team zusammen mit C³-Referenten der CARBOCON GMBH und der Pagel GmbH in den Süden Deutschlands. Von Nürnberg über München bis hinein ins Oberallgäu wurden drei Fachfirmen besucht. Wichtig war es dabei, Bauleiter:innen sowie auch das Baustellenpersonal von der Carbonbetonbauweise zu überzeugen und Begeisterung für diese Bauweise zu wecken.

being used widely and successfully for repairs, and the C³ association is also noting a positive development in new construction. In order to demonstrate that the use of carbon concrete can be faster, simpler, more material-friendly and more efficient, a mobile action team was set up. This is a team of experts who visit interested, specialist companies and demonstrate the advantages of carbon concrete by holding on-site presentations. Interested parties were previously invited by email to apply to have this presentation shown to them.

The first tour focused on reinforcement and took the C³ team, alongside C³ speakers from



Das mobile Einsatzteam präsentiert vor Ort Carbonbeton in Theorie und Praxis | *The mobile action team presents carbon concrete in theory and practice on-site* | Photo: Maximilian Krämer/C³

Zunächst wurden die Entwicklung, Vorteile der Verstärkungsart und einige Bestandteile der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung in einem einstündigen Vortrag beleuchtet. Im Anschluss wurde die Präsentation nach draußen verlegt. Dort wurde die Verstärkung live und vorort an einer Demonstratorplatte, welche in ca. 2 m Höhe auf einem Traggerüst lag, durchgeführt und die Facharbeiter:innen und Bauleiter:innen konnten die Schnelligkeit und Leichtigkeit der Verstärkung hautnah erleben.

13. Carbon- und Textilbetontage als hybride Veranstaltung

Am 29. und 30. September 2021 fanden die 13. Carbon- und Textilbetontage als hybride Veranstaltung im Deutschen Hygiene-Museum in Dresden statt. Unter besonderen Bedingungen und mit Hilfe der Sponsoren, der CARBOCON GMBH und der solidian GmbH, ist es gelungen, ein abwechslungsreiches Tagungsprogramm für alle Teilnehmer:innen, in Präsenz und online, durchzuführen. Coronabedingt lag die Anzahl der teilnehmenden Personen in Präsenz bei 116. Digital haben Interessierte aus Österreich, der Schweiz, Portugal, Großbritannien, Schweden, Brasilien, Russland, den Niederlanden und Belgien den Livestream in Deutsch und Englisch verfolgt. Mit Vorträgen, Workshops, einer Ausstellung sowie einer Exkursion zur CUBE-Baustelle boten die Carbon- und Textilbetontage ein breitgefächertes Programm.

CARBOCON GMBH and Pagel GmbH, to the south of Germany. From Nuremberg to Munich and Oberallgäu, the team visited three specialized companies. It was important to convince site managers and site personnel of the effectiveness of the carbon concrete construction method and to pique their interest.

First of all, the development, advantages of the reinforcement type and some components of the general construction approval were highlighted in an hour-long presentation. After this, the presentation continued outside. In this setting, the reinforcement was demonstrated live and on-site on a special demonstrator slab, which was suspended 2 m above ground on supporting scaffolding. The employees and site managers were able to experience the speed and ease of the reinforcement first-hand.

13th Carbon and textile concrete days as hybrid event

On September 29 and 30, 2021, the 13th Carbon and Textile Concrete Days (conducted as a hybrid event) took place at the Deutsches Hygiene-Museum in Dresden. Under special conditions and, with the help of the sponsors CARBOCON GMBH and solidian GmbH, it was possible to deliver a multifaceted conference program, both on-site and online. Due to the pandemic, the number of on-site participants was limited to 116. However, a number of participants from Austria, Switzerland, Portugal, GB, Sweden, Brazil, Russia, the Netherlands and Belgium were avidly following online. With lectures, workshops, an exhibition and an excursion to the CUBE construction site, the Carbon and textile concrete days offered an attractively varied program.

► **Titel | Title**

C³ – Carbon Concrete Composite
C³ – Carbon Concrete Composite

► **Förderer | Funding**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) / C³

► **Zeitraum | Period**

C³-Projekt: 09/2013 – 09/2022

► **Leiter | Project manager**

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

► **Bearbeiter:innen | Contributors**

Dr.-Ing. Frank Schladitz, Chris Gärtner M.A.,
Dipl.-Ing. (FH) Maximilian Krämer, Anja Giesder,
Sandra Kranich M.A., Dr.-Ing. Stefan Minar,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH), M.A. Matthias Tietze,
Dipl.-Ing. Sandra Zagermann

► **Partner | Project partners**

Über 150 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft |
More than 150 partners from business and science

LEHRE

TEACHING





LEHRVERANSTALTUNGEN DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

LECTURES AT THE INSTITUTE OF CONCRETE STRUCTURES



Auftakt zum Baumhausprojekt | Beginning of the tree house project | Photo: Kerstin Speck

Die Lehre im Studienjahr 2020/2021 war nach wie vor von der Corona-Pandemie geprägt. Was im Sommersemester noch improvisiert werden musste, wurde zur Routine: Online-Vorlesungen, Aufzeichnungen von Lehrvideos, Konsultationen und Diplomverteidigungen per Video-Konferenz. Was die Studierenden im Fernstudium freute – noch nie sind so umfangreiche Lehrmaterialien in so kurzer Zeit bereitgestellt worden – wurde für die Studierenden im Direktstudium und auch die Lehrenden zunehmend zu einer Herausforderung. Das studentische Leben abseits der Lehrveranstaltungen war nahezu komplett zum Erliegen gekommen, die Zusammenarbeit der Studierenden miteinander war extrem erschwert und auch die Interaktion mit uns Lehrenden haben beide Seiten sehr vermisst. Viel direkter als jede Evaluation zeigt der Blick in faszinierte und wissbegierige Gesichter oder eine interessierte Zwischenfrage, ob es uns gelungen ist,

During the academic year 2020/2021, teaching continued to be shaped by the Corona pandemic. What still had to be improvised in the summer semester became routine: online lectures, recordings of teaching videos, consultations and diploma defences via video conference. What pleased the students in the distance learning programme – never before had such extensive teaching materials been made available in such a short time – increasingly became a challenge for the students in the direct studies programme and also for the lecturers. Student life away from the courses had almost come to a complete standstill, cooperation between students was extremely difficult and the interaction with us lecturers was missed very much by both sides. More than any direct evaluation, the look on fascinated and inquisitive faces or an intrigued question shows whether we succeeded in inspiring the students with our topics and awakened their understanding of our innovative area of expertise.



Screenshot während des Vortrags von Andreas Keil von schlaich bergemann partner | Screenshot during the presentation by Andreas Keil of schlaich bergemann partner | Photo: Max Herbers

die Studierenden für unsere Themen zu begeistern und das Verständnis für unser innovatives Fachgebiet zu wecken.

Im Rahmen der Möglichkeiten haben wir deshalb versucht, den persönlichen Kontakt zu den Studierenden aufrechtzuerhalten. Besonders direkte Verbindungen pflegen wir zu den studentischen Hilfskräften am Institut, die zu meist in die Forschungsarbeit eingebunden sind. Diese Tätigkeit erfordert sowohl fundiertes Wissen als auch Phantasie und Kreativität – ein ideales Aufgabenfeld für begabte und motivierte Studenten und zukünftige Ingenieure.

Als kleine Abwechslung zum Homeschooling wurde vom Institut für Massivbau eine dreiteilige Vortragsreihe zu ausgewählten Themen des Brückenbaus initiiert. Zur großen Freude aller Beteiligten konnten mit Andreas Keil, Nick Lindschulte und Gregor Schacht ausgewiesene Experten aus der Praxis für die digitalen Veranstaltungen gewonnen werden. Anhand der kostenfreien Vorträge können die Studierenden einen Einblick über die spannenden und facettenreichen Aufgabenfelder des Brückenbaus gewinnen.

Leider musste auch 2021 die mehrtägige Brückenbauexkursion ausfallen. Schon deshalb zog es uns zusammen mit den Studierenden öfter hinaus ins Freie. So wurde die Brückenbauvorlesung mit einer Fahrradexkursion zu den Dresdener Elbbrücken eröffnet. Der Zeichenkurs im Rahmen des Moduls „Entwurf von Massivbau-

Therefore, we have tried to maintain personal contact with the students, as far as possible. We maintained particularly direct links with the student assistants at the institute, who are usually involved in research work. This activity requires sound knowledge as well as imagination and creativity – an ideal field of activity for talented and motivated students and future engineers.

As a small change from homeschooling, the Institute of Concrete Structures initiated a three-part lecture series on selected topics in bridge construction. To the great delight of all involved, proven experts from the industry, Andreas Keil, Nick Lindschulte and Gregor Schacht, could be won for the digital events. The free lectures gave students an insight into the exciting and multifaceted fields of bridge construction.

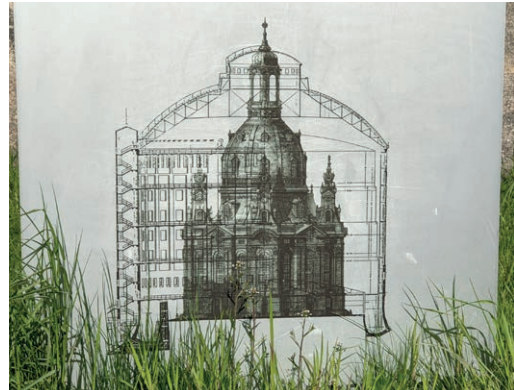
Unfortunately, the multi-day field trip to interesting bridge sites had to be cancelled in 2021 as well. For this reason alone, we were often drawn outdoors together with the students. Thus, the bridge construction lecture series was opened with a bicycle excursion to the Elbe bridges in Dresden. The drawing course as part of the module “Design of Concrete Structures” took place without further ado on the banks of the Elbe near the Waldschlösschen Bridge. The Erlwein gas tank with its more than 60 m height and diameter could also be visited. A design for its conversion into a musical theatre was to be developed by the students.

The student project “Tree House” required an unfamiliar approach for concrete-structures

werken“ fand kurzerhand am Elbufer in Sichtweite der Waldschlösschenbrücke statt. Auch der Erlwein-Gasbehälter, für den ein Entwurf zur Umnutzung als Musical-Theater ausgearbeitet werden sollte, konnte mit seinen über 60 m Höhe und Durchmesser besichtigt werden.

Für Massivbauer ungewohnte Wege wurden mit dem Studentenprojekt „Baumhaus“ eingeschlagen. Das Angebot einer Wanderherberge in der Sächsischen Schweiz soll damit um einen besonderen Ort für ein außergewöhnliches Naturerlebnis erweitert werden. Die Herausforderungen des Bauens in und mit der Natur begannen schon bei der Vermessung der Bäume – die je nach Entwurf Fundament, Tragwerk oder auch Witterungsschutz dienen werden. Erste Entwürfe reichen von spartanischen Schlafkojen bis zu luxuriösen (Liebes) Nestern.

Ähnlich ungewöhnliche Gründungsbedingungen hielt der studentische Ideenwettbewerb „Brücke über den See bzw. Seebrücke an der Magdeborner Halbinsel“ parat. Die Gemeinde Großpösna wünschte sich eine rund 600 m lange Fuß- und Radwegbrücke über den Störmthaler See. Da dieser bis zu 55 m tief ist, sind Gründungen im Boden nur im Uferbereich möglich. Mit zwei Entwürfen, die ihre Auflager zum Teil auf Pontons fanden, konnten die Studierenden unseres Instituts die Jury überzeugen und sich die ersten beiden Plätze im Wettbewerb sichern.



Der Erlwein-Gasbehälter im Vergleich zur Dresdner Frauenkirche | The Erlwein Gas Container compared to the Dresden Frauenkirche | Photo: Kerstin Speck

students. The aim was to create a special place that would offer an extraordinary experience of nature to the visitors of a hikers' hostel in Saxon Switzerland. The challenges of building in and with nature began with the measurement of the trees – which, depending on the design, will serve as foundations, supporting structures or even weather protection. Initial designs range from spartan bunks to luxurious (love) nests.

Unusual foundation conditions had to be dealt with in the student ideas competition "Bridge over the Lake or Lake Bridge on the Magdeborn Island". The village of Großpösna wanted a 600 m long foot and cycle bridge over Lake Störmthal. Since the lake is up to 55 m deep,



Die Preisträger präsentieren ihre Entwürfe für eine Brücke über den Störmthaler See | The award winners present their concepts for a bridge over Lake Störmthal | Photo: Kerstin Speck



Zeichenkurs an der Waldschlösschenbrücke | *Drawing course at the Waldschlösschen Bridge* | Photo: Stefan Gröschel

Wie aber setzt man die Lehre fort, wenn man sich wieder von Angesicht zu Angesicht im Hörsaal gegenüber sitzt? Dann kann man mit den bereitgestellten Lehrvideos das Selbststudium effektiv vorwegnehmen und die Zeit in den Vorlesungen und Seminaren für Diskussionen, Rückfragen und kreative Anwendungen des Wissens nutzen. Dieses Konzept des „Flipped Classroom“ stieß auch bei den Studierenden auf viel Begeisterung und vertieft durch die eigenständige Anwendung des Vorlesungsstoffes diesen sehr gut. Zunächst wurde das Konzept auf das fakultative Modul „Verstärken von Massivbauwerken“ angewandt und soll in Zukunft zumindest in Teilen auf andere Module erweitert werden.

Dabei betreuen unsere Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen überwiegend Lehrveranstaltungen der Diplom- und Diplomaufbaustudiengänge Bauingenieurwesen (BIW). Der Diplomstudiengang beruht auf einem Dreistufigen Curriculum aus Grund-, Grundfach- und Vertiefungsstudium und wird nach zehn Semestern Regelstudienzeit mit dem Diplom abgeschlossen. Ein Bachelorabschluss ist nur im Rahmen des Fernstudiums möglich. Das Diplomaufbaustudium beginnt im siebten Semester des grundständigen Studiengangs und ist somit vom Umfang her mit Masterstudiengängen anderer Universitäten vergleichbar, wird aber ebenfalls mit dem Diplom abgeschlossen. Das Studium kann sowohl im Direkt- als auch im Fernstudium absolviert werden. Beide Formen sind zudem als Vollzeit- oder Teil-

foundations in the ground are only possible in the shore area. With two designs, which were partly supported by pontoons, the students from our institute were able to convince the jury and win the first two places in the competition.

How do you carry on teaching when you are sitting face to face in the lecture rooms again? Then you can effectively self-study with the lecture videos provided and use the time in the lectures and seminars for discussions, queries and creative applications of the knowledge. This concept of the “Flipped Classroom” also met with a lot of enthusiasm among the students and deepens the lecture content very well through their independent application. Initially, the concept was applied to the facultative module “Strengthening of Solid Structures” and is to be extended to other modules in the future, at least in parts.

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-stage curriculum consisting of a foundation, consolidation and advanced studies. After ten semesters, the standard period of study is completed, a diploma and degree are granted to the student. A bachelor’s degree is only offered within the framework of the distance learning programme.

The postgraduate program starts in the 7th semester and it is equivalent to the master’s programs of other universities. It is special in that students also

zeitstudium möglich. Viele Abschlussarbeiten werden gemeinsam mit einem Praxispartner betreut. Somit fließen die Anforderungen der Bauindustrie an Hochschulabsolventen auch hier in die Lehrkonzeption ein. Unseren Studierenden können wir damit einen optimalen Start ins Berufsleben ermöglichen.

Darüber hinaus wird ein englischsprachiger Masterstudiengang „Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies“ (kurz ACCESS) angeboten. In vier Semestern Regelstudienzeit erlangen im Schnitt 50 Studierende aus der ganzen Welt ihren Masterabschluss.

Außerdem werden Lehrveranstaltungen für den Bachelorstudiengang Hydrowissenschaften (BHYWI) sowie für den Diplomstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (D-WW-ING) angeboten.

graduate with a diploma. The study programme can be completed either by direct or distance learning. Both forms are also possible as full-time or part-time studies. Many theses are supervised jointly with a practice partner. Thus, the requirements of the construction industry for university graduates are also incorporated into the teaching concept here, allowing for an optimal start of a student's career.

In addition, we offer a master's program for English-speaking students, called Advanced Computational and Civil Engineering Structural Studies (ACCESS). After a standard study period of 4 semesters, around 50 students from all over the world graduate with a master's degree.

We also offer lectures for the bachelor's program in hydrosience (BHYWI) as well as for the diploma program in industrial engineering (D-WW-ING).



Nachfolgend geben wir einen kurzen Einblick in die Lehrveranstaltungen des Studienjahres 2020/2021. 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 2020/2021. 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.

LEHRANGEBOTE DES INSTITUTS FÜR MASSIVBAU

► Stahlbetonbau (BIW 2-05)

Dr.-Ing. Kerstin Speck, Jan-Hauke Bartels, M. Sc., Dipl.-Ing. Clara Schramm, 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

Inhalte 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. Steffen Marx, Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dr.-Ing. Harald Michler, Dipl.-Ing. Peter Schöps, Dipl.-Ing. Josiane Giese, Dipl.-Ing. Enrico Baumgärtel

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

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



Das Auge von Mühlberg – Beispiel für einen gelungenen Brückenentwurf | *The Eye of Mühlberg – Example of a successful bridge design* |
Photo: Kerstin Speck

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

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Johanna Monka, M. Sc., Max Herbers, M. Sc., Dr.-Ing. Marcus Hering, Chongjie Kang, M. Sc., Dr.-Ing. Harald Michler, Conrad Pelka, M. Sc., Dr.-Ing. Silke Scheerer, Dr.-Ing. Kerstin Speck

- ▷ **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, Hochhäuser, Türme unter Berücksichtigung geeigneter Konstruktionsweisen und Bautechnologien sowie deren funktionaler und gestalterischer Wirkung.

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

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dr.-Ing. Torsten Hampel, Dipl.-Ing. Peter Betz, Dr.-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

Inhalte 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. Steffen Marx, Max Herbers, M. Sc., Chongjie Kang, M. Sc.

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

Inhalte 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. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Enrico Baumgärtel

- ▷ **8. Semester:** 1 SWS Vorlesung

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



Eine wirklich CO₂-neutrale Brücke – ist das auch mit modernen Baustoffen realisierbar? | A really CO₂-neutral bridge – is that also feasible with modern building materials? | Photo: Kerstin Speck

► Bauökologie – Bautechnik (BIW 4-56)

Dr.-Ing. Kerstin Speck

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

Inhalte des Moduls sind die Besonderheiten bei der nachhaltigen Bauwerksplanung hinsichtlich des Entwurfs, der Produktion, des Transportes 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.

► Grundlagen des Stahlbetonbaus (BHYWI68, MA/D-WW-ING-0113b)

Dr.-Ing. Silke Scheerer

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

Die Studierenden lernen die speziellen Eigenschaften von Baustoffen, das Zusammenwirken der beiden Baustoffe Stahl und Beton im Verbund sowie die Grundlagen der Schnittgrößenermittlung, Bemessung und konstruktiven Durchbildung der wichtigsten Bauteile im Massivbau kennen. Sie sind dadurch in der Lage einfache Stahlbetonbauteile selbständig zu konstruieren und zu bemessen.

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

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Iurii Vakaliuk, M. Sc.

▷ **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, Iurii Vakaliuk, M. Sc.

▷ **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, multiaxial constitutive laws for concrete, finite elements for structural members made of RC, in particular for shear walls and slabs.

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

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

▷ **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 students' 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.



Photogrammetrische Aufnahme der Ausstellungsbrücke mittels Drohnenbefliegung im Rahmen einer Projektarbeit | *Photogrammetric image of the exhibition bridge by drone flight as part of a project work* | Photo: Erkki Tobias Bartczak

PROJEKTARBEITEN | PROJECT WORKS

Studienjahr 2020/2021 | *Academic year 2020/2021*

Im neunten Semester des Diplomstudiengangs bzw. im dritten Semester des Diplom-Aufbaustudiengangs Bauingenieurwesen wird von den Studenten eine Projektarbeit angefertigt. Durch die Arbeit an einem Projekt zu aktuellen fachspezifischen Themen und Fragestellungen der gewählten Vertiefung soll die Fähigkeit zur methodischen wissenschaftlichen Arbeitsweise nachgewiesen werden. Hierbei sollen die Studenten zeigen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können. Die während ihres Studiums erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten sind möglichst selbständig, einzeln oder im Team auf eine konkrete Aufgabenstellung anzuwenden. Die Arbeitsschritte sind 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 dritten Semester ein anwendungsbezogenes Wissenschaftsprojekt – kurz Project Work.

Ausgewählte Arbeiten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

In the 3rd semester of the International 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 implement 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.

Charlie Bergmann

Entwicklung von Hilfsmitteln zur statischen Vordimensionierung des Hauptträgers eines Vorschubgerüsts der Bauart röro für den Rückbau von vorgespannten Ortbeton-Talbrücken (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Melchior Deutscher, Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
 Betriebliche Betreuer: Dipl.-Ing. Elisabeth Plenz, Dipl.-Ing. Sebastian Diesel (Ingenieurgesellschaft Bonk + Herrmann mbH), Matthias Lang, M. Sc. (thyssenkrupp Infrastructure GmbH)

In den kommenden Jahren müssen in der Bundesrepublik Deutschland zahlreiche Ortbeton-Talbrücken zurückgebaut werden. Allein auf der A 45 sind bis 2033 38 Talbrücken betroffen. Ein geländeunabhängiges Verfahren zum Abriss ist der Rückbau mithilfe eines untenliegenden Vorschubgerüsts.

In der Projektarbeit wurden geeignete Bemessungshilfen für das untenliegende Vorschubgerüst zum Rückbau großer Talbrücken sowie geeignete Ertüchtigungsmaßnahmen des Hauptträgers zur Erhöhung dessen Tragfähigkeit entwickelt. Die Bemessungshilfen sind für die bisher zeitaufwendige und rechenintensive Kalkulation von Rückbauprojekten in der Angebotsphase erforderlich.

Auf Basis eines entwickelten Programms zur Berechnung der Schnittgrößen im Hauptträger war es möglich, eine Bemessungstafel und ein Nomogramm zu erstellen, aus denen sich der geeignete Hauptträger in der Kalkulationsphase direkt ablesen lässt. Außerdem konnten zwei grundlegend unterschiedliche Ertüchtigungsvarianten für den Hauptträger entworfen werden. Zum einen wurde auf Basis der Erfahrungen in der Schnittgrößen- und Spannungsberechnung ein neues Hauptträgersegment zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegen das einwirkende Moment entwickelt. Zum anderen wurde für die Verringerung des Feldmoments das Vorschubgerüst in Längsrichtung einfach unterspannt. Für jede Variante konnte die konstruktive Durchführung plausibel dargestellt und der Nutzen durch eine Tragfähigkeitsuntersuchung aufgezeigt werden.



Einsatz der Vorschubrüstung von RöRo | Foto: thyssenkrupp Infrastructure GmbH

Abschließend wurde anhand einer Machbarkeitsstudie zum Rückbau der Talbrücke Gerlingen die Anwendung der entwickelten Hilfsmittel zur Vordimensionierung des Hauptträgers aufgezeigt.

Erkki Tobias Bartczak

3D-Visualisierung von Brückenbauwerken mittels Drohnenbefliegung (Projektarbeit)

Betreuer: Jan-Hauke Bartels, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Die vorgelegte Arbeit untersucht die Durchführbarkeit einer drohnengestützten Nahbereichsphotogrammetrie, um As-Built-Modelle von Bestandsbrücken zu erstellen. Neben der technischen Umsetzbarkeit und erreichbaren Genauigkeit der entstehenden Modelle beinhaltet die Fragestellung auch wirtschaftliche und rechtliche Aspekte.

In einer Machbarkeitsstudie wurde eine Ausstellungsbrücke photogrammetrisch aufgenommen. Mittels Referenzmessungen und Soll-Ist-Vergleichen wurden zwölf Einflussparameter auf die Gesamtgenauigkeit der Modelle identifiziert. Dabei wurden Genauigkeiten zwischen 17,23 bis 27,6 Millimeter erreicht.

Das erzeugte Oberflächenmodell beinhaltet fotorealistische Texturen, wodurch teilweise Schäden erkannt und georeferenziert werden können. Außerdem wurden aus diesem ein CAD- und ein BIM-Modell für Planungs- und Verwaltungsaufgaben abgeleitet.



As-built-Modell der Ausstellungsbrücke | Grafik: Erkki Tobias Bartzak

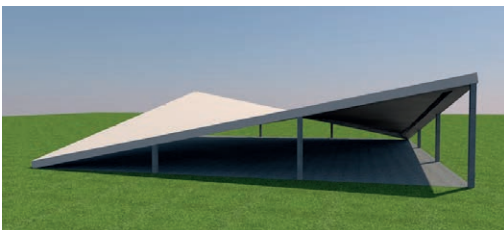
Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie weisen das Aufnahmeverfahren durch die erreichte Genauigkeit, die geringen Kosten der Durchführung und den geringen Zeitaufwand vor Ort als eine vielversprechende Methode aus, um As-Built-Modelle von Bestandsbrücken effizient erzeugen zu können. Allerdings sind für das Verfahren leistungsfähige Computer notwendig und es fehlt bislang ein Standardszenario innerhalb der europäischen Drohnenverordnung, um den Aufwand zur Erlangung einer Starterlaubnis zu reduzieren zu können.

Daniela Herzberg

Entwurf, Berechnung und Bemessung eines hyperbolischen Paraboloiden aus Beton als Hallenüberdachung (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Karoline Holz,
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

In der Projektarbeit wurde eine Hyparschale mit Grundrissabmessungen von 30 m x 30 m und einer Höhe von 6 m entworfen und be-



Entwurf einer Hyparschale | Grafik: Daniela Herzberg

messen. Nach einer kurzen Vorstellung bereits ausgeführter Hyparschalen wurden bekannte Berechnungsansätze erläutert. Der Kräftezustand von Schalen wird vorrangig über Normalkräfte (Membrankräfte) wiedergegeben. Bei Unstetigkeiten in der Schale werden zusätzlich Momente und Querkräfte über Biegung berücksichtigt.

Anschließend folgte der Entwurf einer Hyparschale in Stahlbeton als Referenzfall. Zunächst wurden die Membrankräfte manuell berechnet und die Schale und die Randträger vorbe-messen. Zusätzlich wurde das Schalenbeulen untersucht. Zudem wurden Randabstützungen abgeschätzt und Überlegungen zum Abtrag der Auflagerkräfte geführt. Nachfolgend wurde dieser Entwurf in einem FEM-Modell dargestellt und numerisch berechnet. Es ergaben sich gegenüber der manuellen Abschätzung erhöhte Schnittgrößen, so dass der gewählte Entwurf entsprechend optimiert wurde.

Schlussendlich wurde eine Variante in Carbonbeton untersucht. Die Schale kann hier filigraner ausgeführt werden, da kein Korrosionsschutz für die Bewehrung erforderlich ist. Es erfolgte eine erneute Berechnung und Bemessung der Schale, woraus sich eine deutlich geringere erforderliche Bewehrungsfläche ergab.

Elisabeth Lowke

Komplexe Betrachtung der Konzepte für Rissbreitenbegrenzung, Chloridschutz und Abdichtung (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Enrico Baumgärtel,
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
Betriebliche Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Höck,
Dipl.-Ing. Benedikt Funk (S&P Sahlmann Planungsgesellschaft für Bauwesen mbH Dresden)

Tiefgaragen sind aufgrund ihrer unterirdischen Lage und der hohen Wasser- und Chloridbeaufschlagung in vielerlei Hinsicht exponiert. Um tragende Bauteile zu schützen und eine dauerhafte Konstruktion zu gewährleisten, gilt es zunächst, einen ausreichenden Bauteilwiderstand gegenüber Feuchte und korrosionsfördernden Stoffen herzustellen. Zum einen kann dies über eine ausreichend dicke und dichte Barriere geschehen. Zum anderen



Tiefgarage mit Oberflächenschutzsystem | Foto: Kerstin Speck

sollte aber auch ein Eindringen dieser Stoffe über Risse verhindert werden. Um alle Möglichkeiten und Erfordernisse zu berücksichtigen, ist daher eine komplexe Betrachtung der Konzepte für Rissbreitenbegrenzung, Chloridschutz und Abdichtung notwendig. Eine optimale Lösung kann dabei nur mithilfe einer umfassenden Analyse von Randbedingungen wie der Wasserbeanspruchung, der vorgesehenen Nutzungsarten und -frequenzen sowie der Bauteilgeometrien in Abstimmung mit den zur Verfügung stehenden Materialien und ihren Anwendungsgrenzen erfolgen. In dieser Arbeit werden die Schnittflächen relevanter Regelwerke herausgefiltert, sich daraus ergebende Varianten und Entscheidungsmöglichkeiten dargestellt und schließlich auf ein konkretes Beispiel angewandt.

Christian Wetz

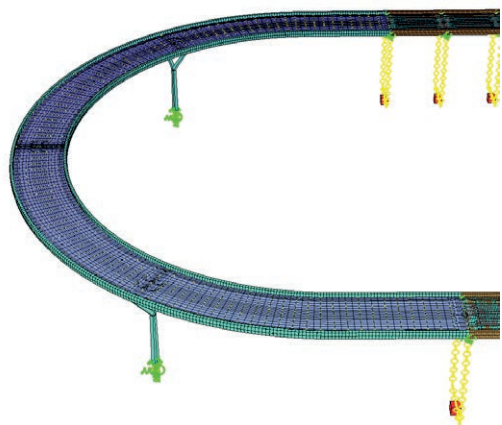
Entwurf und Variantenuntersuchung einer Fußgängerbrücke mit Basaltbewehrung (Projektarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
 Betriebliche Betreuer: Dipl.-Ing. Christian Anistoroaiei, Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Gabler (Leonhardt, Andrä und Partner, Niederlassung Dresden)

Um einen Radweg über eine vielbefahrene Bahntrasse zu überführen, soll eine Brücke mit U-förmigen Grundriss errichtet werden. Durch die Verwendung von nichtmetallischer Bewehrung aus Basaltfasern wird ein möglichst filigraner Überbau angestrebt. Da es sich dabei um einen neuartigen Baustoff han-

delt, werden zunächst die Eigenschaften der Basaltfaser mit denen von Bewehrungsstahl und Carbonfasern verglichen. Dies geschieht unter anderem durch ein anschauliches Bemessungsbeispiel, in dem gleichzeitig das Bemessungskonzept vorgestellt wird. So konnte gezeigt werden, dass die Basaltfaser trotz eines geringeren E-Moduls und einer geringeren Zugfestigkeit eine Alternative zur Carbonfaser darstellt.

Im zweiten Teil wird die Entwurfsaufgabe bearbeitet. Die im Grundriss geraden Bereiche der Brücke erhalten dabei einen schlanken Überbau aus Basaltbeton mit Hängern im Abstand von 6 m. Für den gekrümmten Grundrissenteil wurde eine Variantenstudie durchgeführt in der eine reine Basaltbetonlösung, eine Verbundlösung sowie ein Kreisringträger miteinander verglichen wurden. Dabei zeigte



Modellierung der Variante mit zwei seitlichen Stahlhohlkästen, die durch eine Basaltbetonverbundplatte verbunden sind | Grafik: Christian Wetz

sich, dass zwei seitliche Stahlhohlkästen, die durch eine Basaltbetonverbundplatte gekoppelt sind, sich am besten dafür eignen. Abschließend wurde der Entwurf verfeinert und einzelne Details ausgearbeitet.

Raphael Schulz

Entwurf einer Stützwand für die BAB A 59 zwischen Köln und Bonn (Projektarbeit)

Betreuer: Daniel Gebauer, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
Betriebliche Betreuerin: Dipl.-Ing. (FH) Steffi Möller (IGS Ingenieure GmbH & Co.KG Weimar)

In dieser Projektarbeit wurde für einen Abschnitt der Bundesautobahn A 59 eine Stützwand entworfen, die aufgrund einer geplanten Querschnittsverbreiterung in diesem Bereich notwendig werden wird. Neben einer großen Stützhöhe von bis zu 7,5 m bringt eine, im Hinterfüllbereich verlaufende, Gaspipeline einige Herausforderungen mit sich. So sollen z. B. auftretende Verformungen auf ein Maß von maximal 50 mm begrenzt werden. Auch der Bereich unmittelbar um die Pipeline darf weder bebaut noch mit Maschinen befahren werden. Es lässt sich erahnen, dass insbesondere die Wahl einer geeigneten Bautechnologie gut durchdacht sein muss, um eine Stützwand in Nähe einer Pipeline errichten zu können.

Deshalb wurden drei verschiedene Stützwandkonstruktionen genauer untersucht und vorbemessen, um daraus Vor- und Nachteile zu



Bohrpfahlwand zur Hangsicherung | Foto: IGS Ingenieure GmbH & Co. KG

erarbeiten. Neben einer Winkelstützwand und einer Schwergewichtsmauer hat sich letztlich die Variante einer Bohrpfahlwand als am geeignetsten erwiesen. Durch das von der Geländeoberkante ausgehende Bohren der Pfähle, können viele Gefahren abgewandt und vermieden werden.

Weiterhin wurde die Eignung der Stützwand als ein provisorisches Behelfsbrückenwiderlager nachgewiesen, welches im Zuge eines Brückenersatzneubaus notwendig ist.

Kamber Sezallari

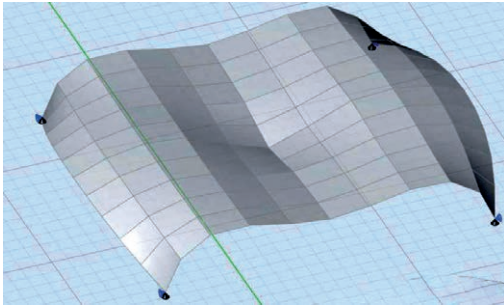
Development of a multifunctional interface between ConFEM software and Grasshopper 3D environment (Project Work)

Supervisors: Iurii Vakaliuk M. Sc., Dr.-Ing. Patricia Garibaldi, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe

Covering large spans with concrete structures – while minimizing the material used – has always been one of the greatest challenges for structural engineers. This is one of the areas where shells found the most implementation based on their load-bearing behaviour advantages.

Grasshopper3D is a visual programming language used by Rhinoceros3D environment that is primarily used to build generative algorithms. Parametric modelling for structural engineering, architecture, fabrication and lighting performance analysis are many of the features provided by Grasshopper 3D. The main focus of this project is the generation of a friendly user interface between ConFEM, a software developed by Prof. Ulrich Häußler-Combe, and the Grasshopper3D environment. It enables surface definition and mesh visualization while controlling the material, boundary and load condition input.

The automation of the input file generation process proves to be a useful feature for the ConFEM software, as it creates a dynamic link to control the input and output data, and it may enable optimization routines in the future. With the newly developed Grasshopper3D scheme, the user can define a structural model and simultaneously have visual feedback of the structural analysis results. The scheme in Grasshopper3D pro-



Deformed shell structure | Graphic: Kamber Sezallari

vides an automatized methodology to visualize a three dimensional model of the structure in Rhinoceros3D, where the user can choose the options of plotting the stress distribution of any layer and direction, followed by the deformed shape and principal stress distribution at a convenient scale factor.

Jakob Sitter

Systematische Erfassung von Brückenbeständen (Projektarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Frank Schladitz, Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
 Betrieblicher Betreuer: Benito Böhnisch (Staatsbetrieb Sachsenforst)

In der Projektarbeit wurde ein Brückenerfassungssystem entwickelt, mit dem der Sachsenforst seine Bauwerke systematisch er-

fassen und verwalten kann. Zu beachten ist dabei, dass die Erfassung nicht durch Ingenieure erfolgt, sondern durch Forstmitarbeiter, welche meist eine Aus- oder Weiterbildung im Wegebau haben. Für die Entwicklung des Brückenerfassungssystems wurde zunächst analysiert, wie die Bauwerke derzeit erfasst werden und wie diese Systeme funktionieren. Anschließend wurden professionelle Bauwerksmanagementsysteme (BMS) und ihre Funktionsweise vorgestellt. Anhand der Norm und den vorliegenden Daten wurde ein Übersichtsblatt für Brücken erarbeitet. Dieses lässt sich in verschiedene Systeme einarbeiten. Als Programme für ein eigenes Erfassungssystem wurden Microsoft Excel, Microsoft Access und ein GIS System vorgestellt und verglichen.

Im zweiten Teil der Arbeit wurde ein selbstständig entwickeltes Microsoft Access System mit dem BMS SIB-Bauwerke von Bund und Ländern verglichen. Dafür wurden Brücken vor Ort aufgenommen, in die Systeme eingetragen und ausgewertet. Das entwickelte System stellte für die Verwaltung eine gute Funktionalität unter Beweis und wird nach einer Weiterentwicklung vom Sachsenforst genutzt. Bauwerke können damit schnell und sicher erfasst werden und der Betreiber kann sich einfach einen guten Gesamtüberblick verschaffen. So kann sichergestellt werden, dass Bauwerksprüfungen regelmäßig und notwendige Maßnahmen zeitnah durchgeführt werden.



Arthur-Lohse Brücke im Forstbezirk Bärenfels | Foto: Jakob Sitter

Liste aller weiteren Projektarbeiten | *List of all other Project Works*

| Student:innen <i>Students</i> | Betreuer:innen <i>Supervisors</i> | Titel der Arbeit <i>Title of the work</i> |
|---------------------------------|--|---|
| Abimbola, Oluwatimilehin Daniel | Dr.-Ing. Patricia Garibaldi Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe | <i>Conceptual development of the carbon reinforcement unconstrained laying algorithm</i> |
| Einert, Paul | Dr.-Ing. Harald Michler Dipl.-Ing. Vinzenz Peuker (Planungsgruppe Brücken-, Ingenieur- und Tiefbau PartGmbH) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Entwicklung und Bewertung von drei Varianten für den Ersatzneubau eines Brückenbauwerkes |
| Gestrich, Tobias | Conrad Pelka, M. Sc. Johanna Monka, M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Johannes Weißflog, M. Sc. (DB Netz AG) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Schadensuntersuchung einer Fahrbahnwanne auf der Marienbrücke in Dresden |
| Großmann, Jürgen | Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Marc Koschemann Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Optimierung einer Deckenstruktur zur Aufstockung eines Supermarktes mit Wohnbebauung |
| Horn, Friedrich | Dipl.-Ing. Marcus Hering Prof. Dr.-Ing. Markus Faltlhauser, Dipl.-Ing. Tobias Bilger (faltlhauser.bilger.krapf Beratende Ingenieure PartGmbH, Reutlingen) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Modellierung eines Bestandsgebäudes mit der Methode der Finiten Elemente zur Ermittlung der Einflussfaktoren unterschiedlichen Lagerungs- und Kopplungsbedingungen zwischen den Bauteilen für den Lastfall Erdbeben |
| Jin, Lei | Kai Gebuhr M. Eng., Dr.-Ing. Frank Schladitz Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Einfluss von Temperaturunterschieden auf die Stabilität von Carbonbetonbauteilen |
| Krauße, Luisa | Dipl.-Ing. Maximilian May Dipl.-Ing. Elisabeth Schütze, Dr.-Ing. Alexander Schumann (CARBOCON GMBH) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Entwurf und Berechnung von Carbonbetonbauteilen für neue Anwendungsfelder |
| Mewes, Henrik | Dr.-Ing. Jens Tusche (DB Engineering & Consulting) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Variantenuntersuchung der Fussgängerbrücke über die Bahnanlagen am Haltepunkt Dresden-Industriegelände |
| Pardow, Georg | Dr.-Ing. Kerstin Speck, Dipl.-Ing. Peter Betz Prof. Dr.-Ing. Tom Bösche (Ingenieurbüro cbing – Curbach Bösche Ingenieurpartner) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Hängetragwerk des DLF-Hochhauses in Köln – Untersuchung des Tragverhaltens am Gesamtmodell |
| Roth, Katharina | Dipl.-Ing. Melchior Deutscher Dipl.-Ing. Ronny Hofmann (Ingenieurbüro mgp gille + partner) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Instandsetzungsmöglichkeiten am Beispiel einer Bogenbrücke als Mischsystem |
| Ullmann, Sebastian | Kai Gebuhr M. Eng., Dr.-Ing. Frank Schladitz Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Einfluss struktureller Imperfektionen auf die Stabilität von Carbonbetonbauteilen |
| Werchan, Hildrun | Dipl.-Ing. Dominik Schlüter Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Entwicklung und Erprobung eines Herstellkonzepts zur Strukturoptimierung carbonbewehrter Bauteile |
| Xu, Qian | Dr.-Ing. Jens Tusche (DB Engineering & Consulting) Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Entwurf eines Kreuzungsbauwerkes unter besonderer Betrachtung der Bauzustände |

BACHELORARBEITEN

Studienjahr 2020/2021

Die Bachelorarbeit bildet den Abschluss des Bachelorstudiums und ist Voraussetzung zum Erlangen des Hochschulgrades „Bachelor of Science“. Der Bachelorabschluss kann an der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden ausschließlich im Fernstudium erworben werden. Die Bachelorarbeit

soll zeigen, dass die Studierenden in der Lage sind, innerhalb einer vorgegebenen Frist Probleme des Studienfaches selbstständig nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. Ausgewählte Arbeiten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Julia Rau

Anpassung der Arbeitsweise in der Betonfertigteilkonstruktion an die BIM-Strategie in einem bauausführenden Unternehmen (Bachelorarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Marcus Hering,
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dr.-Ing. Kerstin Speck
Betrieblicher Betreuer: Dipl.-Wirtsch.-Ing./IWE
Michael Weißpflug (Goldbeck Bauelemente
Bielefeld SE)

Die Bauindustrie ist im Wandel. Gebäude sollen zukünftig nicht nur physisch auf dem Baufeld entstehen, sondern auch detailgetreu inklusive sämtlicher Informationen in einem BIM-Modell: als digitaler Zwilling. Auch das Unternehmen GOLDBECK möchte diesen Weg gehen und hat sich mit seiner Strategie „BIM@ GOLDBECK 2025“ eigene Ziele gesteckt. Um diese Ziele erfüllen zu können, steht die Abteilung Konstruktion für Betonfertigteile vor mehreren Herausforderungen.

Im Zuge dieser Arbeit wird nach einem ersten Überblick über den aktuellen Stand der Technik zum Thema BIM ein Einblick in die genannte Strategie des Unternehmens sowie dessen bisherige Umsetzung in Planung, Ausführung und Forschung gegeben. Anschließend werden die aktuelle Arbeitsweise in der Konstruktion für Betonfertigteile und deren Ziele für eine künftige Arbeitsweise vorgestellt. Es zeigt sich, dass es erforderlich ist, eine BIM-basierte Konstruktionssoftware einzuführen. Aus dieser Erkenntnis heraus wird eine Marktanalyse der

auf dem Markt verfügbaren, potentiellen Softwares durchgeführt.

Die zwei Softwares mit dem aus Unternehmenssicht höchsten Potential werden anschließend an einem gewählten Bauteil erprobt. Ein Vergleich der Ergebnisse aus den beiden Bauteiltests mit den bisher eingesetzten Softwarelösungen führt zu einer Entscheidungsempfehlung. Auf der Grundlage neuer technischer Voraussetzungen kann die Arbeitsweise innerhalb der Konstruktion angepasst werden. Dadurch ergeben sich enorme, zukunftssträchtige Chancen für das Unternehmen.



Autonomer Roboterhund mit zwei Hochleistungsrechnern und zahlreichen Sensoren auf einer GOLDBECK-Baustelle | Foto: Maximilian Schütz

Liste aller weiteren Bachelorarbeiten

| Student:innen | Betreuer:innen | Titel der Arbeit | |
|--------------------|---|---|---|
| Schledewitz, Irina | Conrad Pelka M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Thomas Höpfe (Staatliches Bauamt Amberg-Sulzbach) | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dr.-Ing. Kerstin Speck | Variantenuntersuchung eines baumtypischen Brückenneubaus hinsichtlich Konstruktion und Wirtschaftlichkeit |

DIPLOMARBEITEN | MASTER'S THESES

Studienjahr 2020/2021 | Academic year 2020/2021

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. Ausgewählte Arbeiten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

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. Selected works are briefly presented below.



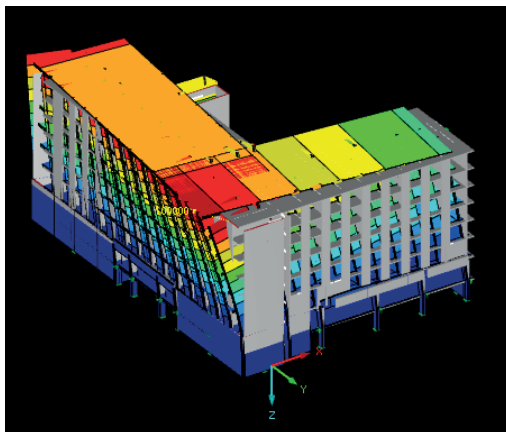
Probebelastung einer mit Carbonbeton verstärkten Brücke durch zwei Mobilkrane | In situ loading of a bridge strengthened with carbon reinforced concrete by two mobile cranes | Photo: Josiane Giese

Lisa Marie Ostwald

Dynamische Analyse eines Stahlbetonbauwerks mit unregelmäßiger Struktur unter Erdbebenbeanspruchung mittels des multimodalen und vereinfachten Antwortspektrenverfahren (Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Marcus Hering,
 Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
 Betrieblicher Betreuer: Dipl.-Ing. Frank Otten-
 schläger (ENGELBACH + PARTNER Planungsge-
 sellschaft mbH)

Die seismische Beanspruchung einer Tragstruktur hängt entscheidend von der standortbedingten Erdbebengefährdung sowie vom dynamischen Verhalten des Tragwerks ab. Bei Tragwerken mit regelmäßiger, einfach gehaltener Struktur basiert das dynamische Verhalten wesentlich auf der Grundschwingungsform. Entsprechend können vereinfachte Tragwerksmodelle und Berechnungsmethoden zu zweckmäßigen Ergebnissen führen. Bauliche Strukturen, die starke Unregelmäßigkeiten aufweisen, besitzen hingegen ein sehr komplexes dynamisches Verhalten, sodass genauere Modellabbildungen und Rechenverfahren notwendig werden können. Im Rahmen dieser Diplomarbeit erfolgte die Ermittlung der Erdbebenbeanspruchung eines stark unregelmäßigen Stahlbetonbauwerks, bestehend aus drei, dynamisch voneinander unabhängigen, Gebäudeteilen. Dabei wurde die Genauigkeit sowie die damit in Zusammenhang stehende Anwendbarkeit



Verformungen des Gebäudeteils 1 in der ersten Eigenschwingungsform |
 Grafik: Lisa Marie Ostwald

des vereinfachten Antwortspektrenverfahrens – auf Basis zweier ebener Tragwerksmodelle – sowie des multi-modalen Antwortspektrenverfahrens – basierend auf einer dreidimensionalen Abbildung des Tragwerks – vergleichend untersucht. In einer anschließenden Parameterstudie wurden Betrachtungen zum Einfluss unterschiedlicher Steifigkeitsansätze in der 3D-Modellierung angestellt. Dabei standen die, über die aufgezeigten Modellierungsvarianten eingebrachten, Unsicherheiten oder Fehlerquellen im Vordergrund, sowie deren Bedeutsamkeit für die zu berücksichtigenden Erdbebenlasten und deren Verteilung auf die einzelnen Aussteifungselemente. Die gewonnenen Erkenntnisse können bei zukünftigen Modellierungsaufgaben von ähnlich komplexen Baustrukturen herangezogen werden, um realitätsnahe und zugleich zweckmäßige Tragwerksidealierungen und somit sichere Berechnungsergebnisse zu erzielen.

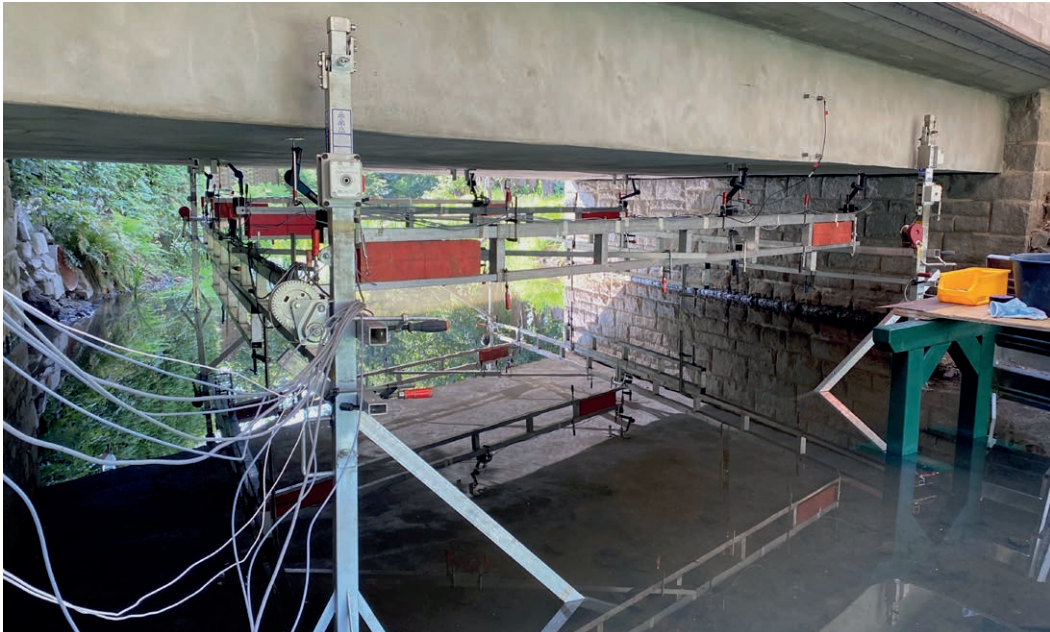
Josiane Giese

Experimentelle Untersuchung einer carbonbetonverstärkten Plattenbrücke (Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
 Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Eine zukunftsorientierte Alternative zu klassischen Verstärkungstechnologien stellt der Einsatz hochtragfähiger, nicht rostender Hochleistungsfasern aus Carbon dar, mit denen schlankere und leichtere Konstruktionen realisiert werden können. Die Leistungsfähigkeit von Carbonbeton konnte im Hochbau bereits in zahlreichen Ausführungen belegt werden. Im August 2020 wurde erstmalig an einem Brückenbauwerk eine Biegeverstärkung aus Carbonbeton umgesetzt und die Wirksamkeit dieser Ertüchtigungsmaßnahme im Rahmen dieser Diplomarbeit nachgewiesen.

Bei dem ausgewählten Bauwerk handelt es sich um eine 1951 im Ort Kleinsaubernitz (LK Bautzen) errichtete Stahlbetonplattenbrücke der Brückenklasse BK 30/30, für die eine Einstufung in die nächsthöhere Brückenklasse angestrebt werden sollte, wobei das Tragwerk bereits vor der Verstärkungsmaßnahme eine hohe rechnerische Auslastung aufwies. Zur Steigerung



Durchbiegungsmessung an einer mit Carbonbeton verstärkten Brücke | Foto: Josiane Giese

der Tragfähigkeit erfolgte an der Unterseite des Überbaus die Applikation einer etwa 2,5 cm dicken Verstärkungsschicht aus vier Lagen Carbongelege, eingebettet in Feinkornbeton. Im Anschluss an die Baumaßnahme wurde die Brücke einem In-situ-Belastungsversuch mit zwei 36 t schweren Belastungsfahrzeugen unterzogen und dabei messtechnisch umfangreich überwacht. Die Ergebnisse der Probebelastung dienen der Validierung eines erstellten FEM-Modells, welches abschließend für eine Nachrechnung auf Tragfähigkeitsniveau herangezogen werden konnte.

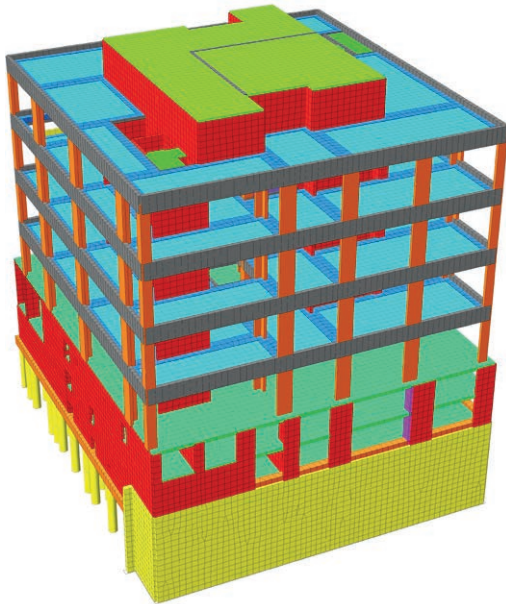
Die Auswertung der Untersuchungen zeigte, dass durch die Kombination aus Feinkornbeton und Carbonbewehrung die Herstellung einer dünnen und gleichzeitig hochtragfähigen Verstärkungsschicht ermöglicht wurde, die die Höherstufung des Bauwerks in die Brückenklasse BK 60/30 erlaubt und die geplante Nutzungsdauer bis zum Jahr 2040 verlängern soll. Die erfolgreiche Umsetzung dieser neuartigen Anwendung einer Carbonbetonverstärkung im Brückenbau stellt einen wichtigen Beitrag für die weitere Forschung und die Etablierung dieser Bauweise in der Praxis dar.

Katharina Nieke

Variantenuntersuchung zur Gebäudeaussteifung eines mehrgeschossigen Museumsneubaus unter Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkung (Diplomarbeit)

Betreuer: Dr.-Ing. Marcus Hering,
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
Betrieblicher Betreuer: Dr.-Ing. Jakob Bochmann (Mathes Beratende Ingenieure GmbH – Büro Dresden)

Beim Entwurf von Tragwerken muss u. a. eine ausreichende Aussteifung des Gebäudes gegenüber Horizontallasten, die z. B. aus Wind, Imperfektionen oder Erdbebeneinwirkung resultieren, berücksichtigt werden. Für die Ausbildung der Aussteifung gibt es dabei verschiedene Möglichkeiten. In der Diplomarbeit wurden – basierend auf dem Entwurf von Staab Architekten GmbH – verschiedene Aussteifungsvarianten für den Neubau des Kölnischen Stadtmuseums erarbeitet und hinsichtlich funktionaler, statisch-baukonstruktiver, bautechnologischer und wirtschaftlicher Aspekte verglichen. Dabei müssen aufgrund der Lage in Köln auch Einwirkungen infolge Erdbeben berücksichtigt wer-



3D-Modell des Költnischen Stadtmuseums | Grafik: Katharina Nieke

den. Für die dreidimensionale Modellbildung wurde ein Ersatzsystem für die im untersuchten Gebäude geplanten Rippendecken erarbeitet, das die zur Aussteifungsbetrachtung benötigte Scheibenwirkung der Decken abbildet.

Bei allen Varianten werden die von den Architekten geplanten Stahlbetonkerne als Aussteifungselemente verwendet. Bei Variante I sind keine weiteren Aussteifungselemente vorgesehen, bei Variante II biegesteif angeschlossene Stahlbetonstützen und bei Variante III zusätzliche Stahlbetonwände in Fassadenebene.

Aus dem Vergleich geht hervor, dass alle der untersuchten Varianten aus statischer Sicht umsetzbar sind – sich jedoch hinsichtlich der erforderlichen Bewehrungsmengen, des bautechnologischen Aufwands und der Wirtschaftlichkeit unterscheiden. Zudem hat sich aus dem Vergleich Variante I (nur Kerne zur Aussteifung) als Vorzugsvariante ergeben. Diese weist zwar eine etwas geringere Steifigkeit als die anderen Varianten auf, jedoch sind die Kräfte infolge Erdbebeneinwirkung durch die geringere Steifigkeit kleiner und die erforderlichen Bewehrungsmengen geringer. Der Aufwand und die Kosten für die höhere Steifigkeit der anderen Varianten sind nicht gerechtfertigt

Berthe Roedel

Experimentelle Untersuchung der technischen Umsetzbarkeit von verbundgerecht profilierten Bewehrungen basierend auf Naturfasern (Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Dominik Schlüter,
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Die Bewehrung im Textilbeton besteht derzeit hauptsächlich aus Carbon- und Glasfasern. Deren Herstellung ist jedoch, wie die des im Beton enthaltenen Zements, sehr energieaufwendig und verursacht große CO₂-Emissionen. Um dem entgegenzuwirken, wird vermehrt nach alternativen, nachhaltigeren Textilbetonausführungen gesucht. Aus diesem Grund wurde in dieser Diplomarbeit die technische Umsetzbarkeit von Bewehrungen basierend auf Naturfasern experimentell untersucht.

Im Mittelpunkt der Betrachtung standen dabei die Herstellung von verbundgerecht profilierten Bewehrungsstäben aus Naturfasern sowie die Untersuchung von deren Leistungsfähigkeit. Im Rahmen der Herstellung wurden die dafür notwendigen Naturfaserprodukte und Imprägnierungsmittel ausgewählt. Es wurde sich dafür entschieden, für die erste Herstellung der Stabprototypen auf Hanf- und Jutefasermaterialien zurückzugreifen.

Daraus wurden sechs Stabvarianten auf Basis einer trankumformtechnischen Profilierung produziert. Drei weitere Stabvarianten wurden mit einer Flechtprofilierung hergestellt. Alle Stabvarianten wurden in einem einfachen Zugversuch auf ihre zugmechanischen Eigenschaften untersucht. Der Fokus wurde dabei auf die Ermittlung der Zugfestigkeit, der Bruchdehnung und der Dehnsteifigkeit gelegt. Durch die Auswertung der Versuche konnte festgestellt werden, dass die geringe Dehnsteifigkeit und die große Varianz der mechanischen Eigenschaften die größten Schwächen der Naturfaserbewehrungsstäbe sind. Dies wurde ebenfalls in den Dehnkörperversuchen bestätigt, in welchen das Verhalten der Naturfaserstäbe im Beton untersucht wurde. Durch einen Vergleich mit den Eigenschaften der im Textilbeton hauptsächlich verwendeten Verstärkungsfasern aus Carbon und alkaliresistenten Glas wurde nachgewie-



Anordnung der Bewehrungsstäbe aus Naturfasern in der Schalung | Foto: Berthe Roedel

sen, dass Naturfaserbewehrungsstäbe bisher noch keine sinnvolle Alternative darstellen. Ein Einsatz im Lehm- sowie in statisch untergeordneten Bauteilen wie Fassadenplatten wird trotz dessen als möglich erachtet.

Raphael Schulz

Ingenieurmäßiger Rückbau der Meiningenbrücke (Diplomarbeit)

Betreuer: Max Herbers, M. Sc.,
 Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
 Betrieblicher Betreuer: Dipl.-Ing. Steffen Reinhardt (IGS INGENIEURE GmbH & Co. KG)

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde für die 110 Jahre alte Meiningenbrücke, welche

die Halbinsel Zingst mit dem Festland verbindet, ein Rückbaukonzept entwickelt. Die 480 m lange, stählerne Fachwerkbrücke überquert zwar den Meiningenstrom und liegt damit über dem Wasser – der Großteil der Brücke aber befindet sich schwer zugänglich inmitten einer Schilfzone. Neben moderaten Baugrundverhältnissen kommen gleich mehrere Naturschutzgebiete limitierend hinzu, was die Suche nach alternativen und umweltschonenderen Rückbaumethoden notwendig gemacht hat.

Separiert in vier Teilbauwerken (Flut-, Strom-, Dreh- und Vorlandbrücke) wurden verschiedene Rückbaukonzepte ausgearbeitet. Die vollständig über Wasser liegende Strombrücke kann mit Pontons im Ganzen ausgeschwom-



Die seit 2012 für den Verkehr gesperrte Meiningenbrücke | Foto: Raphael Schulz

men werden. Ein Teil der Drehbrücke ist in ähnlicher Weise rückbaubar, während der restliche Teil und die nördliche Vorlandbrücke von einem ehemaligen Bauplatz aus mit einem Kran demontierbar sind. Insbesondere die charakteristischen Randbedingungen der Flutbrücke insitierten Überlegungen zu neuen Rückbautechnologien. Es entstanden drei Varianten, wie die 13 aneinandergereihten Einfeldträger der Flutbrücke mit minimalen Eingriffen in die Natur rückgebaut werden könnten.

Möglich wäre ein Rückbau mit zwei 60 m langen Rüstträgern, die seitlich mit einem Überbau verbunden und dann durch einen Längsverschiebung an Land gebracht werden. Eine zweite Variante ist mit Hubeinrichtungen realisierbar, welche die Überbauten zunächst schräg nach unten ablassen, dann der jeweils südlich angrenzende Pfeiler abgerissen und das Brückenteil horizontal auf dem Baugrund abgelegt wird. In einer dritten Möglichkeit soll mit einer Kranbahn auf den Oberguten der Fachwerkscheiben die Fahrbahnplatten und weitere Tragwerksteile ausgefahren werden. Übrig bleiben alle Fachwerkscheiben, die mit einem Raupenkran auszuheben sind. Bei einer Bewertung nach verschiedenen Kriterien erwies sich die dritte Option als am geeignetsten.

Christian Wetz

Anwendung von Leichtbeton im Brückenbau (Diplomarbeit)

Betreuer: Dipl.-Ing. Oliver Steinbock,
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

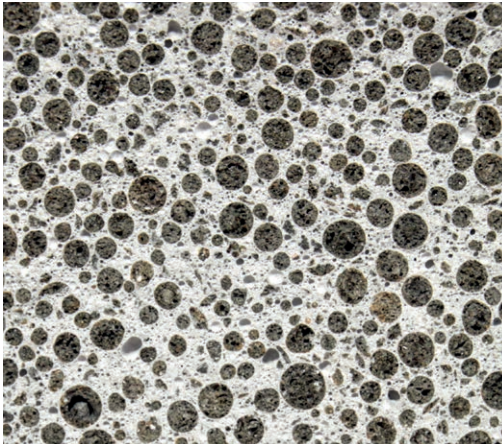
Betrieblicher Betreuer: Dipl.-Ing. Christian Anistoroaiei (Leonhardt, Andrä und Partner VBI AG, Niederlassung Dresden)

Im Brückenbau ist das Eigengewicht oft entscheidend für die Wahl des Materials und des Tragsystems. Deshalb werden in Deutschland derzeit sehr weit gespannte oder schlanke Brücken fast ausschließlich als Stahl- oder Verbundbrücken realisiert.

Ganz anders stellt sich die Situation in Norwegen dar, wo massive Balkenbrücken mit Spannweiten von bis zu 300 m realisiert werden. Dies wird durch die Anwendung von Leichtbeton ermöglicht. Auch in Deutschland wurden in den 1960er und 1970er Jahren vereinzelt Leichtbetonbrücken realisiert. Aufgrund der fehlenden Normung und der nicht gegebenen Pumpbarkeit des Betons, setzte sich diese Bauweise aber nicht durch. Wie in der Diplomarbeit gezeigt werden konnte, sind diese Probleme mittlerweile durch die Einführung der Eurocodes und Fortschritte in der Betontechnologie ge-



Pöppelmannbrücke über die Mulde in Grimma mit einer Verstärkung der Natursteinbögen aus Leichtbeton | Foto: Kerstin Speck



Trotz seines geringen Eigengewichts kann konstruktiver Leichtbeton ausreichend hohe Festigkeiten für eine Anwendung im Ingenieurbau aufweisen | Foto: Silke Scheerer

löst worden. Auch Vorbehalte gegenüber der Dauerhaftigkeit erweisen sich als unbegründet, wie Langzeiterfahrungen an realen Bauwerken beweisen.

Welches Potential Leichtbeton im Brückenbau mit sich bringt, konnte anhand zweier Beispiele gezeigt werden. Sowohl bei einem Stahlbetonrahmen als auch bei einem zweistegigen, vorgespannten Plattenbalken konnten weit aus größere Schlankheiten realisiert werden. Trotz des deutlich erhöhten Betonpreises ergeben sich dabei keine wirtschaftlichen Nachteile. Auch die geringere Betonzugfestigkeit und der niedrigere E-Modul erweisen sich nicht als nachteilig.

Zum Schluss der Arbeit wurden weitere mögliche Anwendungsgebiete erörtert. Insbesondere bei der Brückensanierung und dem Bauen mit Fertigteilen wird ein großes Potential für Leichtbeton gesehen, da hier oft das Eigengewicht der begrenzende Faktor ist. Leichtbeton kann folglich ein geeignetes Mittel sein, um zukünftige Herausforderungen im Brückenbau elegant zu bewältigen.

Matthew Cannon

Wind Buffeting Dynamic Response Analysis of a Multi-Span Cable-Stayed Bridge (Master's Thesis)

Supervisors: Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi, Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Supervisor in company: Daniel E. Mariscal, M. Sc. P.E. (AECOM, Tampa, Florida, USA)

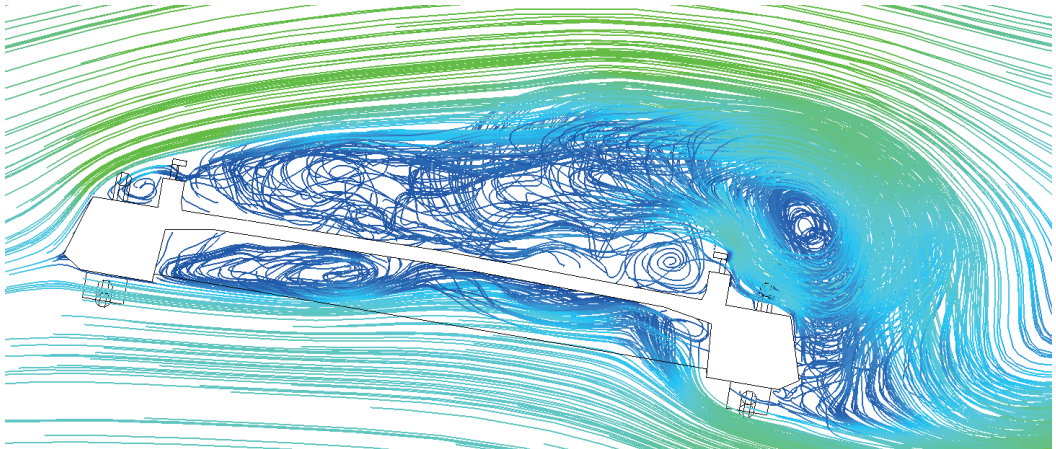
Long, slender bridges are sensitive to the effects of wind loading on their structural components. The reaction of the structure to these loads can lead to devastating consequences, as evidenced by the well-known Tacoma-Narrows Bridge collapse. To mitigate the risk of such a failure, it is necessary to accurately predict their behaviour under wind loading. The variety of bridge deck cross-section shapes and design configurations (e.g., railings, traffic barriers, span length and tower height) provide challenges to understanding the wind loading response of a given configuration. Conducting wind tunnel testing provides insights into the complex behaviour of these structures under wind loading. However, the time typically required to perform all aspects of wind tunnel testing of a bridge cross-section (i.e., planning, constructing a model, testing, and reporting results) is approximately six to eight weeks.

Due to the high cost and large lead time of bridge wind tunnel studies, there exists a demand to accurately model the aero elastic behaviour of bridges sensitive to wind loading using alternative computational methods. Furthermore, computationally intensive models, such as those typical of Large Eddy Simulation (LES) Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations, drive the need for a simplified accelerated CFD method for analysing complicated high Reynolds number flows, such as those around bridge decks. The Discrete Vortex Method (DVM) CFD module available in the software RM Bridge, by Bentley, was used to demonstrate the effectiveness of one such accelerated method.

The results were compared to those obtained by a previous wind tunnel experiment. It was found that the DVM CFD module in the RM bridge provides useful values for preliminary analysis, especially for wind angles in the range of

$-3^\circ < \alpha < 3^\circ$. Also, the shedding frequency calculated with the software showed good agreement to Eurocode, Large Eddy Simulation (LES). The

structural model, drawings, and wind tunnel data referenced in this study were provided by AECOM in Tampa, FL.



Streamlines Near Deck Surface for LES Simulation obtained from RM Bridge simulation | Graphic: Matthew Cannon

Liste aller weiteren Diplom /Masterarbeiten | *List of all other Diploma & Master's Theses*

| Student:innen <i>Students</i> | Betreuer:innen <i>Supervisors</i> | Titel der Arbeit <i>Title of the work</i> | |
|---------------------------------|---|---|---|
| Eckstein, Phillip | Dipl.-Ing. Marc Koschemann Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Untersuchungen zum Einfluss von Bewehrungsdurchmesser und Größtkorn auf das Verbundverhalten von Stahlbeton | |
| Eibner, Rebekka | Dipl.-Ing. Maximilian May Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefanie Kallnick, Dr.-Ing. Alexander Schumann (CARBOCON GMBH Dresden) | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Entwurf von Bauteilen aus Carbonbeton |
| Jolivet, Clément | Max Herbers, M. Sc. | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Tragverhalten von Stützen semiintegraler Brücken |
| Klein, Antoine | Max Herbers, M. Sc., Johanna Monka, M. Sc. | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Machbarkeitsstudie einer Brücke aus der Anfangszeit des Spannbetons unter Berücksichtigung derzeit gültiger Regelwerke |
| Pressoir, Julien | Dr.-Ing. Jens Tusche, Dipl.-Ing. Matthias Hänsel (DB Engineering & Consulting GmbH, Region Südost) | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Entwurf der Eisenbahnüberführung im Zuge der Strecke Görlitz – Dresden über die Stauffenbergallee in Dresden |
| Probst, Sebastian | Dipl.-Ing. Oliver Steinbock | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Konzeption und experimentelle Untersuchung von Brückenträgern aus Carbonbeton |
| Uhlemann, Sophie | Dipl.-Ing. Dominik Schlüter | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx | Experimentelle Untersuchung des Ausbruchverhaltens von Verankerungselementen in dünnwandigen Hohlkörper-Platten aus Textilbeton |
| Muslli, Loren | Dr.-Ing. Frank Jesse (Hentschke Bau GmbH) | Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi | <i>Design and Detailing of Prefabricated Concrete Elements for Railway Bridges</i> |

ABSEITS DES LEHRPLANS

OFF THE CURRICULUM

Studienjahr 2020/2021 | Academic year 2020/2021



An der Carolabrücke wird eine Kappe erweitert, auch mit Hilfe von Carbon- und Basaltfasern | A canopy is being extended at the Carola Bridge, also with the help of carbon and basalt fibres | Photo: Stefan Gröschel

Fahrradexkursion zu den Dresdner Elbbrücken

Die Faszination und der Reiz des Brückenbaus liegen in der Doppelrolle, die Bauingenieure bei der Planung von Brücken einnehmen: Einerseits als Tragwerksplaner und andererseits als Entwerfer. Das Entwerfen jedoch stellt Ingenieure oft vor unbekannte Fragestellungen und gleichzeitig ungewohnte Freiheiten. Neben dem theoretischen Wissen, was einen guten Entwurf ausmacht, muss der Brückenbauingenieur eine Vielzahl bestehender Tragwerke analysieren und von den Erfahrungen seiner Vorgänger lernen. Beispielhaft seien die virtuosen Bogenbrücken des Schweizer Robert Maillart genannt. Existierende Lösungsansätze werden mit der Zeit durch wissenschaftlichen und technischen Fortschritt weiterentwickelt. Um Bauwerke und Tragwerke zu erörtern und kritisch zu diskutieren, bietet das Institut für Massivbau während der

Bicycle excursion to the Elbe bridges in Dresden

The fascination and appeal of bridge construction lie in the dual role that civil engineers play in the planning of bridges: On the one hand as structural engineers and on the other hand as designers. Designing, however, often presents engineers with unfamiliar questions and at the same time unaccustomed freedom. Besides the theoretical knowledge of what makes a good design, the bridge engineer has to analyse a multitude of existing structures and learn from the experience of his predecessors. One example of this are the masterful arch bridges designed by the Swiss civil engineer Robert Maillart. Existing solutions are further developed over time through scientific and technical progress. In order to discuss and critically debate structures and load-bearing structures, the Institute of Concrete Structures offers an approximately ten-day bridge-building excursion during the lecture-free period in summer. A large number of European countries have already been visited and a num-

vorlesungsfreien Zeit im Sommer eine etwa zehntägige Brückenbauexkursion an. Dabei wurden bereits eine Vielzahl europäischer Länder bereist und etliche Bauwerke und Baustellen besichtigt. Neben der fachlichen Weiterbildung werden auch persönliche Kompetenzen gestärkt: Die Organisation der Exkursion – bestehend aus der Planung der Route, der Baustellenbesichtigungen sowie der Finanzierung – wird größtenteils von den Studierenden übernommen.

Aufgrund der anhaltenden Pandemie musste diese Exkursion zum Bedauern aller Beteiligten jedoch wiederholt abgesagt werden. Stattdessen wurde vom Kurs eine Fahrradexkursion zu den Dresdener Elbebrücken angeboten. Im Zuge der Auftaktveranstaltung zur Vorlesungsreihe brachte Professor Marx den Studierenden den Brückenbau anhand bekannter Bauwerke wie der Carolabrücke oder der Albertbrücke näher. Es wurden Brückenbestandteile, Querschnitte und Tragsysteme erörtert. Und wie baut man überhaupt eine Brücke? Eine Frage, auf die es viele Antworten gibt.

Vom Gas zum Gast – Besichtigung des Erlwein-Gasspeichers

Im Modul „Entwurf von Massivbauwerken“ werden fiktive Entwürfe mit realen Bezügen von den Studierenden erstellt. Die gewählten Grundstücke in und um Dresden können somit besucht und die Randbedingungen in den Entwurf aufgenommen werden. Auch die Entwurfsaufgaben selbst orientieren sich oft an geplanten Projekten, wie z. B. Fuß- und Radwegbrücken in Dresden Pieschen über die Elbe oder als Anschluss zum Südpark über die B 170. Eine weitere Aufgabe besteht darin, einen ehemaligen Gasspeicher zu einem Musicaltheater umzubauen.

Auf Initiative von Johannes Reimer ermöglichte uns Herr Thomas Hopf von SachsenEnergie eine Führung durch das Gasometer, wofür wir uns noch einmal herzlich bedanken wollen. So ließen sich die beeindruckenden Abmessungen von 60 m Durchmesser und 65 m Höhe haut-

ber of buildings and construction sites have been inspected. In addition to the professional training, personal skills are also strengthened: the organisation of the excursion – consisting of the planning of the route, the visits to the construction sites and the financing – is largely taken over by the students.

However, due to the ongoing pandemic, this excursion had to be cancelled repeatedly, to the regret of all those involved. Instead a bicycle excursion to the Elbe bridges in Dresden was offered in the course. Prof. Marx gave the students an understanding of bridge construction using well-known structures such as the Carola Bridge and the Albert Bridge during the opening event of the lecture series. Bridge components, cross-sections and load-bearing systems were discussed. And how do you build a bridge in the first place? This is a question to which there are many answers.

From gas to guest – visit of the Erlwein gas storage facility

In the module “Design of Concrete Structures”, fictitious designs with real references are created by the students. The chosen sites in and around Dresden can thus be visited and the boundary conditions incorporated into the design. Also, the design tasks themselves are often based on planned projects, such as foot and cycle path bridges in Dresden Pieschen over the Elbe or as a bridge connecting Südpark over the B 170. Another task is to convert a former gas storage facility into a musical theatre.

On the initiative of Johannes Reimer, Mr Thomas Hopf from SachsenEnergie gave us a guided tour of the gasometer, for which we would like to thank him once again. This allowed us to get a close-up view of the impressive dimensions of 60 m in diameter and 65 m in height. Mr Hopf also reported on the conversion into a musical theatre, which began in 1998. The first parts of the substructure for the stage and auditorium are still visible. Unfortunately, the project had to be abandoned when funding stalled. Nevertheless, the idea was to be revisited by the students. As



Im Innern des Gasspeichers Dresden-Reick | Inside the Dresden-Reick gas storage facility | Photo: Kerstin Speck

nah erfassen. Herr Hopf berichtete auch von dem 1998 begonnen Umbau zum Musicaltheater. Erste Teile der Unterkonstruktion für Bühne und Zuschauersaal sind noch sichtbar. Das Projekt musste leider aufgegeben werden, als die Finanzierung ins Stocken geriet. Die Idee sollte trotzdem von den Studierenden wieder aufgegriffen werden. Als Ausgangsbasis erwartete sie ein beeindruckendes, aber auch dem Verfall preisgegebenes Gebäude, welches nur noch von Tauben und Wanderfalken genutzt wird. Der Denkmalschutz und der Zustand der mutmaßlich ersten selbsttragenden Eisenbetonkonstruktion Europas bilden somit die Rahmenbedingungen für den Entwurf.

Zeichenkurs an der Waldschlösschenbrücke

Im Sommersemester wurde im Rahmen des Moduls „Entwurf von Massivbauwerken“ ein freiwilliger Zeichenkurs angeboten. Dieser fand auf den Elbwiesen an der Waldschlösschenbrücke statt. Nach einer kurzen Einführung zu Techniken des freien Zeichnens und kleinen Tipps und Tricks konnte auch schon mit dem eigenen Werk losgelegt werden. Die Teilnehmenden haben sich ihr Motiv frei ge-

a starting point, they were faced with an impressive building that had fallen into decay and was only used by pigeons and peregrine falcons. The framework conditions for the design were formed by the protection of the historical monument and the condition of what is believed to be the first self-supporting reinforced concrete structure in Europe.

Drawing course at the Waldschlösschen Bridge

In the summer semester, a voluntary drawing course was offered as part of the module "Design



Auch beim Zeichnen kommt es auf das richtige Maß an | Drawing also depends on the right balance | Photo: Stefan Gröschel



Nach einer kurzen Anleitung greift jeder selbst zum Stift | After a brief instruction, everyone picks up the pen themselves | Photos: Stefan Gröschel

wählt, wobei ein Großteil die nahe gelegene Elbebrücke gewählt hat. Durch kleine Hilfestellungen konnten hoffentlich alle ein paar Hinweise mitnehmen und eine schöne Zeichnung anfertigen.

Der Kurs stieß auf durchweg positive Resonanz und wir planen ihn in Zukunft zu einem festen Bestandteil des Moduls zu machen. Es besteht die Hoffnung, durch das freiwillige Angebot eines zwanglosen und freien Zeichenkurses, die Lust am Zeichnen (wieder) zu erwecken oder zu vertiefen, und dass dies auch in die Arbeit als Ingenieurin oder Ingenieur mit einfließen wird.

Baumhäuser in der Ottendorfer Hütte – ein moderner Planungsworkflow

Am Rande der Sächsischen Schweiz befindet sich die Ottendorfer Hütte, eine Kletterschule und Herberge für Wanderer. Die Besitzer wurden in den vergangenen Jahren häufig gefragt, ob sie auch Baumhäuser auf dem Gelände hätten. Durch ihre Bekanntschaft mit Herrn Professor Marx kam es zu einer offenen Arbeitsgruppe, bei der diverse Studiengänge und Fachsemester beteiligt waren.

of Concrete Structures". This took place on the Elbe meadows at the Waldschlösschen Bridge. After a short introduction to free drawing techniques and some tips and tricks, the participants were able to get started with their own work. The participants freely chose their motif, with the majority choosing the nearby Elbe bridge. With a little help, hopefully everyone was able to take away a few hints and produce a beautiful drawing.

The course met with a consistently positive response and we plan to make it a permanent part of the module in the future. By voluntarily offering an informal and free drawing course, the hope is to (re)awaken or deepen the desire to draw and that this will also feed into one's work as an engineer.

Tree houses at Ottendorfer Hütte – a modern planning workflow

On the fringe of the Saxon Switzerland National Park lies the Ottendorfer Hütte, a climbing school and hostel for hikers. The owners were frequently asked in recent years whether they also had tree houses on the premises. Through their acquaintance with Prof. Marx, an open working group was formed in which various study courses and subject semesters were involved.

Am 12.07.2021 wurde gemeinsam die Ottendorfer Hütte besucht, sich mit den Bauherren unterhalten und das Gelände sowie die potentiellen Bäume aufgenommen. Es kamen verschiedene Bäume in Frage, Vorgaben zur Form und Art des Baumhauses gabes nicht. So entstanden verschiedenste Entwürfe von kleinen Hütten über geräumige Häuser, die den Baum umschließen, bis zu kleinen Baumzelten, die sich natürliche in den Baum einfügen.

Die Planung eines Baumhauses ist auf vielen Ebenen ein ganz besonderes Unterfangen. Das Arbeiten mit und an einem wachsenden Lebewesen, dessen dynamisches Verhalten im Wind und seine frei gewachsene Form erschweren den Planungsprozess, besonders, da die Bäume nur ein einziges Mal vermessen wurden. Daher entstand die Idee, nicht nur mit dem Maßband zu arbeiten, sondern mithilfe der Photogrammetrie Oberflächenmodelle abzuleiten. Diese dienten als Planungsgrundlage, anhand deren die günstigsten Orte und Formen für das Baumhaus ermittelt wurden. Dabei wurden 3D Modelle von den verschiedenen Entwürfen am digitalen Baum erstellt und im Anschluss zu fotorealistischen Bildern und Videos weiterentwickelt.



So könnte das Baumhaus aussehen | *Idea for a new tree house* | Visualization: Jeremy Kilank

On July 12, 2021 we visited the Ottendorfer Hütte together, talked to the builders and recorded the site and the potential trees. Various trees were considered as the owners had no clear ideas about the shape and type of a treehouse that they would like to have. This resulted in a wide variety of designs, from small huts and spacious houses that enclose the tree to small tree tents that fit into the natural shape of the tree.

Planning a treehouse is a very special project on many levels. Working with and on a growing organism, its dynamic behaviour in the wind and its freely grown form complicate the planning process, especially since the trees have only been measured once. Therefore, the idea arose to not only work with the tape measure but to derive surface models with the help of photogrammetry. These served as a basis for planning, on the basis of which the most favourable locations and shapes for the treehouse were determined. In the process, 3D models of the various designs were created on the digital tree and subsequently developed into photorealistic images and videos.



Impressionen vom Baumhauskurs | *Impressions of the tree house course* | Photos: Kerstin Speck

PREISE, EHRUNGEN UND WETTBEWERBE AWARDS, HONOURS AND COMPETITIONS

Studienjahr 2020/2021 | Academic year 2020/2021

Ideenwettbewerb „Brücke über den See bzw. Seebrücke an der Magdebor- ner Halbinsel“

Beim Brückenentwurf im vierten Studienjahr muss eine Vielzahl der im Studium erworbenen Kompetenzen zielführend eingebracht werden. Um die fachübergreifenden, theoretischen Grundlagen anhand einer realen Problemstellung zu vertiefen, nahm etwa die Hälfte des Brückenbaukurses an einem studentischen Wettbewerb teil. In einer Gruppenarbeit war eine mehr als 600 m lange Fuß- und Radwegbrücke über den Störnthaler See südöstlich von Leipzig zu entwerfen. In regelmäßigen Konsultationen wurden die Ideen und Entwürfe den wissenschaftlichen Mitarbeitern vorgestellt, welche die Rolle des Bauherren einnahmen. Die

Ideas competition „Bridge over the lake or pier on the Magdeborn island“

When designing bridges in the fourth year of study, a large number of the competencies acquired during the course must be applied in a goal-oriented manner. In order to deepen the interdisciplinary theoretical basics through a real problem, about half of the bridge construction course took part in a student competition in which a more than 600 m long foot and cycle path bridge over Lake Störnthaler southeast of Leipzig had to be designed in group work. In regular consultations, the ideas and designs were presented to the academic staff, who took on the role of the building owner. The students put in a workload that went far beyond the concerns of the module. With success: participants from the TU Dresden were able to assert themselves against strong competition and ultimately claim the first two places for themselves. The jury awarded 1st place to an innovative



Siegerentwurf für eine Brücke über den Störnthaler See | Winning design for a bridge over Lake Störnthal | Graphic: Jonas Scharf

Studierenden legten ein Arbeitspensum an den Tag, welches weit über die Belange des Moduls hinausging. Mit Erfolg: einige Teilnehmende der TU Dresden konnten sich gegen eine starke Konkurrenz durchsetzen und letztlich die ersten beiden Plätze für sich beanspruchen. Auf Platz 1 kürte die Jury eine innovative Schrägkabelbrücke in Holz-Beton-Verbundbauweise. Den 2. Platz belegte eine dezente und materialsparende Spannbandbrücke auf schwimmenden Pontons. An dieser Stelle sei ein großer Dank an die Gemeinde Großpösna ausgesprochen, insbesondere an Frau Dr. Gabriela Lantzsch und an Herrn Patrick Wiederanders, für die tolle Initiative zur Auslobung eines solchen Entwurfswettbewerbs.

Um möglichst auch schon die Studierenden aus den jüngeren Semestern für die Disziplin des Brückenbaus sowie das Bauen und Entwerfen im Allgemeinen zu motivieren, wurde der Wettbewerb bei einem abendlichen „Beisammensein der Brückenbauer“ Revue passiert. Die einzelnen Gruppen stellten den Prozess des Entwerfens, die damit verbundenen Herausforderungen sowie den finalen Entwurf vor, Vor- und Nachteile wurden diskutiert, bevor der Abend gemütlich ausklang bei Buffet und Getränken ausklang. Den Freunden des Bauingenieurwesens, ganz besonders Paul Heber, sei für die tolle Organisation gedankt!

Preis der Bauindustrie Ost für Josiane Giese

Als ein wichtiges Signal der Zukunftssicherung verlieh der Bauindustrieverband Ost e. V. auch in diesen besonders schwierigen Corona-Zeiten seinen Branchenpreis an Absolvent:innen im Bereich des Bauingenieurwesens und der Architektur im Rahmen der verbandsinternen Sitzung des Ausschusses für Personalentwicklung am 9. November 2021 in Leipzig. Mit dem Preis in der Kategorie Bauingenieurwesen wurde Josiane Giese für ihre Diplomarbeit „Experimentelle Untersuchung einer carbonbetonverstärkten Plattenbrücke“ gewürdigt. Der Nachweis der Leistungsfähigkeit von Carbonbeton wurde bei der Verstärkung eines Brückenbauwerks er-

cable-stayed bridge in wood-concrete composite construction. 2nd place went to a discreet and material-saving tension band bridge on floating pontoons. We would like to take this opportunity to thank the municipality of Großpösna, especially Dr. Gabriela Lantzsch and Mr. Patrick Wiederanders, for their great initiative in organising such a design competition.

In order to motivate students from the younger semesters for the discipline of bridge-building as well as building and design in general, the competition was reviewed at an “Get-together of the bridge builders”. All groups explained the design process, the challenges involved, the final design, and advantages and disadvantages of the individual ideas, followed by a cosy finale with a small buffet and cold drinks. Thanks to the Friends of Civil Engineering, especially Paul Heber, for the great organisation!

Construction Industry East Award for Josiane Giese

As an important signal of safeguarding the future, the Bauindustrieverband Ost e. V. also awarded its industry prize to graduates in civil engineering and architecture in these particularly difficult Corona times at the association’s internal meeting of the Human Resources Development Committee on 9th November 2021 in Leipzig. The prize in the civil engineering category was awarded to Josiane Giese for her diploma thesis “Experimen-



Die Preisträger in der Kategorie „Architektur“ Quentin Pagés und in der Kategorie „Bauingenieurwesen“ Josiane Giese | The winners in the „Architecture“ category Quentin Pagés and in the „Civil Engineering“ category Josiane Giese | Photo: Bauindustrieverband Ost e. V.

bracht und die Wirksamkeit der Ertüchtigungsmaßnahme nachgewiesen. Die erfolgreiche Anwendung der Carbonbetonverstärkung im Brückenbau ist ein wichtiger Beitrag für die weitere Forschung und Etablierung dieser Bauweise in der Praxis dar.

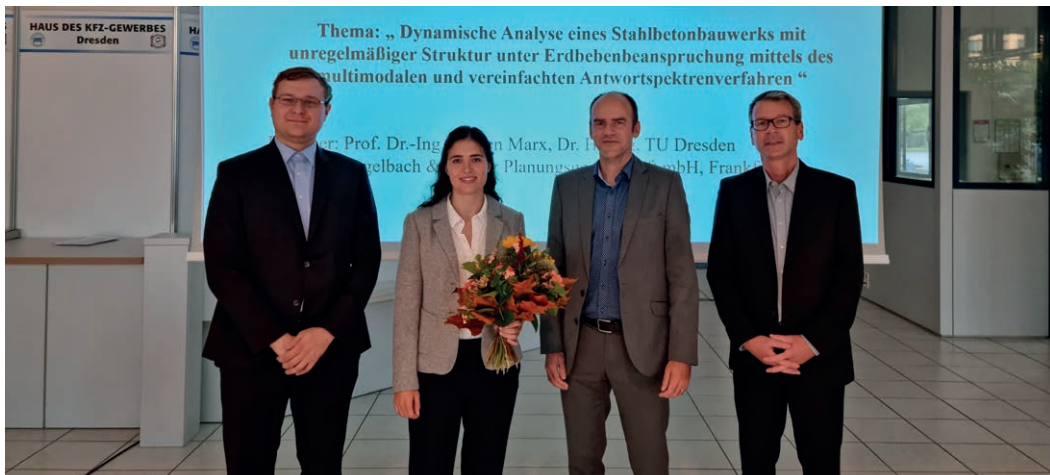
Gustav-Zeuner-Preis für Lisa Marie Ostwald

Am 08.10.2021 wurde im Rahmen der Jahresmitgliederversammlung des Dresdner VDI-Bezirksvereins der Gustav-Zeuner-Preis 2020 an Frau Lisa Marie Ostwald für ihre herausragende Diplomarbeit „Dynamische Analyse eines Stahlbetonbauwerks mit unregelmäßiger Struktur unter Erdbebenbeanspruchung mittels des multimodalen und vereinfachten Antwortspektrumverfahrens“ verliehen. Die Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit dem Frankfurter Ingenieurbüro ENGELBACH + PARTNER Planungsgesellschaft mbH betreut und befasste sich mit der Erdbebenbemessung eines unregelmäßigen Stahlbetongebäudes unter Verwendung des vereinfachten und multimodalen Antwortspektrumverfahrens. Frau Ostwald bewältigte die Aufgabenstellung durch pragmatische, ingenieurmäßige Lösungswege, die sie eigenständig erarbeitete und umsetzte, mit Bravour.

tal investigation of a carbon concrete reinforced slab bridge“. Proof of the performance of carbon concrete was provided in the reinforcement of a bridge structure and the effectiveness of the strengthening measure was demonstrated. The successful application of the innovative carbon concrete reinforcement in bridge construction represents an important contribution to further research and the establishment of this construction method in practice.

Gustav Zeuner Award for Lisa Marie Ostwald

On 08.10.2021, the awarding of the Gustav Zeuner Prize 2020 took place as part of the 2021 Annual Members' Meeting of the Dresden District Association of the VDI. The prize was awarded to Ms Lisa Marie Ostwald for her outstanding diploma thesis entitled "Dynamic analysis of a reinforced concrete structure with irregular geometry under earthquake loading using the multimodal and simplified response spectrum method". The thesis was supervised in cooperation with the Frankfurt engineering firm ENGELBACH + PARTNER Planungsgesellschaft mbH and dealt with the earthquake design of an irregular reinforced concrete building using the simplified and multimodal response spectrum method. Ms Ostwald mastered the task with pragmatic, engineering solutions, which she developed and implemented independently, with flying colours.



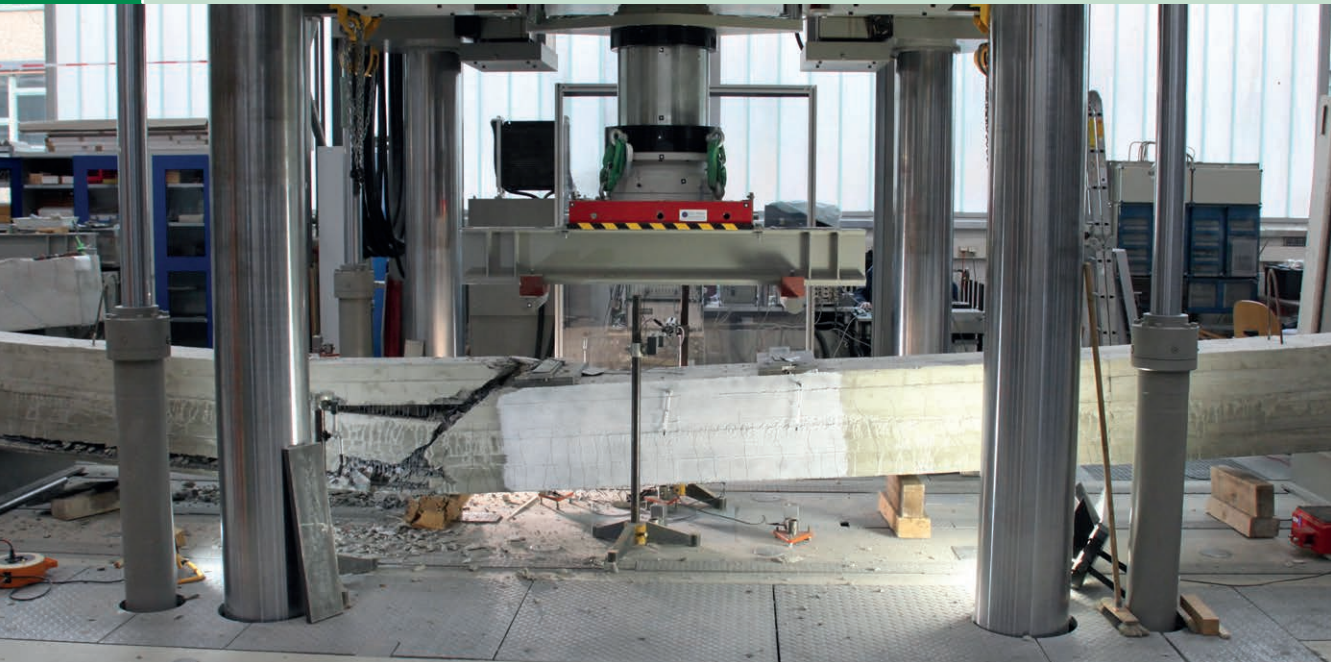
Frau Ostwald nimmt den Gustav-Zeuner-Preis im Beisein ihrer Betreuer entgegen | Ms. Ostwald receives the Gustav Zeuner Award in the presence of her supervisors | Photo: Lorenz Ostwald



OTTO-MOHR- LABORATORIUM

*OTTO MOHR
LABORATORY*





4-Punkt-Biegeversuch eines Stahlbetonbalkens | 4-point-bending-test of a reinforced concrete beam | Photo: Oliver Steinbock

TESTEN AUF HÖCHSTEM NIVEAU TESTING AT THE HIGHEST LEVEL

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

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.

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

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

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

Corona-Nutznießer: ein Hausrotschwanzpaar nistete in einem Bohrkernloch eines Brückenträgers, dessen Prüfung sich um mehrere Monate verzögerte | *Corona beneficiary: a pair of black redstarts nested in a drill core hole of a bridge girder whose testing was delayed by several months* | Photo: Silke Scheerer



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.

Dauerstände im Technikum | *Permanent load stands in the Technikum* | 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 on new or existing buildings*

- 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 Frühjahr waren drei Schüler der siebten Klasse des Martin-Andersen-Nexo Gymnasiums (MANOS) im Rahmen der alljährlich stattfindenden wissenschaftlichen Projektwoche zu Gast am Institut für Massivbau. Wissbegierig und voller Motivation widmeten sich die Schüler dem Thema „Vom Stahl- zum Carbonbeton“, bei dem das Biegen und Brechen nicht nur sprichwörtlich eine zentrale Rolle einnahm. | *This spring, once again three seventh grade students from the Martin-Andersen-Nexo Gymnasium (MANOS) were guests at the Institute of Concrete Structures as part of the annual scientific project week. Inquisitive and full of motivation, the pupils devoted themselves to the topic “From steel reinforced to carbon reinforced concrete”, in which bending and breaking were not only to assume a proverbial central role.* | Photos: Stefan Gröschel

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.

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.

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.

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

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

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*

Strong-floor, testing frames, attachments

- *Two strong floor testing areas with anchor points on a 1.5 m grid | up to 1 MN capacity per testing frame*
- *Frames for the testing of individual elements with weights up to 10 t and heights up to 5 m | various control stations*

Prüfmaschinen und -vorrichtungen für statische Standardtests

- Diverse Prüfmaschinen für statische Druck-, Zug- und Biegeversuche | maximale Lasten: 6 MN Druck, 1 MN Zug | variable Prüfraumhöhen bis max. 4,0 m lichte Einbauhöhe

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

- Prüfzylinderanlage mit 1.000 kN maximale Lasthöhe
- Pulsatoranlage mit bis zu 6 Hz Lastwechselfrequenz
- Hydropulsprüfmaschine mit zwei Belastungsrahmen; Rahmen 1: statische Maximallast: 1.000 kN Druck bzw. Zug; Rahmen 2: statische Maximallast: 250 kN Druck bzw. Zug; dynamische Maximallast: jeweils 80 % vom statischen Wert
- Z 100: statische Maximallast: 100 kN Druck bzw. Zug, dynamische Maximallast: 80 kN Druck bzw. Zug
- ZD 2500: statische Maximallast: 2.500 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: 6 MN 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 1,000 kN*
- *Test bench for cyclic loading with up to 6 Hz load frequency*
- *Hydropuls testing machine with two load frames; frame 1: maximum static load: 1,000 kN compression or tension; frame 2: maximum static load: 250 kN compression or tension; maximum dynamic load: 80% of the static value*
- *Z 100: static load (maximum): 100 kN compression or tension, dynamic load (maximum): 80 kN compression or tension*
- *ZD 2500: static load (maximum): 2,500 kN compression or tension, dynamic load (maximum): 500 kN compression or tension*



Klimakammer zur Lagerung der Proben bis zur Prüfung | *Climatic chamber to storage specimens until testing* | Photo: Ulrich van Stipriaan

Spezielle Prüfmaschinen

- Triaxial-Prüfmaschine: Lasten bis 500 kN Zug oder 5.000 kN Druck je Achse | Lasteinleitung mit starren Platten oder Belastungsbürsten unterschiedlicher Geometrie | Prüfkörpergröße, Standard: 10er Würfel, max. 30er Würfel
- Biaxial-Prüfmaschine: max. 90 kN Zug je Achse
- Triaxialzelle: vertikal max. 125 kN Druck, radial max. 5 MPa | zylindrische Proben mit $\varnothing = 2,54$ cm und $h = 5,08$ cm | Temperaturen bis 150 °C möglich
- Horizontaler 20-MN-Belastungsrahmen: Maximallast: derzeit 10 MN (auf 20 MN aufrüstbar) | 5,0 m maximale Prüflänge (freie Länge) bei Druck- und bis zu 7,50 m bei Zugversuchen
- 10-MN-Bauteilprüfmaschine: Prüfkörpergröße bis $B \times L \times H = 2,5$ m \times 15,0 m \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 mm \times 60 mm \times 60 mm | kinetische Energie des Impaktors: je Achse bis zu 1,8 kJ
- Kleiner Fallgewichtsversuchsstand: 5,0 m maximale Fallhöhe | 49,1 kg maximales Fallgewicht
- Großer Fallversuchsstand (Fallturm) mit Fallschlitten- und Beschleunigungssystem: $H_{max} = 11,0$ m; Fallschlittensystem: maximales Fallgewicht 2.500 kg, maximale Impact-Geschwindigkeit bis 15 m/s | Beschleunigungssystem: maximales Fallgewicht 100 kg, maximale Impact-Geschwindigkeit von 6 m/s bis 250 m/s
- Versuchsstände für den Test von Platten und Fassaden (bis 2,4 m \times 2,4 m) | Kriechstände | Ausstattung für Tests mit variabler Temperaturbeanspruchung

Special testing machines

- *Triaxial testing machine: loads up to 500 kN in tension or 5,000 kN in compression per axle | loads can be introduced using rigid plates or load-bearing brushes of different geometries | test specimen: cubes with 10 cm edge length (standard), max. 30 cm cubes*
- *Biaxial testing machine: max. 90 kN tension per axle*
- *Triaxial cell: 125 kN maximum vertical compression and up to 5 MPa radial pressure | specimen: cylindrical samples with a diameter of 2.54 cm and a height of 5.08 cm | heating up to 150 °C possible*
- *Horizontal 20 MN load frame: 10 MN current maximum load (can be upgraded to 20 MN) | maximum (free) test length: 5 m for compression tests and up to 7.50 m for tensile tests*
- *10 MN testing machine: specimen sizes up to 2.5 m (width) \times 15 m (length) \times 3.7 m (height) | currently maximum weight of specimens: 60 t (can be upgraded to 120 t)*
- *Split-Hopkinson bar for high-dynamic load tests: maximum load rate of 35 m/s | for testing cylindrical test specimens with $\varnothing = 50$ mm and ≤ 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 mm \times 60 mm \times 60 mm | kinetic energy of the impactor: up to 1.8 kJ per axle*
- *Small drop weight test stand: 5.0 m maximum fall height | 49.1 kg maximum drop weight*
- *Large drop test rig (drop tower): 11 m maximum drop height | free falling impactors: maximum drop weight 2,500 kg, max. 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 m \times 2.4 m) | creep test bed | equipment for tests with variable temperatures is available*

Ausrüstung für Bauwerksprüfungen

- Verschiedene Belastungsrahmen für In-situ-Prüfungen an Brücken, Decken, Stützen, Masten, Geländern etc.
- Ultraschallmessgerät | Profometer 3 (Bewehrungsortung) | (Video-)Endoskopie Rückprallhammer | Ausrüstung zur Entnahme von Bohrkernen

Messtechnik

- Messdatenerfassung mittels verschiedener Messverstärker wie MGC, MGCplus, Quantum MX840 und Spider 8 | Vielstellenmessgerät: UPM100 | Transientenrekorder für Messungen bei Hochgeschwindigkeitsversuchen | Geräte zur Fernüberwachung von Messungen | AOS-Messgerät für Faser-Bragg-Gitter-Sensoren
- Besondere Kameras: Hochgeschwindigkeitskameras Photron Fastcam SA5
- Nahbereichsphotogrammetrie: AICON-3D-System mit vier Kameras und Zubehör | GOM ARAMIS 3D- und 2D-System mit Kameras von 5 MP und 12 MP, auch mit Hochgeschwindigkeitskameras und externen Bildserien nutzbar
- Verschiedenste Kraftmessdosen bis 10.000 kN
- Übliche Messmittel | 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

- Brückenkranen in den Laborgebäuden | Gabelstapler (Tragkraft: 3,5 t) | Schwerlastwagen bis 60 t Tragkraft | Geräte zum Anheben und Verschieben von bautechnisch relevanten Lasten bis 120 t durch Einsatz hydraulischer Hebeteknik
- Schweißerausrüstung (elektro und autogen) | mobile Druckölaggregate | Sandstrahlaggregat

Equipment for in-situ tests of structures

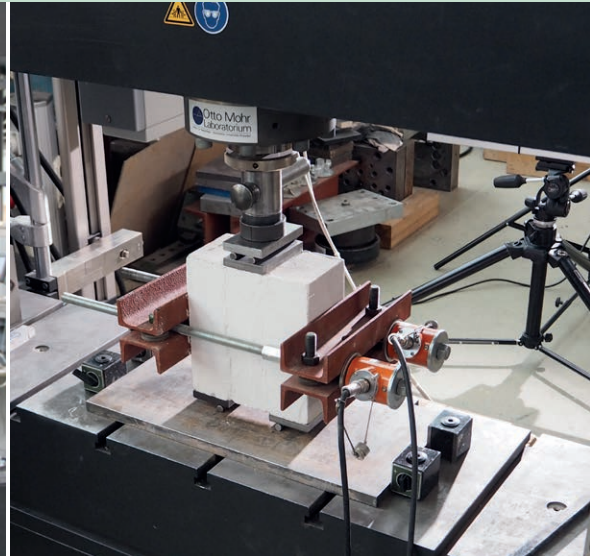
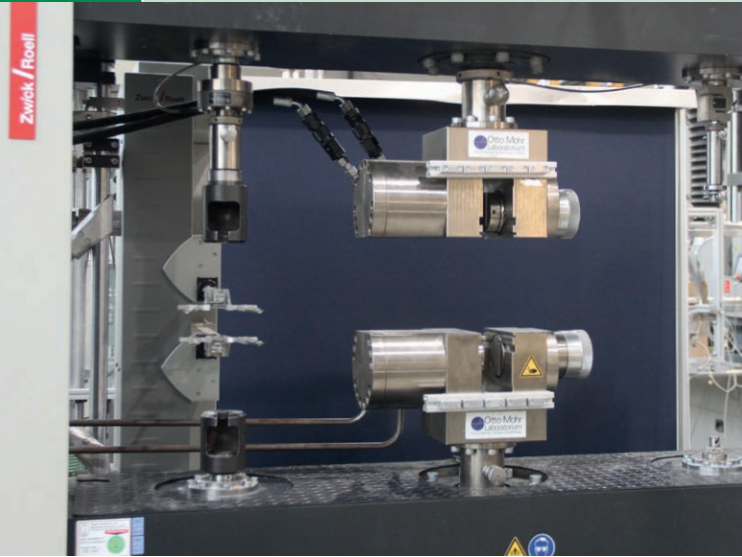
- *Various load frames for in-situ tests on bridges, ceilings, columns, masts, railings, etc.*
- *Ultrasonic measuring device; reinforcement detector (Profometer 3) | (video) endoscopy | rebound hammer | equipment for drilling concrete cores*

Measuring technique

- *data collecting using various measuring amplifiers such as MGC, MGCplus, Quantum MX840 and Spider 8 | UPM100 | Transient recorder for measurements in high-speed tests | devices for remote monitoring of measurements | AOS measuring device for fiber Bragg grating sensors*
- *Special cameras: high-speed cameras Photron Fastcam SA5*
- *Close-range photogrammetry: AICON 3D system with four cameras and accessories | GOM ARAMIS 3D & 2D with 5 MP and 12 MP cameras, also usable with highspeed cameras and external picture series*
- *Various force measuring devices up to 10,000 kN*
- *Standard measuring instruments | fiber Bragg gratings | accelerometers, dynamic force sensors, extensometers | thermocouples and humidity sensors and anemometers | tension cable sensors | laser vibrometer | data logger*
- *Devices for surveying work including inclination sensor and inclinometer | mechanical length measuring devices, etc.*

Other equipment

- *Lift cranes within the laboratory facilities | forklift with a lifting capacity of 3.5 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*



4-Säulen-Universalprüfmaschine Z250; oberer Prüfraum inklusive diverser Spannbacken (links) und nterer Prüfraum mit Verankerungsschienen (rechts) | 4-column universal testing machine Z250; upper test area including various clamping jaws (left) and nterior test area with anchoring rails (right) | Photos: Sabine Wellner, Michael Liebe

IM FOKUS: Z250 – EINE FÜR (FAST) ALLES

IN THE FOCUS: Z250 – ONE FOR (ALMOST) EVERYTHING

Die Universalprüfmaschine Z250 ist eine 4-Säulen-Prüfmaschine für eine Vielzahl von Materialien und Bauteilen. Sie eignet sich für die Forschung und Entwicklung genauso hervorragend wie für eine laufende Qualitätssicherung.

Die Prüfmaschine besteht aus zwei feststehenden und einem beweglichen Querhaupt, welches den oberen vom unteren Prüfraum trennt. Damit sind unterschiedliche Prüfungen auch ohne größeren Werkzeugwechsel möglich. Zugprüfungen werden vorrangig im oberen und Druckprüfungen im unteren Prüfraum durchgeführt. Der obere Prüfraum verfügt über drei Prüfachsen mit Lastkapazitäten zwischen 10 kN bis 250 kN, je nach verwendetem Zubehör. Der untere Prüfraum mit einer Lastkapazität von 250 kN besitzt Verankerungsschienen, in welcher Proben mit einer Länge von bis zu 1,50 m in der Maschine fixiert werden können.

Neben den klassischen statischen Anwendungen im Bereich der Zugversuche, Druckversu-

The universal testing machine Z250 is a 4-column testing machine for a variety of materials and components. It is just as suitable for research and development as it is for continual quality control.

The testing machine consists of two fixed and one moving crosshead, which separates the upper from the lower test area. This allows different tests to be carried out without the need for major tool changes. For example, tensile tests are mainly carried out in the upper test area, and compression tests in the lower test area. The upper test area has three test axes with load capacities between 10 kN and 250 kN, depending on the accessories used. The lower test area with a load capacity of 250 kN has anchoring rails in which specimens with a length of up to 1.50 m can be fixed.

In addition to the classic static applications in the area of tensile tests, compression tests and bending tests under room temperature of usually 20 °C, it is also used with modified additions and conversions for elevated temperature tests in the

che und Biegeversuche unter Raumtemperatur i. d. R. von 20 °C wird sie im Otto-Mohr-Laboratorium, mit modifiziertem An- und Umbau, auch für Temperaturversuche genutzt. So wurden beispielsweise Zugversuche an Carbonbetonproben unter einer Hochtemperaturbeanspruchung durchgeführt.

Durch den offenen Prüfraumen kann die Probe während des Versuchs allseitig beobachtet werden. Auch zusätzliche Messmittel können i. d. R. ohne Platzprobleme ergänzt werden. Während der Prüfung werden die Verformungen über den Traversenweg oder einen Dehnungssensor (Extensometer) und die benötigte Kraft mit einem Kraftaufnehmer aufgezeichnet. An den Proben kann ein MultiXtens-Längenänderungsaufnehmer angebracht werden, ein Wegmesssystem, das zwischen zwei Punkten die Längenänderung bestimmt.

Zudem besteht die Möglichkeit der Messung mit 3D-Kameras und die Auswertung mit der Bildkorrelationssoftware ARAMIS. Die Sensoren erfassen dabei berührungslos und materialunabhängig Koordinaten, Verschiebungen und Oberflächen-dehnungen. Somit kann z. B. die Entstehung und Entwicklung von Rissbildern detailliert dokumentiert werden.

Otto Mohr Laboratory. For example, tensile tests were carried out on carbon concrete specimens under high-temperature stress.

Due to the open test frame, the specimen can be inspected from all sides during the test. Additional measuring equipment can also be added without space constraints. During the test, the deformations are recorded via the crosshead or an extensometer and the required force is recorded with a load cell. A MultiXtens extensometer, a displacement measuring system that determines the change in length between two points, can be attached to the specimens.

In addition, the Otto Mohr Laboratory offers the possibility of measurement in 3D with two camera set-up and evaluation with the image correlation software ARAMIS. The sensors record coordinates, displacements and surface strains without contact and independent of the material. Thus, for example, the formation and development of crack patterns can be documented in detail.

Technische Informationen | *Technical information*

Maximale statische Prüfkraft | *Maximum static test load* 10 / 50 / 250 kN

Prüfraummaße ohne Ausstattung | *Test chamber dimensions without equipment*

Breite | *Width* 1.650 / 1.030 mm

Höhe | *Height* 1.100 mm

Maximaler Traversenhub | *Maximal crosshead lift* 1.623 mm

Zubehör | *Accessoires*

- Diverse Spannsysteme mechanisch/hydraulisch | *Various clamping systems mechanical/hydraulic*
- Verschiedene Klemmvorrichtungen für Flach- und Rundproben | *Various clamping devices for flat and round specimens*
- Hydraulik-Spannbacken: Lastkapazität bis 250 kN | *Hydraulic jaws: load capacity of up to 250 kN*
- Keilschraub-Spannbacken: Lastkapazität bis 50 kN | *Wedge screw jaws: load capacity of up to 50 kN*
- Schraub-Spannbacken: Lastkapazität bis 50 kN | *Screw jaws: load capacity of up to 50 kN*
- Zugadapter zu Adaptierung der Proben | *Tension adapter for adaptation of the specimens*
- Verankerungsschienen zur Fixierung der Proben | *Anchoring rails for mounting the specimens*
- Zwei Heizstände mit Temperaturregelung und Absaugmöglichkeit | *Two heating stands with temperature control and suction possibility*
- Photogrammetrie mit 12 MP Kameras und GOM-ARAMIS-Software | *Photogrammetry with 12 MP cameras and GOM-ARAMIS software*



Rahmenkonstruktion unterhalb der Kassettendecke | Frame construction underneath the cassette slab | Photo: Sabine Wellner

WEITERE BELASTUNGSTESTS IM BEYER-BAU FURTHER LOAD TESTS IN THE "BEYER-BAU"

Das Otto-Mohr-Laboratorium war auch im Jahr 2021 mit mehreren Bauteilprüfungen im Rahmen der laufenden Sanierung im Beyer-Bau beschäftigt. So wurden diesmal u.a. Lagebestimmungen und Aufmaße von Tragstrukturen, Haftzugprüfungen zur Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit und vor allem experimentelle Belastungsversuche ausgeführt.

Das Hauptaugenmerk lag auf der Prüfung einer für den Beyer-Bau einzigartigen Kassettendecke. Die Decke besteht aus einem Haupt- sowie drei Nebenunterzügen und den darin einachsiger spannenden Deckenspiegeln. Im Rahmen der experimentellen Untersuchung sollte Tragsicherheit des Hauptunterzugs sowie einer der drei Nebenunterzüge untersucht werden. Des Weiteren war der Durchstanznachweis eines Deckenfeldes unter einer eher ungewöhnlichen Last gefordert, nämlich für einen Roboter, da zukünftig

In the year 2021, the Otto Mohr Laboratory was involved again with several structural tests as part of the continuous reconstruction work in the Beyer-Bau. This time, for example, the position of load-bearing structures and their dimensions were determined, adhesive tensile tests were carried out to determine the surface tensile strength and, above all, experimental load tests were carried out.

A unique cassette ceiling was the focus this time. The ceiling consists of a main beam and three secondary beams and the uniaxial spanning ceiling tiles. Within the experimental tests, the structural safety of the main beam and one of the three secondary beams was to be investigated. Furthermore, a punching shear test on a ceiling panel under a rather unusual load was required, namely for a robot, as the use of a self-propelled robot on this ceiling is planned in the future.

die Nutzung eines selbstfahrenden Roboters auf dieser Decke geplant ist.

Für die Prüfung des Haupt- und Nebenunterzugs wurden Belastungszyklen sowie die Beanspruchung der Decke unter einer 20-minütigen Dauerlast durchgeführt, um das Tragverhalten der Kassettendecke schrittweise und auch bei wiederholter Einwirkung beurteilen zu können. Während der Belastungsprüfung der Decke wurden Durchbiegungen im Zehntelmillimeterbereich gemessen. Dabei wurden keine nennenswerten plastischen Verformungen, Abplatzungen oder Verschiebungen festgestellt, welche auf eine sofortige und bleibende Schädigung der Decke hingedeutet hätte. Im Rahmen der experimentellen Belastungsversuche konnte festgestellt werden, dass die Kassettendecke über dem Erdgeschoss über eine Tragfähigkeit verfügt, die über das geforderte Maß hinausgeht.

Im Rahmen der fortschreitenden Betonsanierung werden derzeit Decken und Unterzüge mit Carbonbeton verstärkt. Nach dem vollständigen Rückbau des Dachstuhls im Ostflügel wird dieser nun als Stahl-Holzkonstruktion neu errichtet. Des Weiteren schreitet der Innenausbau, mit dem Einziehen neuer Decken und Wände sowie dem Einbau neuer Treppenanlagen, weiter voran. Zudem werden unzählige Holzeinrichtungen wie Stühle, Schränke, Türen und deren Zargen fachgerecht aufgearbeitet.

For the testing of the main and secondary beams, load cycles as well as the loading of the slab under a 20-minute continuous load were carried out in order to be able to assess the load-bearing behavior of the cassette slab step by step and under repeated action. Deflections in the range of tenths of a millimeter were measured during the loading test of the slab. No significant plastic deformations, spalling or displacements were detected, which would have indicated immediate and permanent damage to the slab. During the experimental load tests, it was determined that the cassette slab above the first floor has a load-bearing capacity that exceeds the required level.

As part of the continuing concrete reconstruction, slabs and beams are currently being reinforced with carbon concrete. After the complete removal of the roof in the eastern part of the building, it will be rebuilt as a steel and timber structure. Furthermore, the interior work is progressing with the construction of new floors and walls as well as new staircases. In addition, countless wooden furnishings such as chairs, cabinets, doors and their frames are being professionally refurbished.



Stahlkonstruktion des neuen Dachstuhls | *Steel construction for the new roof* | Photo: Ulrike Penzl, H.F.Z. Architekten

► **Titel | Title**

Bauwerksuntersuchungen im Rahmen der Sanierung des Beyer-Baus der TU Dresden

Investigations of the building structure within the scope of the renovation of the „Beyer-Bau“ of the TU Dresden

► **Auftraggeber | Client**

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Dresden II, Sachgebiet Hochbau 2, Dresden

► **Zeitraum | Period**

Seit 01/2017 (fortlaufend)

► **Projektleiter | Project manager**

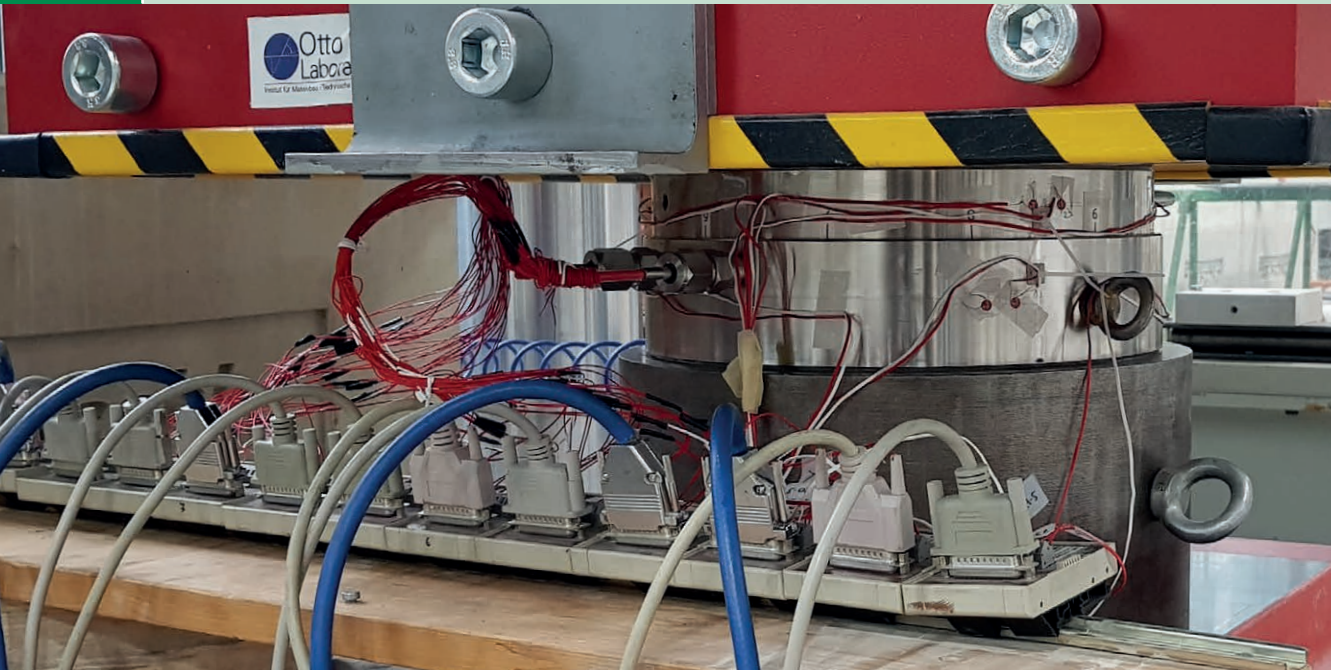
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

► **Bearbeiter | Contributors**

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner, Dr.-Ing. Torsten Hampel

► **Versuchsdurchführung | Test execution**

Andreas Thieme, Heiko Wachtel, Bernd Wehner



Lastzelle im Prüfstand | Load cell in the testing machine | Photo: Roland Gärtner

HOCHDRUCK ERWÜNSCHT

HIGH PRESSURE DESIRED

PDC Machines ist ein Unternehmen, das weltweit technische Lösungen für Spezialgas- und chemische Verarbeitungsanlagen anbietet. Ihre hochmodernen Produkte sind die erste Wahl von Unternehmen aus den Bereichen Industriegas und erneuerbare Energien. Sie arbeiten eng mit ihren Kunden zusammen, um maßgeschneiderte Produkte – von Membrankompressoren bis hin zu Anlagen für alternative Energien – zu entwickeln, zu fertigen, zu testen und zu installieren.

Membrankompressoren von PDC Machines sind eine Spezialform von Kolbenverdichtern zur kontaminationsfreien Verdichtung von Gasen, bei denen ein Aufbau aus drei Metall-Membranen zum Einsatz kommt. Diese Maschinen sind äußerst sicher, robust und zuverlässig.

Für Wasserstoffanwendungen werden zur Speicherung und zur Betankung von Fahrzeugen Drücke von über 1.000 bar benötigt. Diese hohen Drücke machen es erforderlich,

PDC Machines is a company that provides engineered solutions for speciality gas and chemical processing plants worldwide. Their state-of-the-art products are the first choice of industrial gas and renewable energy companies. They work closely with their customers to design, manufacture, test and install custom products ranging from diaphragm compressors to alternative energy equipment.

Diaphragm compressors from PDC Machines are a special type of reciprocating compressor for the contamination-free and leak-tight compression of gases, using a three-metal diaphragm design. These machines are extremely safe, robust and reliable.

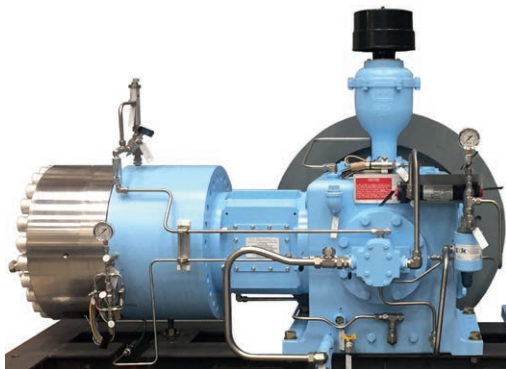
Hydrogen applications require pressures above 1,000 bar for storage and vehicle refuelling. These high pressures require that the metal diaphragms in such a compressor are clamped with correspondingly large preloads. In order to meet market demands for higher flow rates for hydrogen compressors at increasing pressures,

dass die Metallmembranen in einem solchen Kompressor mit entsprechend großen Vorlasten eingespannt werden. Um den Marktanforderungen nach größeren Durchflussraten für Wasserstoffkompressoren bei zunehmendem Druck nachzukommen, werden die Membrankompressoren bei PDC Machines kontinuierlich weiterentwickelt und im Sinne der Robustheit und Zuverlässigkeit untersucht. Um den Beanspruchungszustand der Membranen messtechnisch zu erfassen, wurde von PDC Machines eigens eine Lastzelle entwickelt. Am Otto-Mohr-Laboratorium steht mit der 10-MN-Prüfmaschine eine Anlage zur Verfügung, mit der die erforderlichen Kräfte erreicht werden können. Damit konnten die gewünschten Versuche zeiteffizient und kostengünstig durchgeführt werden. Die Umsetzung der Versuche erfolgte mit einem erfahrenen Team von Ingenieuren und Messtechnikern.

Die durchgeführten Versuche erlauben ein besseres Verständnis des Spannungszustandes der Metallmembranen in einem Membrankompressor und werden in die zukünftige Auslegung sicherer und zuverlässiger Verdichtersysteme bei PDC Machines einfließen.

diaphragm compressors at PDC Machines are continuously developed and tested for robustness and reliability. In order to measure the stress condition of the diaphragms, PDC Machines has developed a load cell specifically for this purpose. At the Otto Mohr Laboratory, the 10 MN testing machine provides a facility on which the required forces can be achieved. This made it possible to carry out the desired tests in a time-efficient and cost-effective manner with an experienced team of engineers and measuring technicians.

The tests carried out allowed a better understanding of the stress state of the metal diaphragms in a diaphragm compressor and will be used in the future design of safe and reliable compressor systems at PDC Machines.



Einstufiger Membranverdichter mit Getriebeeinheit | *Single stage diaphragm compressor with transmission unit* | Photo: PDC Machines, Dresden

- ▶ **Titel | Title**
Hochdruck für Wasserstoffanwendung
High pressure for hydrogen applications
- ▶ **Auftraggeber | Client**
PDC Machines, Dresden
- ▶ **Zeitraum | Period**
09/2021
- ▶ **Projektleiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**
Doreen Sonntag, Andreas Thieme, Heiko Wachtel



Decke im Sportkomplex | Floor in the sports hall | Photo: Franz Bracklow

SCHWINGUNGSMESSUNG IN EINEM SPORTKOMPLEX

VIBRATION MEASUREMENT IN A SPORTS COMPLEX

Im Neubau eines Sportkomplexes in Leipzig sollte mittels einer gezielten Anregung das Schwingverhalten ausgewählter Fertigteilbinder in Längs- und Querrichtung auf der Rohdeckenoberseite messtechnisch erfasst werden. Für die Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften der Decke wurden modale Kennwerte durch eine definierte Anregung ermittelt. Die nachträgliche Bestimmung der charakteristischen Eigenfrequenzen erfolgte in einem relevanten Frequenzbereich bis zu 50 Hz.

Für die Bewertung verschiedener Anregungsspektren wurden unterschiedliche Belastungsszenarien dargestellt. Neben den Beschleunigungen sollte zudem die Eigenfrequenz infolge des Lastfalls „Personen springen auf der Decke“ gemessen und abgeleitet werden.

Um das Tragverhalten eines Binders zu erfassen, wurden drei Beschleunigungssensoren

In a new sports complex in Leipzig, the vibration behaviour of selected precast beams had to be measured in the longitudinal and transverse directions. For the characterization of the dynamic properties of the beam, modal characteristic values were determined by a defined impulse. The subsequent determination of the characteristic natural frequencies was carried out in a relevant frequency up to 50 Hz.

Different load scenarios were presented for the evaluation of different excitation spectra. In addition to the accelerations, the natural frequency due to the load case “people jumping on the ceiling” was also to be measured and derived.

To record the load-bearing behaviour of the beam, three accelerometers were applied to the longitudinal axis of the beam. This was done in the centre of the field, at the quarter-point of the span and at a distance from the support of 1/6

auf der Längsachse des Binders appliziert. Dies erfolgte in Feldmitte, im Viertelpunkt der Spannweite und in einem Auflagerabstand von $1/6$ der Spannweite. An diesen Punkten sind jeweils die Maxima der ersten drei Eigenschwingformen zu erwarten und somit durch die Messtechnik gut detektierbar. Zusätzlich wurden in Feldmitte von zwei weiteren Bindern Beschleunigungsmesser für die Überprüfung der Schwingeneigenschaften quer zur Spannrichtung verwendet. Die Applikation der Sensoren erfolgte direkt auf der Rohdecke. Hierfür wurden Metallscheiben mithilfe eines Zweikomponentenklebstoffs auf der Betonoberfläche festgeklebt. Diese konnten nach der Messaufgabe rückstandsfrei wieder entfernt werden. Die Befestigung der Beschleunigungssensoren erfolgte anschließend mittels Dauermagneten auf den Metallscheiben.

Für das Schwingverhalten der Binder in Längsrichtung konnte festgestellt werden, dass eine Eigenfrequenz von 17 Hz vorherrscht. Der Dämpfungsgrad der Binder konnte aus den gemessenen Daten ermittelt werden und betrug zwischen 1,5 % und maximal 2 %. Für die Verteilung der Belastung quer zur Spannrichtung wurde festgestellt, dass die Anregung der Binder mit zunehmender Entfernung zur Erregerstelle deutlich abnimmt und dass eine Belastung auf einem Binder zur Folge hat, dass die benachbarten Träger mitschwingen.

Infolge der Anregung waren hierbei ebenfalls eine dominante Eigenfrequenz von 17 Hz sowie die Aktivierung eines Frequenzbands von 5,8 bis 10,8 Hz bzw. 5,9 bis 12 Hz erkennbar.



Schwingungsaufnehmer über dem Binder | *Vibration transducer above the truss* | Photo: Franz Bracklow

of the span. At each of these points, the maxima of the first three natural modes of vibration are to be expected and are therefore easily detectable by the measurement technique. In addition, in the centre of the field of two other beams, accelerometers were used to check the vibration characteristics transverse to the span direction. The sensors were applied directly on the bare floor. For this purpose, metal discs were glued to the concrete surface with a two-component adhesive. These could be removed again without leaving any residue after the measurement task. The acceleration sensors were then attached to the metal discs using permanent magnets.

For the vibration behaviour of the beams in the longitudinal direction, it could be determined that a natural frequency of 17 Hz is dominant. The degree of damping of the beams was determined from the measured data and it was between 1.5 % and a maximum of 2 %. For the distribution of the load transverse to the span direction, it was determined that the excitation of the beams decreases significantly with increasing distance from the excitation point and that a load on one beam causes the neighbouring beams to resonate.

As a result of the excitation, a dominant natural frequency of 17 Hz and the activation of a frequency band of 5.8 Hz to 10.8 Hz and 5.9 Hz to 12 Hz were also evident.

- ▶ **Titel | Title**
Schwingungsmessung in einem Sportkomplex
Vibration measurement in a sports complex
- ▶ **Auftraggeber | Client**
Stadt Leipzig, Amt für Gebäudemanagement, Sachgebiet
Bildungs- und Sportbauten
- ▶ **Zeitraum | Period**
09/2021 – 10/2021
- ▶ **Projektleiter | Project manager**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
- ▶ **Bearbeiter | Contributors**
Dr.-Ing. Marcus Hering, Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow,
Bernd Wehner



DAS INSTITUT



**„Man muß mit den richtigen Leuten
zusammenarbeiten, sie achten und motivieren.
Dauerhafter Erfolg ist nur im Team möglich.“**

Klaus Steilmann

Im Vordergrund unserer Arbeit stehen Forschung und Lehre. Das Gesamtbild unseres Instituts macht allerdings noch viel mehr aus. Es finden Exkursionen mit unseren Studierenden statt und für die Berufsorientierung betreiben wir Nachwuchsförderung in Schülerprojektwochen und bei öffentlichen Veranstaltungen. Den Wissenstransfer zwischen Forscherinnen und Forschern sowie Vertretern der Wirtschaft und der Politik intensivieren wir auf Treffen und Konferenzen. Teambildende Projekttag, sportliche Events, Ehrungen von ehemaligen Wegbegleitern und einiges mehr schaffen eine Vielfalt, die unsere tägliche wissenschaftliche Arbeit bereichert. Auch 2021 wurden pandemiebedingt viele Angebote digital durchgeführt oder verschoben.

Beiträge von:

Stefan Gröschel und zum Teil aus dem BauBlog der Fakultät Bauingenieurwesen: <http://baublog.tu-dresden.de>

SEUB, DBBP UND DBBS

Digitale Symposien



Screenshot der virtuellen Empfangshalle für die Teilnehmer:innen der Symposien | Foto: Expo-IP GmbH; Stefan Gröschel

Das erste Dresdner Brückenbausymposium (DBBS) fand bereits 1991 unter der Leitung von Professor Jürgen Stritzke statt. Dreißig Jahre später ist es eine fest etablierte Größe im Veranstaltungskalender vieler Bauingenieure. Nachdem die 30. Auflage des bekannten Dresdner Symposiums im Vorjahr pandemiebedingt leider kurzfristig ausfallen musste, waren wir für den neuen Anlauf guter Dinge. Doch die aktuelle Lage der Verbreitung des Coronavirus (COVID-19) beeinflusste unser Leben und unsere Art, uns zu begegnen, auch 2021 sehr stark. Das über allem stehende Ziel, die Gesundheit nicht zu gefährden, erforderte in diesen Zeiten neue Ideen und gleichzeitig die Bereitschaft, das Bestmögliche aus der Situation zu machen. Aus diesem Grund entschieden wir uns dazu, die Dresdner Symposien SEUB (Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen) und DBBS (Dresdner Brückenbausymposium) sowie die im zweijährigen Rhythmus stattfindende Verleihung des Deutschen Brückenbaupreises (DBBP) als digitale Variante anzubieten.

Die Corona-Pandemie konnte das Interesse der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zum Glück nicht mindern und das verdeutlicht, welchen hohen Stellenwert das DBBS mittlerweile besitzt.

Knapp 1.000 Anmeldungen für die beiden Symposien und die Verleihung des Deutschen Brückenbaupreises waren eingegangen. Über 45 Aussteller präsentierten ihre Dienstleistungen und Produkte an interaktiven digitalen Messeständen. Dabei wurde teilweise auch die Möglichkeit für Live-Chats angeboten, um die beliebten persönlichen Gespräche auch unter den neuen Bedingungen führen zu können.

Ein solch langjähriges Veranstaltungsformat regelmäßig organisiert zu wissen, ist immer Teamarbeit, aber auch einmal mehr der Einsatz von Verantwortlichen, die an entsprechenden Stellen engagiert wirken. In diesem Sinne geht unser herzlicher Dank an Angela Heller.



Digitaler Ausstellerstand des Instituts für Massivbau | Foto: Expo-IP GmbH, Florian Bieler und Stefan Gröschel

ES GEHT LOS!

Erfolgreiche Übergabe der CUBE-Baustelle an die Arbeitsgemeinschaft



Übergabe der CUBE-Baustelle am 8. Januar 2021 | Foto: Sandra Kranich

Pünktlich zum Auftakt des neuen Jahres wurde am 8. Januar 2021 die Baustelle an der Ecke Zellescher Weg und Einsteinstraße, dem Standort des Gebäudes aus Carbonbeton CUBE, an die Arbeitsgemeinschaft (ARGE) übergeben.

Die ARGE besteht aus den Unternehmen Hentschke Bau GmbH aus Bautzen und bendl HTS Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG aus Sebnitz. Beide Unternehmen stellen sich der einzigartigen Herausforderung, das weltweit erste Haus aus Carbonbeton zu bauen. Beim Bau des CUBE wird gänzlich auf Stahl im Beton verzichtet. Zum Einsatz kommen überwiegend mattenförmige Bewehrungen aus Carbonfasern sowie vereinzelt Bewehrungsstäbe aus Glas. Das 220 m² große Gebäude vereint die Forschungsergebnisse aus dem Bauforschungsprojekt C³ – Carbon Concrete Composite, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird, die nun Anwendung in der Praxis finden und im Experimentalbau CUBE münden.

Der CUBE besteht aus zwei wesentlichen Elementen. Eins davon ist die quadratische BOX mit einer großzügigen Fensterfront, die als zweigeschossiges Bauwerk u. a. drei Laborräume beinhaltet, die im Rahmen einer Langzeitstudie etwa zehn Jahre lang messtechnisch überwacht werden. Anhand der separat regulierbaren Raumklimata kann beispielsweise ein gezielter Vergleich von unterschiedlichen klimatischen Einwirkungen auf die Carbonbetonbauweise erfolgen.

Das zweite Element sind zwei baugleiche, einander gegenüber angeordnete Schalen, die Dach und Wand in einem sind. Die Oberflächen dieser „TWIST“-Schalen werden mit einer speziell für das Projekt entwickelten Betonmischung in Sichtbetonqualität hergestellt. Während die BOX halbautomatisch im Fertigteilwerk produziert wird, werden die TWIST-Elemente direkt vor Ort an der Baustelle im Spritzbetonverfahren realisiert.

Bei der Übergabe der CUBE-Baustelle waren folgende Unternehmen und Institutionen vertreten:

- Generalplaner: AIB GmbH, Bautzen,
- Planer Tiefbau: Ingenieurbüro für Abwasser UmwelttechnikUmweltschutzberatung, Dresden,
- Bauherr und Nutzer: TU Dresden, Institut für Massivbau, Dresden,
- Eigentümer: Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB), Dresden,
- Arbeitsgemeinschaft: Hentschke Bau GmbH, Bautzen und bendl HTS Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG, Sebnitz,
- Tiefbau: TRS Tief- und Rohrleitungsbau GmbH Stolpen, Bannewitz.

Nun konnten die Bauarbeiten weitergehen, ganz im Sinne des Mottos „Let’s get CUBE“.

Im Betonwerk Oschatz wurden in den kommenden Wochen die Wände für die BOX gefertigt. Zeitgleich fanden Herstellungstests der TWIST-Elemente vor Ort auf der Baustelle statt.



Sogar das Bauschild wird mit Carbonbeton realisiert | Foto: Stefan Gröschel



Die spätere Position der BOX und der TWIST-Flügel ist schon erahnbar. | Foto: Stefan Gröschel

LANGE NACHT DER WISSENSCHAFT

Virtueller Rundgang durch die Labore der Fakultät

Am 9. Juli startete um 17.00 Uhr die Lange Nacht der Wissenschaften – in diesem Jahr als digitales Event. Wie in den vergangenen Jahren soll Interessierten ein möglichst umfangreicher Einblick in die Forschungsarbeit der verschiedensten wissenschaftlichen Einrichtungen der Stadt Dresden vermittelt werden.

Woran forschen die Bauingenieure an der TU Dresden? Wir öffnen unsere Labore und zeigen, wie wissenschaftliche Arbeit an der Fakultät Bauingenieurwesen aussieht. Wir waren mit der Videokamera und unseren beiden Studierenden Kaja und Paul in verschiedenen Laboren der Fakultät zu Besuch. Dr.-Ing. Marcus Hering führte uns durch das Otto-Mohr-Labor und Prof. Manfred Curbach empfing die beiden Studierenden auf der Baustelle des Carbonbetonhauses CUBE. Entstanden sind kleine, sehr sehenswerte Filme, welche im YouTube-Kanal der TU Dresden abgerufen werden können.



Eine Zusammenstellung aller an der Fakultät neu entstandener Filme ist unter folgendem Link zu finden:



<https://www.youtube.com/playlist?list=PLYbIYD-s2I0oKLD6tGxB8stk-pQz9bwR3k>



Kaja Liesegang und Paul Heber erkunden das Otto-Mohr-Laboratorium und die CUBE-Baustelle | Alle Videoausschnitte: Stefan Gröschel und André Terpe

GOLDENE EHRENNADEL

TU Dresden vergibt Ehrenmedaille und sechs Ehrennadeln 2021

Mit einer Ehrenmedaille für Prof. Stefan Bornstein und sechs Ehrennadeln für Alexander Busch, Prof. Manfred Curbach, Prof. Horst-Peter Götting, Prof. Ellen Hieckmann, Prof. Michael Kobel sowie Prof. Kai Simons wurden im Oktober 2021 Mitglieder der TU Dresden geehrt, die sich durch außergewöhnliche Verdienste und durch besondere Einzelleistungen um das Wohl der Universität verdient gemacht haben.

Prof. Manfred Curbach tritt stets mit vollstem Engagement für die Interessen der TU Dresden ein. Auf dem Gebiet des Textil- und Carbonbetons hat er Pionierarbeit geleistet und ist in besonderem Maß in der Wissenschaft vernetzt. Er verantwortete mit großem Erfolg eine Amtsperiode des Prorektorats für Universitätsentwicklung der TU Dresden. Manfred Curbach steht gleichermaßen für Interdisziplinarität, Internationalität und erfolgreichen Technologietransfer und ist ein scharfsinniger und tiefgründiger Mitstreiter in den Gremien der Universität.

Seit 1994 hat Herr Prof. Curbach die Professur für Massivbau an der Fakultät Bauingenieurwesen inne und ist seit 2013 Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina sowie Sprecher des BMBF-Konsortiums „C³ – Carbon Concrete Composite“.

Ausgezeichnet wurde er 2016 mit dem Deutschen Zukunftspreis, dem Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation.



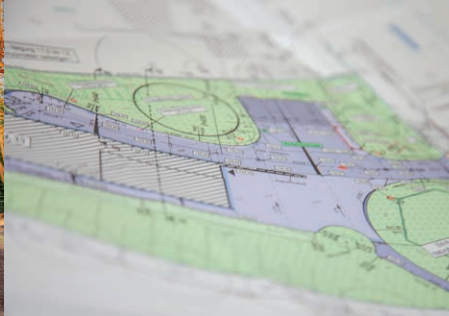
Rektorin Prof. Ursula M. Staudinger (l.) und der Kanzler Dr. Andreas Handschuh (r.) überreichen die Ehrung an Prof. Manfred Curbach | Foto: Michael Kretzschmar



Detailaufnahme der Goldenen Ehrennadel der TU Dresden | Foto: Stefan Gröschel



Impressionen
von der Baustelle zum
Carbonbetonhaus CUBE
Januar 2021 bis Dezember 2021 |
Fotos: Stefan Gröschel







Ammar Babiker freut sich über die gelungene Verteidigung | Ammar Babiker is happy about the successful defence | Photo: Stefan Gröschel

PROMOTIONEN

Ammar Siddig Ali Babiker, 25. März 2021

STAHLFASERBETON SCHNELL BELASTET *STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE FAST LOADED*

In dieser Arbeit wird das Verhalten von Normal- und Stahlfaserbeton (engl. steel fiber reinforced concrete) unter quasi-statischer und dynamischer Belastung untersucht. Der Fokus der Arbeit liegt dabei auf den Untersuchungen unter dynamischer Belastung. Frühere Forschungen haben gezeigt, dass die Zugabe von Stahlfasern viele der gewünschten technischen Eigenschaften des erhärteten Betons, wie Bruchzähigkeit, Biegefestigkeit, Ermüdungsfestigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit sowie Rissbildung, erheblich verbessern kann. In diesem Zusammenhang weisen viele experimentelle und numerische Studien darauf hin, dass die Festigkeit solcher Verbundwerkstoffe ratenabhängig ist, d. h. sie wird durch die Erhöhung der dynamischen Belastung stark beeinflusst. Dieser Effekt gilt sowohl für die Verbundwerkstoffkomponenten Beton und Stahlfasern als auch für die Verbundwechsel-

This study investigates the behavior of plain and steel fiber reinforced concrete exposed to quasi-static and dynamic loadings. However, the most significant effort has been directed to the investigation of plain and fiber enforced concrete under dynamic loading. Previous research has shown that the addition of steel fibers to the cementitious materials can significantly enhance many of the desired engineering properties of hardened concrete, e.g. fracture toughness, flexural strength, fatigue resistance, thermal shock or splitting. Many experimental and numerical studies indicate that the strength of such composites is rate dependent, i.e., it is clearly affected by increasing the dynamic loading, known as strain rate effect. This concept applies to the composite components, including concrete, short fibers as well as the bond interaction between them.

wirkung zwischen ihnen. Das Phänomen ist allgemein als Dehnrateneffekt bekannt.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden numerische Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluss der Zugabe von Stahlfasern in die Betonmatrix systematisch zu analysieren und die Abhängigkeit dieses Materials von der Belastungsrate zu untersuchen. Es wurden drei numerische Studien durchgeführt. In der ersten Studie wurde das Verbundverhalten zwischen Stahlfaser und der angrenzenden Betonmatrix mit verschiedenen Ansätzen mit der Finite-Elemente-Software LS-DYNA untersucht. Die Ergebnisse wurden mit zur Verfügung stehenden experimentellen Daten verglichen.

In der zweiten Studie wurde das Verhalten von Betonplatten mit und ohne Fasern unter Impactbelastung untersucht. Die Modelle wurden entwickelt und kalibriert, ihre Qualität und Zuverlässigkeit wurden in numerischen Fallstudien bewertet. Die berechneten Ergebnisse wurden mit experimentellen Daten verifiziert.

Das dynamische Verhalten von Beton ohne und mit Fasern wurde in der dritten Studie untersucht, wobei sowohl das Druck- als auch das Zugverhalten untersucht wurden. Ziel war die Untersuchung des Beitrags der Stahlfasern zur globalen Festigkeit bzw. zum Widerstandsverhalten unter dynamischer Belastung. Es wird gezeigt, dass das vorgeschlagene Betonmodell das druck- und zugdynamische Verhalten des un- und des faserverstärkten Betons gut abbilden und die experimentellen Ergebnisse realistisch vorhersagen kann.

Schließlich folgten numerische Fallstudien zur Abhängigkeit der Ergebnisse von Netzgröße, Fasergehalt, dem Verhältnis von Faserlänge zu -durchmesser, Betonfestigkeit und Belastungsrate. Die Parameter mit dem größten Einfluss wurden identifiziert. Es wurde gezeigt, dass die genannten Parameter aktiv am Gesamtverhalten der Materialien beteiligt sind und eine wesentliche Rolle dabei spielen können.

In this research, numerical investigations were performed to systematically analyze the effect of adding steel fibers into the concrete matrix and to investigate the loading rate dependent on such material. Three numerical programs were conducted. In the first program, the bond behavior between the steel fiber and adjacent concrete matrix was studied using various approaches in LS-DYNA finite element software. The results were compared with the available experimental data in the field.

In the second program, the impact behavior of plain and steel fiber enforced concrete slabs was investigated. The models were developed and calibrated. Their quality, reliability, and limitations were assessed by conducting a series of numerical case studies. The computed results were verified by comparison with the available experimental data.

The dynamic behavior of plain and steel fiber reinforced concrete was investigated in the third program, including both compressive and tensile behavior. This part aimed to study the contribution of steel fibers to the global strength or rather a resistance behavior of fiber reinforced concrete under dynamic loading. It is demonstrated that the proposed concrete model can well capture the compressive and tensile dynamic behavior of plain concrete and fiber reinforced material and can realistically predict the experimental results.

Numerical case studies followed, including mesh size-dependent, fiber content, fiber aspect ratio, concrete strength class, and loading rate. The most influencing parameters were identified. It was shown that the mentioned parameters are actively involved in the overall behavior of the materials and can play an essential role in it.

► **Titel | Title**

Numerische Modellierung von Stahlfaserbeton-Verbundwerkstoffen unter hohen Belastungsraten

Numerical modeling of steel fiber reinforced concrete composite exposed to high loading rate

► **Gutachter | Experts**

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-744961>



Philipp Löber nach seiner erfolgreichen Verteidigung | Philipp Löber after his successful defence | Photo: Stefan Gröschel

Philipp Löber, 13. April 2021

MAKROGLASFASERN FÜR BODENPLATTEN

MACRO GLASS FIBRES FOR SLAB FOUNDATIONS

Im konstruktiven Betonbau haben sich Makrofasern zur isotropen Verstärkung vorwiegend statisch unbestimmter Bauteile etabliert. Die Fasern werden dem Frischbeton beigemischt und ermöglichen es dem Festbeton bei üblichen Fasergehalten von ~ 1 Vol.-%, auch nach Rissbildung einen gewissen Grad an Zugspannungen im Riss übertragen zu können. Die übertragbaren Spannungen nehmen i. d. R. mit zunehmender Rissweite ab.

Hauptanwendungsgebiet sind Bodenplatten und Industrieböden, deren Systemtragfähigkeit aufgrund ihrer hohen statischen Unbestimmtheit nicht auf die Querschnitttragfähigkeit begrenzt ist. Da die Tragwerk-Baugrund-Interaktion komplex ist, ist eine Aussage zu den Mindestanforderungen an das Entfestigungsverhalten konstruktiver Faserbetone zur Gewährleistung eines duktilen und überkritischen Systemtragverhaltens schwierig. Der Einsatz von Faserprodukten für konstruktive Betonbauteile ist zudem insbesondere im deutschsprachigen Raum begrenzt.

In structural concrete engineering, macro-fibres have become established for the isotropic reinforcement of predominantly statically indeterminate components. Usually, ca. 1% of fibres by volume is added to the fresh concrete to enable the hardened concrete to transfer a certain degree of tensile stresses even after cracking.

The main field of application are slab foundations and industrial floors. Since the structure-ground interaction is complex, it is difficult to make a statement on the minimum requirements for the softening behaviour of structural fibre reinforced concretes (FRC) to ensure ductile and supra-critical system load-bearing behaviour.

The performance of 36 mm long macro glass fibres was investigated at the material and component level. Finite element models were developed based on three- and four-point bending tensile tests and the material-level performance of the FRC was determined by inverse analysis. In addition, a new approach was developed to recalibrate some of the parameters anchored in codes for

In der Arbeit wurde die Leistungsfähigkeit von 36 mm langen Makroglassfasern auf Material- und Bauteilebene untersucht. Auf Basis von Drei- und Vier-Punkt-Biegezugversuchen wurden Finite-Elemente-Modelle entwickelt und die Leistungsfähigkeit der Faserbetone auf Materialebene durch inverse Analysen bestimmt. Zusätzlich wurde ein Ansatz entwickelt, mit dem einige der in Regelwerken verankerten Parameter hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für Makroglassfaserbeton neu kalibriert wurden. Durch experimentelle und numerische Versuche an Decken- und Bodenplatten wurde das Materialverhalten des Makroglassfaserbetons auf Bauteilebene untersucht. Die im Vorfeld ermittelten Materialkennwerte bildeten die Eingangswerte für die Simulation. Abschließend erfolgte eine Parameterstudie zum Einfluss der Leistungsfähigkeit des Faserbetons und der Bodensteifigkeit auf die Tragfähigkeit von Bodenplatten.

Mit der Arbeit wurde ein wissenschaftliche Beitrag zur statischen Anrechenbarkeit von Makroglassfasern in Konstruktionsbeton und für seine Anwendung in Bodenplatten leisten. Makroglassfaserbeton weist innerhalb der untersuchten Fasergehalte ein dehnungsentfestigendes Materialverhalten auf. Die normativ verankerten Beiwerte für die Umrechnung der Nachrissbiegezugfestigkeit in die Nachrisszugfestigkeit sind teilweise zu hoch. Die rechnerische Bruchdehnung sollte auf 18 ‰ begrenzt werden. Die Untersuchungen an Bodenplatten zeigen, dass selbst Faserbetone mit geringer Nachrisszugfestigkeit im Bereich größerer Rissweiten eine deutliche Traglaststeigerung nach Erstrissbildung im Bauteil erzeugen können. Erst ab ~ 0,4 mm Rissweite bieten duktilere Kunststoff- oder Stahlfasern Vorteile. Bei der Herstellung von Makroglassfaserbeton ist besonderes Augenmerk auf den Mischvorgang zu legen. Mit zunehmender Mischzeit werden bspw. die Fasern geschädigt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden kurzzeitige Belastungen an Bodenplatten unter mittlerer Lasteinleitung untersucht. Andere Belastungsszenarien sollten gesondert betrachtet werden. Die Überführung der Ergebnisse der untersuchten Bodenplatten in ein Berechnungsmodell für beliebige Plattengeometrien und Bodeneigenschaften stellt eine sinnvolle Verwertung der Forschungsergebnisse dar.

their applicability for macro glass FRC. The material behaviour of the glass FRC at the component level was investigated through experimental and numerical tests on slabs. Finally, a numerical parameter study was carried out on the performance of the FRC and the slab stiffness on the load-bearing capacity of the slabs.

The dissertation made a scientific contribution to the usage possibility of macro glass fibres in structural concrete and for its application in slab foundations. Macro glass FRC shows a strain-softening material behaviour but the code coefficients for the conversion of the post-cracking flexural strength into the post-cracking tensile strength are partly too high. The strain at failure should be limited to 18 ‰. The investigations showed that even FRCs with low post-cracking tensile strength can generate a significant increase in the ultimate load capacity of the slab after initial crack formation. From a crack width of approx. 0.4 mm more ductile polymer or steel fibres offer advantages. In the production of macro glass FRC, special attention must be paid to the mixing process. For instance, the fibres will get damaged with increasing mixing time.

Within the scope of this work, transient loads applied centrally on slabs were investigated. Other load scenarios should be considered separately. The transfer of the results of the investigated slab foundations into a calculation model for arbitrary slab geometries and soil properties represents a meaningful exploitation of the research results.

► **Titel | Title**

Konstruktiver Makroglassfaserbeton für Bodenplatten und Industrieböden

Structural macro glass fibre concrete for floor slabs and industrial floors

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
Prof. Dr. Klaus Holschemacher
Dr. Dirk Weiße

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-773904>



Das Taktschiebverfahren wird auch heute oft angewendet, hier beim Bau der Autobahnbrücke der A 73 bei Rödental im Landkreis Coburg | *The incremental launching method is still often used today, here during the construction of the A 73 highway bridge near Rödental in the district of Coburg* | Photo: Von Störfix – Selbst fotografiert, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=374080>

Nico Schmidt, 22. April 2021

ANGEPASSTER DEKOMPRESSIONSNACHWEIS FÜR ÄLTERE TAKTSCHIEBEBRÜCKEN

DECOMPRESSION PROOF FOR EXISTING PRESTRESSED INCREMENTAL LAUNCHING BRIDGES

Spannbetonbrücken sind ein wesentlicher Bestandteil der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland und stellen die zuständigen Behörden vor große Herausforderungen. Einen großen Anteil am Bestand nehmen Brücken in Spannbetonbauweise ein. Viele der heute noch existierenden Konstruktionen sind in der Zeit des wirtschaftlichen Aufschwungs nach den 1960er Jahren entstanden. Die Spannbetonbauweise wurde parallel zur Anwendung erforscht und weiterentwickelt.

Heute sind diese Brücken veränderten Anforderungen ausgesetzt; ältere Brücken stehen beispielsweise unter immer höheren Belastungen. Im Jahre 2011 wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung eine Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken herausgegeben. Die statische Nachrechnung ist ein Hilfsmittel für Ingenieure zur Beurteilung bestehender Brückenbauwerke. Erfahrungen und Ergebnisse in der Anwendung wurden veröffentlicht.

Bei vielen Spannbetonbrücken wurden damit rechnerische Defizite ausgewiesen, die zu ei-

Pre-stressed concrete bridges form a considerable part of Germany's transport infrastructure and they pose considerable challenges for the responsible authorities. Many of the existing bridges were built after the 1960s. Pre-stressed concrete constructions were researched and further developed in parallel to its application in practice.

Today, especially older bridges are subjected to different requirements such as ever-increasing loads. Therefore, the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs published 2011 a guideline for the recalculation of road bridges. A structural recalculation is a method for engineers to assess existing bridge structures. Experiences and results in the application of this method and guidelines are evaluated in this work.

In the case of many pre-stressed concrete bridges, this resulted in calculated deficiencies leading to a reduction in their further service life. This means that such pre-stressed concrete bridges can no longer be used for as long as originally planned.

ner Einschränkung der weiteren Nutzungsdauer führen. Damit können solche Spannbetonbrücken nicht mehr so lange genutzt werden, wie ursprünglich geplant.

Verantwortlich dafür kann u. a. der statische Nachweis der Dekompression sein, bei dem im Beton keine bzw. unter Anwendung der gegenwärtigen Fassung dieser Richtlinie nur sehr geringe Zugspannungen auftreten dürfen. Es werden Spannbetonbrücken betrachtet, die im Taktschiebeverfahren hergestellt wurden. Diese weisen bestimmte Konstruktionsmerkmale auf, sodass hauptsächlich allein der Nachweis der Dekompression noch maßgeblich für die Einschränkung der Nutzungsdauer verbleibt. Die Grundlagen des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit basierend auf dem bewährten Konzept der zulässigen Spannungen in der früheren deutschen Spannbetonnorm werden erläutert. Diese Norm wird dem Konzept der europäischen Mustervorschrift (Model Code) bis zu den heute gültigen Eurocodes gegenübergestellt.

Auf der Einwirkungsseite werden die früheren Lastfälle in das heute gültige Konzept der Einwirkungskombinationen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit eingeordnet. Die Hintergründe der früher zulässigen Spannungen im Beton auf Zug auf der Widerstandsseite werden beschrieben. Die früheren Grenzwerte werden kritisch beurteilt.

Es wird herausgearbeitet, dass die gegenwärtige Regelung der Richtlinie beim Nachweis der Dekompression zu ungünstig ist. Ein differenzierteres Nachweisverfahren wird aufgestellt, das nicht zu einer Einschränkung der Nutzungsdauer führt. Wenn sonst keine Einschränkungen bestehen, können mit diesem Vorschlag solche Spannbetonbrücken wenigstens solange genutzt werden, wie ursprünglich vorgesehen. Bei der Anwendung sind Einschränkungen zu beachten. Die Übertragung auf andere Bauweisen von Spannbetonbrücken wäre möglich.

One of the reasons may be the static check of decompression, in which, according to the current version of this guideline, no or only very low tensile stresses may occur in the concrete. The study looks at pre-stressed concrete bridges that were built using the incremental launching method. These have certain design features, so that, for the limitation of the service life, mostly the verification of decompression remains decisive. The basics of the serviceability verification based on the proven concept of allowable stresses in the former German code for pre-stressed concrete are explained. This standard is contrasted with the concept of the European Model Code and the Eurocodes valid today.

On the actions side, the former load cases were classified according to the currently valid concept of action combinations in the serviceability limit state. The background of the previously permissible tensile stresses in concrete on the resistance side was explained, and the previously used limit values were critically assessed.

This work showed that the current regulation in the guideline is too disadvantageous when it comes to the proof of decompression. A more differentiated verification procedure was established that does not lead to a restriction of the service life. With this proposal and if there are no other restrictions, such pre-stressed concrete bridges can be used at least for as long as originally intended. However, there are restrictions to be considered in the application of the method. The transfer to other construction methods of pre-stressed concrete bridges seems to be possible.

► **Titel | Title**

Vorschlag zur Anpassung des Nachweises der Dekompression für bestehende Spannbetonbrücken bei Herstellung im Taktschiebeverfahren

Proposal for adapting the proof of decompression for existing prestressed concrete bridges when manufactured using the incremental launching method

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
Univ.-Prof. Dr. Oliver Fischer
Hon.-Prof. Dr. Olaf Mertzsch

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-768272>



Corona macht erfinderisch – hier beim Public Viewing bei Micheal Frenzels Verteidigung | Corona inspires us to be creative – here with public viewing at Micheal Frenzel's defence | Photo: Stefan Gröschel

Michael Frenzel, 19. Juli 2021

LEICHTE, GESCHICHTETE BETONDECKEN

LIGHTWEIGHT, LAYERED CONCRETE SLABS

Betondecken sind i. d. R. materialintensive, in vielen Bereichen schlecht ausgenutzte Biegetragwerke. Diese ist, dass eine verbesserte Ausnutzung von Beton und Stahl durch einen dreischichtigen Querschnittsaufbau gelingt. Die beiden äußeren Schichten nehmen v. a. die Beanspruchungen aus Biegung, die leichte Kernschicht den Schub auf. Der Fokus liegt auf schlaff bewehrten, einachsig gespannten Einflattplatten des gewöhnlichen Hochbaus.

Zuerst wird ein Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand gegeben. Neben den Baustoffeigenschaften wird ausführlich auf den Verbund zwischen Betonschichten eingegangen. Von Interesse sind zudem die Versagensarten von geschichteten Elementen: Biegezug-, Biegedruck-, Biegeschub- und Fugenversagen. Es werden Formeln zur Berechnung von Durchbiegungen im Gebrauchszustand und von Bruchlasten sowie Rechenansätze bzgl. des unterschiedlichen Schwindens der Betone vorgestellt.

Die Eignung der zusammengestellten Formeln wird anhand der Nachrechnung von 36 Bauteilversuchen überprüft. Bei diesen kamen zwei Materialkombinationen zum Einsatz: kon-

Concrete ceilings are material-intensive and in only in a few places efficiently utilised bending structures. The thesis is that an improved utilisation of concrete and steel is achieved through a three-layer cross-sectional structure. The two outer layers primarily carry the stresses from bending, while the light core layer is responsible for the shear. The focus is on conventionally reinforced, one way, single-span slabs of ordinary residential and office buildings.

In the dissertation, an overview of the current state-of-the-art on layered, sandwich-like concrete slabs is given. In addition to the building material properties, the bond between concrete layers is discussed in detail. The failure modes of layered elements are also of interest: Flexural tensile, flexural compression, flexural shear and interface failure. Formulas for the calculation of deflections in the service state and of ultimate loads as well as calculation approaches regarding the different shrinkage of concretes are presented.

The suitability of the proposed formulas is verified by the recalculation of 36 structural component tests. Two material combinations

struktiver Leichtbeton–Infraleichtbeton und Normalbeton–Porenleichtbeton. Bei den Bauteilprüfungen traten das Fugen- und Schubversagen sowie das Biegezug- und Endverankerungsversagen auf. Im Vorfeld und begleitend erfolgte die Fertigung und Belastung von mehr als 200 kleinformatischen, teils geschichteten Betonkörpern. Die dadurch gewonnenen Kennwerte bilden die Basis für die Berechnung von Verformungen und Bruchlasten geschichteter Elemente.

In der Arbeit wird gezeigt, dass das Tragverhalten kleinformatischer geschichteter Schubkörper und geschichteter Platten mit numerischen Modellen abgebildet werden kann. Die Versuche wurden dazu mit dem FE-Programm Atena Engineering 2D numerisch simuliert. Es zeigte sich, dass die experimentell beobachteten Rissbilder und Versagensarten mit den numerischen Modellen gut dargestellt und die experimentell erzielten Bruchlasten rechnerisch zufriedenstellend genau bestimmt werden können. Die bereitgestellten analytischen Formelapparate sind besonders gut zur Ermittlung der Bruchlast bei Biegezugversagen geeignet. Aus den detaillierten Betrachtungen zu den Traganteilen, die beim Schub- und Fugenversagen wirken, ist erkennbar, dass die Berechnung der zugehörigen Versagenslast eine anspruchsvolle Aufgabe darstellt. Auf die Eignung verschiedener Ansätze wird eingegangen.

Mit der vorliegenden Dissertation wird gezeigt, dass die Materialien bei geschichteten Decken effizienter ausgenutzt werden können als bei herkömmlichen einschichtigen Ausführungen, wodurch sich Gewicht und Ressourcen sparen lassen.

were used, structural lightweight concrete and infra-lightweight concrete, and regular concrete and foam concrete. During the structural tests, interface and shear failure as well as bending tensile and end-anchorage failure occurred. Before and during these tests, more than 200 small-format, partly layered, concrete specimens were manufactured and loaded. The characteristic values thus obtained, form the basis for the calculation of deformations and failure loads of layered elements.

The work shows that the loadbearing behaviour of small-format layered shear specimens and layered slabs can be reproduced with numerical models. The tests were simulated with the FE program Atena Engineering 2D. It was shown that the experimentally observed crack patterns and failure modes can be well represented with the numerical models and that the experimentally achieved failure loads can be determined with satisfactory computational accuracy. The analytical formulae provided are particularly well suited for determining the ultimate load in bending tensile failure. From the detailed considerations of the loadbearing components that act in shear and interface failure, it can be seen that the calculation of the associated failure load is a demanding task. The suitability of different approaches is discussed.

In this dissertation it is shown that materials can be utilised more efficiently in layered ceilings than in those that use a conventional cross-section throughout the length of the element. The proposed layered concept results in considerable weight reduction and resource savings.



Doktorhut mit Sandwich | *Doctor's hat with sandwich* | Photo: Stefan Gröschel

► **Titel | Title**

Zum Tragverhalten von leichten, geschichteten Betondecken
The load-bearing behaviour of lightweight, layered concrete slabs

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-787009>



Geschafft! | He did it! | Photo: Stefan Gröschel

Egbert Müller, 7. September 2021

CARBONBETONVERSTÄRKTE PLATTEN- BALKEN UNTER TORSION

T-BEAMS STRENGTHENED WITH CARBON REINFORCED CONCRETE UNDER TORSION

Der Baufortschritt in Deutschland und global betrachtet ist immens. Es werden jedoch nicht nur Neubauwerke errichtet, sondern auch immer mehr Tragstrukturen erhalten. Die Gründe dafür können vielfältig sein. Um jedoch Bauwerke nachträglich zu verstärken, müssen die Tragmechanismen des Verstärkungsmaterials gut erforscht und verstanden sein, bevor es auf dem Markt angewendet werden kann.

In dieser Arbeit sind Versuche zur Beschreibung des Torsionstragverhaltens carbonbe-

Construction progress in Germany and globally is immense. However, not only new buildings are being constructed, but also more and more existing structures are being strengthened. There are various reasons for this. However, in order to strengthen structures later on, the load-bearing mechanisms of the reinforcing material must be well known and understood before it can be used on the market.

In this thesis, tests have been carried out to describe the torsional load-bearing behaviour

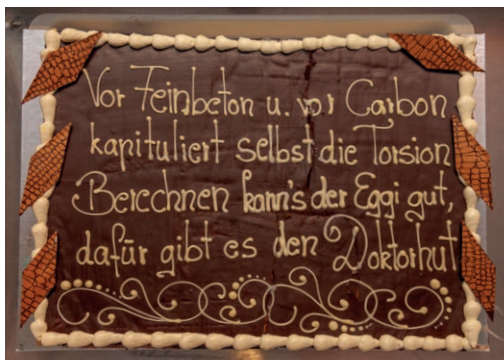
tonverstärkter Plattenbalken durchgeführt worden. Es wird zunächst in gebotener Kürze der Stand des Wissens zusammengefasst. Anschließend werden das Versuchsprogramm und die Probekörper inklusive der Materialkennwerte vorgestellt.

Neben einer ausführlichen Beschreibung der Torsionsmomenten-Verwindungs-Beziehungen, der Dehnungsverteilungen im Zustand I und Zustand II sowie den Rissabständen und Risswinkeln wird eine Möglichkeit gezeigt, das einwirkende Torsionsmoment anhand der gemessenen Materialkennwerte zum Betrachtungszeitpunkt bei erreichter Maximallast zu bestimmen und somit Informationen über die vorhandene Kräfteverteilung der Druck- bzw. Zugstreben zu erhalten.

Die durchgeführten Versuche stellen nur einen Bruchteil der notwendigen Untersuchungen dar, um das Tragverhalten von carbonbetonverstärkten Bauteilen auf Torsionsbeanspruchung beispielsweise in einer Richtlinie zu regeln. Sie bieten jedoch einen Anfang. Es wäre interessant zu erfahren, ob bei Plattenbalken mit abweichender Geometrie ein vergleichbares Tragverhalten beobachtet werden kann. Zudem wäre ausführlich die Verankerungsmöglichkeit der Carbonbewehrung im Torsionsfall zu untersuchen, da mit den momentan verfügbaren Bewehrungsmatten bei Plattenbalken teilweise nur bündige Stöße möglich sind. Trotz dieser konstruktiven Mängel ist dennoch eine Tragfähigkeitssteigerung möglich, die nicht nur mit der aufgetragenen Feinbetonschicht zu erklären ist.

of carbon concrete reinforced T-beams. First of all, the state of the art is summarised briefly. Then the test programme and the test specimens including the material characteristics are introduced. In addition to a detailed description of the torsion-deformation relationships, the strain distributions in state I and state II as well as the crack spacing and crack angles, a possibility is shown to determine the acting torsional moment on the basis of the measured material characteristics at the time of observation at the maximum load. Therefore information can be obtained about the existing force distribution of the strut and tie.

The tests carried out represent only a part of the necessary investigations to standardise the load-bearing behaviour of carbon concrete-reinforced components under torsion, for example in a guideline or standard. However, they offer a start. It would be interesting to find out whether comparable load-bearing behaviour can be observed in T-beams with different geometry. In addition, the possibility of anchoring the carbon reinforcement in the case of torsion would have to be investigated in detail, since with the currently available carbon reinforcement for T-beams, only flush joints are possible in some cases. Despite these constructional deficiencies, an increase in load-bearing capacity is still possible, which cannot only be explained by the fine concrete layer applied.



Die traditionelle Promotionstorte darf nicht fehlen | *The traditional promotion cake is a must* | Photo: Stefan Gröschel

► **Titel | Title**

Torsionsversuche an carbonbetonverstärkten Plattenbalken mit neuen Carbonbewehrungssystemen – Experimentelle und analytische Betrachtungen

Torsion tests on T-beams with new carbon reinforced concrete systems – Experimental and analytical investigations

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
Univ.Prof. B.Sc. Dipl.-Ing. Dr.techn. Benjamin Kromoser
Dr.-Ing. Eric Mündecke

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-769343>



Chongjie Kang mit seinem Doktorvater Steffen Marx | Chongjie Kang with his doctoral supervisor Steffen Marx | Photo: André Terpe

Chongjie Kang, 04. Oktober 2021

GLEIS-TRAGWERK-INTERAKTION *TRACK-BRIDGE-INTERACTION*

Schienen sind elementarer Bestandteil des Gleissystems und müssen sicher und zuverlässig sein. Die gültigen Nachweisansätze und Grenzwerte der zulässigen zusätzlichen Schienenspannung unter Druck und Zug mit Berücksichtigung der Gleis-Tragwerk-Interaktion wurden in den 1980er Jahren entwickelt. Heute sind Schienen aber immer häufigeren und höheren Belastungen und komplexen Belastungszuständen ausgesetzt, haben sich Fertigungstechnologien von Oberbaukomponenten weiterentwickelt. Deshalb sollen die Nachweisansätze und Grenzwerte auf Basis der heutigen Gegebenheiten aktualisiert werden, was Thema der kumulativen Dissertation ist. Diese ist in drei Abschnitte gegliedert.

Abschnitt 1 zeigt den Stand der Technik bezüglich der zulässigen Zusatzspannungen in Eisenbahnschienen infolge der Gleis-Tragwerks-Interaktion auf und vermittelt detaillier-

Rails are vital parts of a track system and have to be safe and reliable. The present verification approaches and limit values regarding the permissible additional stresses of the rail under compression and tension considering track-bridge-interaction (TBI) were developed in the 1980s. Today, however, rails are subjected to more frequent and higher loads and complex loading conditions, manufacturing technologies of track components have evolved. Therefore, the verification approaches and limit values are to be updated on the basis of today's conditions, which is the subject of the cumulative dissertation. The work is divided into three sections.

Block 1 is the state of the art. Here, a detailed background knowledge and the permissible additional stresses in railway tracks due to TBI are given. Based on this, the motivation for the own studies is addressed.

tes Hintergrundwissen. Daraus ergibt sich die Motivation für die durchgeführten Untersuchungen.

Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Schienenwiderstand unter Druck in Feste-Fahrbahn-Systemen. Dazu wurden numerische Untersuchungen zum Verhalten solcher Systeme unter axialen Druckkräften in der Nähe von Brückenfugen durchgeführt. Außerdem wurden experimentelle Versuche an zwei 8,17 m langen Schienen auf einem Feste-Fahrbahn-System der ÖBB-Porr durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass der Schienenspannungswiderstand unter Längsdruckbelastung deutlich erhöht werden kann.

Abschnitt 3 beschäftigt sich mit dem Schienenspannungswiderstand unter Zug. Zunächst wurden umfangreiche Versuche zum Schienenverhalten bei bis zu fünf Millionen Lastwechseln in Längs- und Querrichtung auf verschiedenen Unterspannungsniveaus durchgeführt. Anschließend wurden die Schnittmethode und die Röntgendiffraktometrie angewandt, um die Eigenspannungsverteilung in der Schiene zu bestimmen. Anschließend werden die ermittelten Eigenspannungsergebnisse und die Ergebnisse der Ermüdungsversuche gemeinsam analysiert. Als Ergebnis wurde ein neues umfassendes Smith-Diagramm erstellt, das die tatsächlichen Schieneneigenspannungen bis fünf Millionen Lastzyklen sowohl in vertikaler als auch in transversaler Richtung der Schiene berücksichtigt.

Darüber hinaus werden zwei Studien präsentiert. Die erste befasst sich mit dem Ermüdungsverhalten von Schienen für bis zu 50 Millionen Lastwechsel und die zweite mit dem Ermüdungsverhalten von Schienen aus einer anderen Charge für bis zu fünf Millionen Lastwechsel. Aus all diesen vorgenannten Untersuchungen wird gefolgert, dass die derzeitigen Grenzwerte und Nachweisansätze bezüglich des Schienenspannungswiderstandes in Feste Fahrbahn-Systemen unter Druck und Zug mit Berücksichtigung der Gleis-Tragwerks-Interaktion zu konservativ sind. Abschließend werden neue Nachweisansätze und Grenzwerte vorgeschlagen.

The second block deals with the rail resistance under compressive forces in ballastless track systems. Accordingly, numerical investigations on the behaviour of rails in ballastless track systems under compressive axial forces in the vicinity of bridge joints were performed. Experimental tests were also carried out on two 8.17 m long rails fixed with BSPFF-B-1 and SBS300-1 fasteners on the ÖBB-Porr slab track system. It was found that the rail resistance under longitudinal compressive loads can be largely increased.

Block 3 focuses on the rail resistance under tension. First, extensive experiments were conducted on rail behaviour for up to five million cyclic loads in both vertical and transverse directions under different minimum stress levels. Subsequently, the sectioning method and the X-Ray diffraction method were applied to determine the residual stress distribution in the rail. Afterwards, the determined residual stress results and the fatigue test results are analysed together. As a result, a new comprehensive Smith-diagram, which took into account the actual rail residual stresses, up to five million load cycles in both vertical and transverse directions of the rail, was achieved.

In addition, two studies are supplemented. One deals with the fatigue behaviour of rails for up to 50 million load cycles and the other concerns the fatigue behaviour of rails from a different batch for up to five million load cycles. Based on all these aforementioned investigations, it is concluded that the current limit values and approaches regarding the rail resistance in ballastless track systems under compression and tension considering TBI are too conservative. In the end, new verification approaches and limit values are proposed.

► **Titel | Title**

Verifizierung des Schienenwiderstands unter Berücksichtigung der Gleis-Tragwerk-Interaktion

Rail track resistance verification considering track-bridge-interaction

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein

Prof. Gonglian Dai

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-767262>



Oliver Mosig und die Promotionskommission | *Oliver Mosig and the doctoral committee* | Photo: Stefan Gröschel

Oliver Mosig, 18. Oktober 2021

EINFLUSS VON POREN(WASSER) AUF DIE BETONFESTIGKEIT BEI IMAPKTLASTEN

INFLUENCE OF (WATER IN) PORES ON CONCRETE STRENGTH UNDER IMAPCT LOADS

Die Festigkeitssteigerung von Betonen unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten ist seit über 100 Jahren im Fokus der Forschung. Bisher konnten bereits eine Vielzahl von möglichen Erklärungen dieser Festigkeitssteigerung benannt werden, wobei die Heterogenität des Betons im Allgemeinen als eine wesentliche Ursache angenommen werden kann.

Die Heterogenität des Betons resultiert aus den im Zementstein eingebetteten Zuschlägen, aber auch durch darin eingeschlossene Luft- und Wasserporen, welche Hauptgegenstand dieser Arbeit sind.

The increase of concrete strength under increasing loading rates has been the focus of re-search for more than 100 years. So far, a large number of possible explanations for the so-called strain rate effect have been identified.

Of these, the heterogeneity of the concrete is generally assumed to be a major cause. The heterogeneity of concrete results from the aggregates embedded in the hardened cement paste, but also from air and water pores enclosed in it, which are the main subject of this work.

Es wurde untersucht, inwieweit vorhandenes Porenwasser die Festigkeitssteigerung von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten beeinflusst.

Auf Basis von experimentellen Versuchen im Split-Hopkinson-Bar an verschiedenen Normalbetonen konnte gezeigt werden, dass vorhandenes Porenwasser die statische und dynamische Betondruckfestigkeit in gleicher Weise signifikant reduziert. Diese Abnahme der Betondruckfestigkeit kann als unabhängig von der Belastungsgeschwindigkeit angesehen werden.

Des Weiteren wurden numerische Untersuchungen zum Einfluss von Poren auf die Ausbreitung von Belastungswellen durchgeführt. Dabei rückten sowohl das globale Wellenausbreitungsverhalten in einer porendurchsetzten Struktur als auch die lokale Wellenbrechung an einer Einzelpore, sowie das Porenmedium (Luft oder Wasser) in den Fokus.

Es konnte gezeigt werden, dass vorhandene Poren die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit reduzieren und dass das Verhältnis aus Porengröße zur Belastungswellenlänge einen wesentlichen Einflussfaktor für die transiente Spannungsverteilung im Porenbereich darstellt. Insbesondere konnte mit abnehmender Belastungswellenlänge eine Reduzierung der örtlichen Kerbspannungen am Porenrand beobachtet werden, woraus festigkeitssteigernde Effekte resultieren können.

The extent to which existing pore water influences the strength increase of concrete under high loading rates was investigated.

Experimental tests in a hydraulic testing machine and dynamic tests in the split Hopkinson bar on various concretes showed that existing pore water significantly reduces the static and dynamic compressive strength of concrete in the same way. This decrease in concrete compressive strength can be considered to be independent of the loading rate.

Furthermore, numerical investigations were carried out on the influence of pores on the propagation of loading waves. The focus was both on the global wave propagation behavior in a porous structure and the local wave refraction at a single pore. Additionally, the influence of the pore medium (air or water) was studied.

It could be shown that existing pores reduce the wave propagation velocity and that the ratio of pore size to wavelength is a significant influencing factor for the transient stress distribution in the pore region. In particular, a reduction of the local notch stresses at the pore edge was observed with decreasing wavelengths, which can result in strength-increasing effects.



Geschafft! | Finished! | Photo: Stefan Gröschel

► **Titel | Title**

Einfluss von Poren und Porenwasser auf die Festigkeitssteigerung von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten

Influence of pores and pore water on the increase in strength of concrete under high strain rates

► **Gutachter | Experts**

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Braml

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Löhnert

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-769358>



Dirk Reischl verteidigte im Dezember 2021 erfolgreich seine Dissertation und darf sich nun Dr.-Ing. nennen | Dirk Reischl's successful defense was in december 2021 | Photo: Stefan Gröschel

Dirk Sören Reischl, 07. Dezember 2021

MEHRAXIALE BETONSCHÄDIGUNG DISKRET MODELLIERT

MULTI-AXIAL DAMAGE BEHAVIOUR MODELED DISCRETELY

Die Methode der Diskreten Elemente ist eine neue, alte Methode, beruhend auf den Newtonschen Axiomen, praktikabel geworden durch die rasante Entwicklung der Rechen-technik in den vergangenen fünfzig Jahren. Es handelt sich um einfach zu beschreibende, vielfältig einsetzbare, aber rechenintensive Methode. Die Methode der Diskreten Elemente ist jene Methode, von der viele Menschen – nicht nur Laien – glauben, dass es die Methode der Finiten Elemente sei.

Die Methode ermöglicht es, mit vergleichsweise geringem Programmieraufwand spektakuläre Ergebnisse zu erzielen. Die Notwendigkeit zur Lösung schwach besetzter großer linearer Gleichungssysteme entfällt ebenso, wie eine komplizierte Netzgenerierung, die Assemblier-

The Discrete Element Method is a both new and well-known method based on Newton's laws, a method that has become feasible thanks to the rapid development of computer technology within the past fifty years. The method is very easy to describe and widely applicable, though computationally challenging. The Discrete Element Method is a method, some people – even engineers – believe the Finite Element Method to be.

The method yields spectacular results by means of minimal conceptual and programming effort. Neither is there the necessity to assemble and solve large systems of equations, nor the need of sophisticated strategies of variation or optimization.

rung von Systemmatrizen und die damit verbundenen, aufwändigen Optimierungsstrategien.

Die Methode der Diskreten Elemente gehorcht implizit streng jenen – stets gültigen – Energieprinzipien, auf die sich andere Methoden wie die Methode der Finiten Elemente bei Herleitungen explizit berufen, während sie tatsächlich lediglich mit Näherungen für (sehr) kleine Verformungen arbeiten.

Bei entsprechender Auslegung lassen sich alle an der Simulation beteiligten Elemente als materielle Bestandteile oder beruhend auf der Wechselwirkung materieller Bestandteile auffassen. Kontaktelemente oder gar geeignet platzierte Risselemente werden nicht benötigt. Risse äußern sich durch die Abwesenheit von Materie. Das Phänomen der Überadditivität ist in Partikelsimulationen von vornherein angelegt. Partikelmethode eignen sich daher hervorragend zum modellhaften Studium komplexer Systeme.

Die Parameteridentifikation und Parameteranpassung von Diskrete-Elemente-Modellen gestaltet sich schwierig, sobald die Gültigkeit des Superpositionsprinzips nicht mehr gegeben ist. Dies ist jedoch kein Mangel der Methode, sondern Folge von Interaktion und Überadditivität.

Die Methode eignet sich hervorragend zur Generierung virtueller Probekörper und zum Pre-processing im Zusammenwirken mit anderen Simulationsmethoden. Visualisierungen der mit Partikelmethode erhaltenen Ergebnisse sind von hohem anschaulichem und didaktischem Wert. Die Methode ist sehr flexibel, so dass die Simulationsergebnisse bei entsprechender Parametergestaltung keiner künstlichen Überhöhung bedürfen.

Die Methode der Diskreten Elemente ist eine entdeckende Methode. Sie besitzt – wie jede andere Methode – Methodencharakter, die auf ihrer Grundlage entwickelten Modelle – wie alle Modelle – Modellcharakter.

The Discrete Element Method is implicitly subject to principles the Finite Element Method and other methods explicitly refer to while only taking them into consideration for small displacements.

If appropriately designed, all elements involved in the simulation are to be considered as material rather than immaterial components. No contact elements or well-placed crack elements are needed. Cracks become apparent by the absence of matter. The phenomenon of super-additivity is an intrinsic part of particle simulations. Thus, particle simulations, in particular Discrete Element simulations, are extremely suitable to study complex systems.

Parameter identification and calibration of Discrete Element Methods is complicated, as soon as linearity is no longer appropriate to be supposed. This, though, is a consequence of interaction and super-additivity, not a shortcoming of the method.

The method allows to generate virtual specimens as needed by simulations, performed by the Discrete Element Method itself or by other computational techniques. Visualisations of the results obtained by the Discrete Element Method may illustrate both basic and elaborate scientific concepts in a broad field of applications.

The Discrete Element Method is a method of discovery and exploration. It's a method, though, as well as the models based on its concept are to be considered only as models, too.

► **Titel | Title**

Diskrete-Elemente-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton

Discrete Element Simulations of the multi-axial damage behaviour of concrete

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Bischoff
 Dr.-Ing. Falk Wittel

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-804421>



Juliane Wagner bestreift ihre Verteidigung mit Bravour | Juliane Wagner defends her doctorate with bravura | Photo: Stefan Gröschel

Juliane Wagner, 10. Dezember 2021

CARBONBETON UNTER ERMÜDUNGS- BEANSPRUCHUNG

CARBON REINFORCED CONCRETE UNDER FATIGUE LOADING

Die Anzahl an Brücken aus Textil- bzw. Carbonbeton wächst stetig und umso dringender wird der Bedarf an einer Methode für die sichere Ermüdungsbemessung von Carbonbeton.

Die bloße Einführung von Abminderungsfaktoren als Widerstand gegen die Ermüdungsbelastung ist hierbei keine Option. Für eine wirtschaftliche Bemessung von Carbonbeton unter Zugschwellbelastung ist ein materialgerechtes Bemessungskonzept vonnöten,

The number of bridges made of textile resp. carbon reinforced concrete is growing steadily and the the need for a method for safe fatigue design of carbon reinforced concrete is becoming all the more urgent.

The use of reduction factors as resistance to fatigue loading is not an option. For an economical design of carbon reinforced concrete under tensile fatigue loading, a material-specific design concept is necessary, which first requires a comprehensive

welches zunächst eine umfangreiche Untersuchung des Materialverhaltens unter Ermüdungsbelastung erfordert.

Hierzu leistet die vorliegende Arbeit einen essentiellen Beitrag. Zunächst wird dabei der für die durchgeführten Untersuchungen relevante Wissensstand zusammengefasst. Anschließend werden umfangreiche Ermüdungsuntersuchungen vorgestellt, welche an zwei verschiedenen, marktüblichen Materialkombinationen durchgeführt wurden. Dabei wurden sowohl das Zug- als auch das Verbundtragverhalten von Carbonbeton unter Zugschwellbelastung betrachtet. Neben den erreichbaren Schwingspielzahlen und Resttragfähigkeiten von Durchläufern wurden auch das Spannungs-Dehnungs- bzw. -Verformungs-Verhalten, die Veränderung der Gestalt der Hystereseschleifen, die Probekörperdehnungen bzw. -verformungen und die Probekörpersteifigkeiten während der Ermüdungsbelastung untersucht. Anhand der erzielten Untersuchungsergebnisse wird schlussendlich ein Vorschlag für ein Bemessungskonzept für Carbonbeton unter Zugschwellbeanspruchung zusammengestellt.

Die in der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse tragen somit dazu bei, ein grundlegendes Verständnis für das Materialverhalten von Carbonbeton bei Ermüdungsbelastung zu erhalten und die Ermüdungsbemessung für die untersuchten Materialien durchzuführen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Materialkombinationen ist in weiterführenden Untersuchungen zu überprüfen.

investigation of the material behavior under fatigue loading.

The present work makes an essential contribution to this. First, the state of knowledge relevant to the investigations carried out is summarized. This is followed by a presentation of extensive fatigue tests carried out on two different, commercially available material combinations. Both the tensile load-bearing behavior and the bond behavior of carbon reinforced concrete under tensile fatigue loading were examined. In addition to the number of cycles to failure and the residual strengths of runouts, the stress-strain resp. -deformation behavior, the change in the shape of the hysteresis loops, the specimen strains resp. deformations and the specimen stiffnesses during fatigue loading are also investigated. On the basis of the results obtained, a proposal for a design concept for carbon reinforced concrete under tensile fatigue loading is finally compiled.

The results obtained in the present work thus help to obtain a basic understanding of the material behavior of carbon reinforced concrete under fatigue loading and to carry out fatigue design for the materials investigated. The transferability of the results to other material combinations is to be verified in further investigations.



Blumen und Doktorhut sind verdienter Lohn | *Flowers and a doctor's hat are a well-deserved reward* | Photo: Stefan Gröschel

► **Titel | Title**

Zum Tragverhalten von Carbonbeton unter Ermüdungsbeanspruchung

Studies on the load-bearing behavior of carbon reinforced concrete under fatigue loading

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. M.Eng. Johann Kollegger
Dr.-Ing. habil. Jörg Schmidt

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-773904>



Karoline Holz verteidigte Mitte Dezember 2021 erfolgreich ihre Dissertation | *Karoline Holz successfully defended her dissertation in mid-December 2021* | Photo: André Terpe

Karoline Holz, 13. Dezember 2021

**CARBONBETON UNTER HOCHTEMPERATUR-
BEANSPRUCHUNG**

CARBON CONCRETE EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES

Thematisch befasse ich mich in meiner Dissertation mit der experimentellen Untersuchung von Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung. Um die Thematik grundlegend aufzuarbeiten, wurden zuerst die Prüfmöglichkeiten zur Bestimmung der Zug- und Verbundtragfähigkeit von Carbonbeton unter Raumtemperatur zusammengetragen.

Aufbauend dazu wurden die bisherigen Erkenntnisse zu Hochtemperaturuntersuchungen an carbonfaserverstärkten Kunststoffen zusammengefasst und aufbereitet. Die eigenen experimentellen Versuche bauen auf den Vorbetrachtungen auf. Der Fokus lag auf

The subject of my dissertation is the experimental investigation of carbon reinforced concrete exposed to high temperature. In order to work up the subject fundamentally, the testing possibilities for determining the tensile and bond load-bearing capacity of carbon reinforced concrete at room temperature were compiled. Based on this, the findings to date on high temperature tests on carbon fibre-reinforced plastics were summarised and processed.

The own experimental tests build on the preliminary considerations. The main focus was on investigating the tensile load-bearing be-

der Untersuchung des Zugtragverhaltens von zwei ausgewählten Carbonbeton-Materialkombinationen am Dehnkörper. Zur Ermittlung der Zugfestigkeit wurden stationäre und instationäre Zugversuche in einem Temperaturbereich zwischen 100 °C und 600 °C durchgeführt. Bei den instationären Zugversuchen lag das Lastniveaus zwischen 50 % und 80 % der Zugfestigkeit bei Raumtemperatur. Daraus wurden dann Zugbemessungswerte für die Dimensionierung von Carbonbetonbauteilen im Brandfall abgeleitet.

Neben den Zugversuchen wurden auch stationäre Verbundversuche an den zwei Materialkombinationen in einem Temperaturbereich zwischen 100 °C und 400 °C durchgeführt. Hierbei lag der Fokus vor allem auf der Vorhersage der Versuchsergebnisse auf Basis von chemischen Betrachtungen des Bewehrungsmaterials.

haviour of the two selected carbon reinforced concrete material combinations. To determine the tensile strength, stationary and transient tensile tests were carried out in a temperature range between 100 °C and 600 °C. In the transient tensile tests, the load levels was between 50 % and 80 % of the tensile strength at room temperature. Tensile design values for the dimensioning of carbon reinforced concrete components in case of fire were then derived from this.

In addition to the tensile tests, stationary bond tests were also carried out on the two material combinations in a temperature range between 100 °C and 400 °C. Here, the focus was primarily on predicting the bond test results on the basis of chemical considerations of the reinforcement material.



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

► **Titel | Title**

Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung
Carbon reinforced concrete exposed to high temperature

► **Gutachter | Experts**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach
 Univ.Prof. B.Sc. Dipl.-Ing. Dr.techn. Benjamin Kromoser
 Dr.-Ing. habil. Jörg Schmidt

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-780298>

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN



Last but not least 2021: auch Oliver Steinbock kann sich nun bald Dr.-Ing. nennen | Last but not least 2021: Oliver Steinbock will soon be able to call himself Dr.-Ing. too | Photo: Stefan Gröschel

Oliver Steinbock, 14. Dezember 2021

BRÜCKENVERSTÄRKUNG MIT CARBONBETON

BRIDGE STRENGTHENING WITH CARBON CONCRETE

Im Bereich des Brücken- und Ingenieurbaus finden sich bisher nur vereinzelte Anwendungen von Textilbetonverstärkungen wohingegen im Hochbau bereits einige Verstärkungsmaßnahmen umgesetzt werden konnten. Die Einschränkung auf den Hochbau war einerseits auf die Materialeigenschaften der am Markt verfügbaren Bewehrungsmaterialien und andererseits auf offene Fragestellungen zum Tragverhalten zurückzuführen.

Um die Anwendbarkeit von Carbonbeton als Verstärkungsmaßnahme im Brückenbau bewerten zu können, wurden daher zunächst Aspekte zur Materialbeschaffenheit auf Grundlage laufender Forschungsvorhaben zusammengetragen und vor dem Hinter-

In the field of bridge construction and civil engineering, textile reinforced concrete has been used in separated cases, whereas some reinforcement measures have already been implemented in building construction. The restriction to structural engineering was due on the one hand to the material properties of the reinforcement materials available on the market and on the other hand to open questions regarding the load-bearing behavior.

In order to be able to evaluate the applicability of carbon reinforced concrete as a strengthening method in bridge construction, aspects of the material properties were therefore first compiled on the basis of current research projects and, against the background of the

grund der Anwendung im Brückenbau gezielt durch eigene Versuchsserien ergänzt. Der Schwerpunkt der Arbeit lag jedoch bei der Untersuchung des Tragverhaltens von verstärkten Stahl- und Spannbetontragwerken. Während die Verbundunterschiede zwischen Bewehrungsmaterial im Altbetonbauteil und der nachträglich angebrachten Verstärkungsschicht im Bruchzustand von untergeordneter Bedeutung sind, bestimmen diese im Gebrauchszustand das Tragverhalten maßgeblich. Basierend auf Bauteilversuchen an carbonbetonverstärkten Stahl- und Spannbetonplattenstreifen gelang es sowohl einen Bemessungsansatz unter Gebrauchslastniveau als auch für den Grenzzustand der Tragfähigkeit abzuleiten. Auch die weit verbreitete Problematik in Deutschland zur Verstärkung von Tragwerken mit spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl wurde behandelt. An Brückenträgern aus einem Brückenrückbau ergab sich die Möglichkeit experimentelle Untersuchungen durchzuführen und die Wirksamkeit einer Carbonbetonverstärkung zu validieren. Die Träger wurden zunächst gezielt geschädigt, anschließend mit Carbonbeton verstärkt und das Tragverhalten in Hinblick auf die Kriterien Rissbildung unter Gebrauchslasten (Ankündigungsverhalten) sowie die erzielbare Restsicherheit (Tragsicherheit) bewertet.

Die Ergebnisse und Berechnungsansätze wurden für die praktische Anwendung in einem Bemessungsbeispiel zusammengetragen. Mit der vorliegenden Arbeit wurden somit die Grundlagen geschaffen Verstärkungsmaßnahmen mit Carbonbeton im Brückenbau bemessen zu können.

application in bridge construction, specifically supplemented by own test series. The focus of the work, however, was on the investigation of the load-bearing behavior of reinforced and prestressed concrete structures. While the bond differences between the reinforcement material in the old concrete component and the subsequently applied reinforcement layer are of secondary importance in the fracture state, they have a significant effect on the load-bearing behavior under service load. On the basis of component tests on carbon reinforced concrete and prestressed concrete slab beams, it was possible to develop a design approach for both the service load level and the ultimate limit state. The widespread problem in Germany of strengthening structures with pre-stressed steel that is susceptible to stress corrosion cracking was also discussed. Bridge girders from a bridge deconstruction project were used to carry out experimental investigations and validate the effectiveness of carbon concrete reinforcement. The girders were first systematically damaged, then strengthened with carbon reinforced concrete and the load-bearing behavior evaluated with regard to the criteria of crack growth under service loads (crack before failure criteria) and the achievable residual safety (ultimate limit state).

The results and calculation principles were compiled in a design example for practical application. The present work thus provides the basis for the design of reinforcement measures with carbon reinforced concrete in bridge construction.



Brückenträger im Test | *Bridge girder under pressure* | Photo: Oliver Steinbock

► **Titel | Title**

Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken mit Carbonbeton

Strengthening of steel reinforced and pre-stressed concrete bridges using carbon reinforced concrete

► **Gutachter | Experts**

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

MR Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn

Prof. Dr.-Ing. Thomas Böschke

► <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-788778>

DAS INSTITUT IN ZAHLEN UND FAKTEN

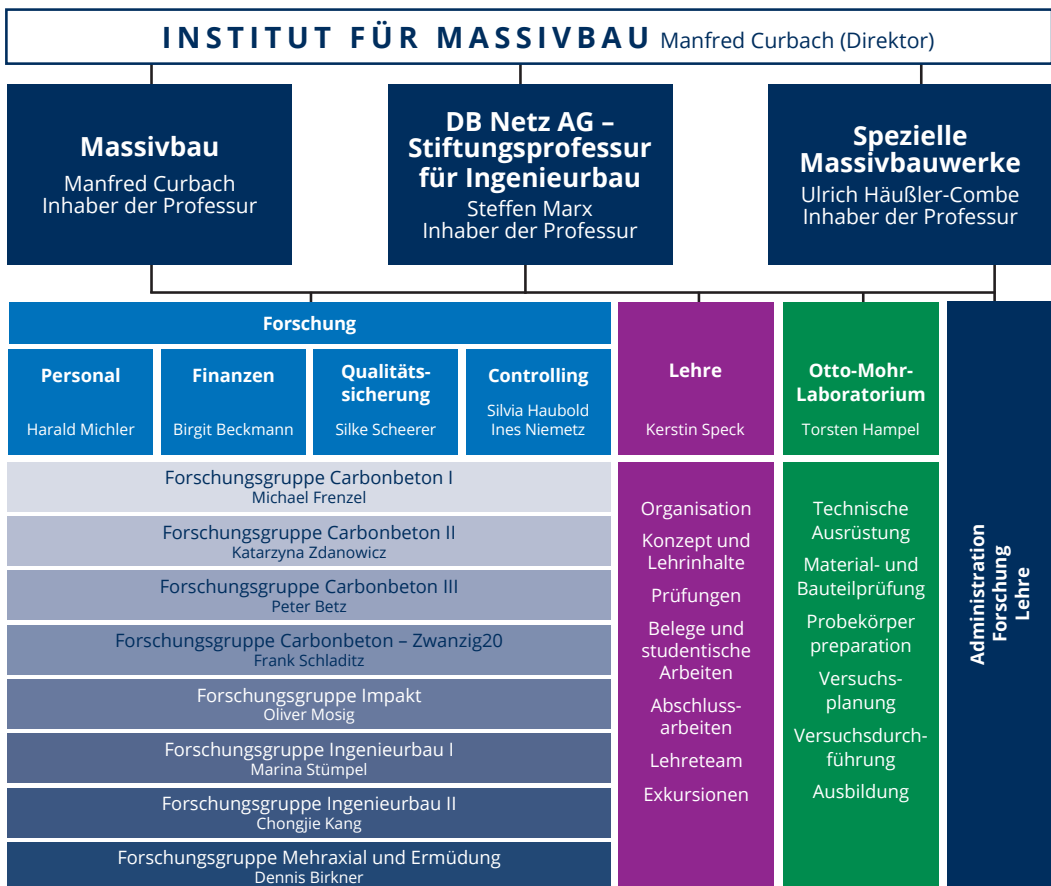
Auch 2021 wurde die praxisorientierte Forschung im BMBF-Großprojekt C³ – Carbon Concrete Composite fortgesetzt, flankiert von der Grundlagenforschung zu Carbonbetonstrukturen in dem gemeinsam mit der RWTH Aachen eingeworbenen SFB/Transregio 280. Weitere Schwerpunkte waren besondere Belastungssituationen wie Impakt und Ermüdung. Durch die Verstärkung des Instituts durch die Stiftungsprofessur für Ingenieurbau der DB Netz AG wurde das Forschungsportfolio mit Projekten aus dem Brücken- und Windenergieanlagenbau er-

weitert. Zudem konnte ein neues Schwerpunktprogramm bei der DFG zu SHM im weitestene Sinne initiiert werden.

Die Anzahl der Mitarbeitenden erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr etwas, primär auf Ebene der Wissenschaftler:innen. Ende September 2021 wurde Professor Ulrich Häußler-Combe in den wohlverdienten Ruhestand verabschiedet.

Im Jahr 2021 konnten Drittmittel in Höhe von 8 Millionen EUR eingeworben werden.

Organisationsstruktur des Instituts



Organigramm des Instituts für Massivbau (Stand 30.09.2021)

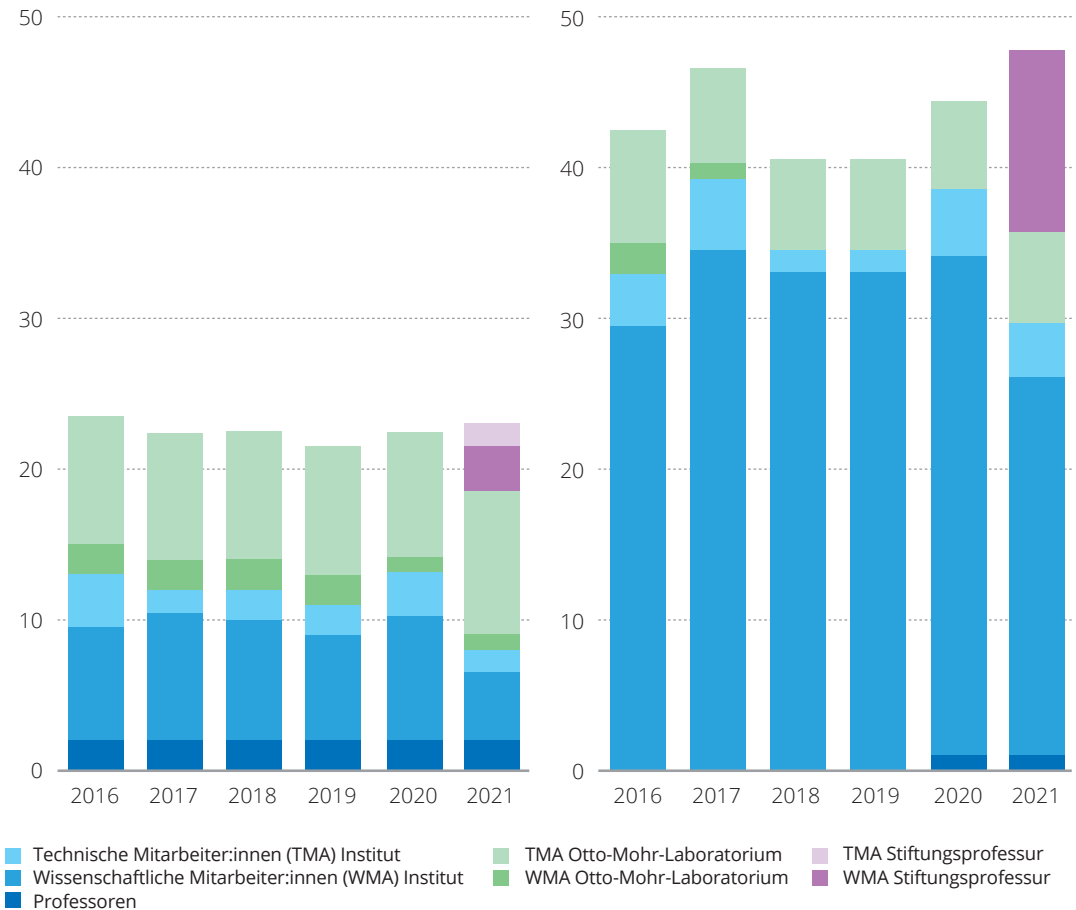
■ Drittmittelausgaben in den Jahren 2017–2021

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| DFG | 756.700 € | 544.527 € | 508.215 € | 1.114.274 € | 2.471.646 € |
| Bund/Länder | 2.384.720 € | 2.546.094 € | 2.622.901 € | 3.518.476 € | 4.941.603 € |
| Stiftungen | 57.270 € | - | - | 120.888 € | 341.469 € |
| Industrie | 294.400 € | 164.539 € | 209.825 € | 402.712 € | 277.955 € |
| Gesamt | 3.493.090 € | 3.255.161 € | 3.340.941 € | 5.156.350 € | 8.032.673 € |

■ Personalentwicklung (Stand vom 30.09.2021)

Stellen aus Haushaltsmitteln finanziert

Stellen aus Drittmitteln finanziert



■ Forschungsprojekte

Im Folgenden sind die Forschungsprojekte aufgelistet, welche durch das Institut für Massivbau 2021 bearbeitet wurden.

▶ **Koordination, zentrale Aufgaben und Öffentlichkeitsarbeit des SPP 1542**

Förderung: DFG (SPP 1542)
 Laufzeit: 07/2011 – 09/2014 – Phase 1
 10/2014 – 03/2022 – Phase 2

▶ **Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten**

Förderung: BMUV
 Laufzeit: 10/2014 – 12/2017 – Phase 1
 05/2018 – 04/2022 – Phase 2

▶ **Willy Gehler (1876–1953) – Spitzenforschung, politische Selbstmobilisierung und historische Rezeption eines bedeutenden Bauingenieurs und Hochschullehrers im „Jahrhundert der Extreme“**

Förderung: DFG
 Laufzeit: 11/2014 – 10/2017 – Phase 1
 11/2018 – 09/2022 – Phase 2

▶ **C3-S2: Strategiefortschreibung und konzeptionelle Innovationsförderung von Carbon Concrete Composite – C³**

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 07/2015 – 03/2021

▶ **Experimentelle Untersuchungen des Tragverhaltens von Textilbeton unter einaxialer Druckbeanspruchung**

Förderung: DFG
 Laufzeit: 09/2015 – 05/2018 – Phase 1
 03/2019 – 05/2023 – Phase 2

▶ **WinConFat: Materialermüdung von On- und Offshore Windenergieanlagen aus Stahlbeton und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung**

TP: Verbund unter Zugschwellbeanspruchung

Förderung: BMWi / FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 11/2016 – 02/2021

▶ **MABET: Experimentell gestützte Modellierung von Versagensmechanismen hochfester Betone unter multiaxialer Beanspruchung**

Förderung: DFG
 Laufzeit: 04/2017 – 08/2021

▶ **Einfluss lastinduzierter Temperaturfelder auf das Ermüdungsverhalten von UHPC bei Druckschwellbelastung**

Förderung: DFG (SPP 2020)
 Laufzeit: 09/2017 – 03/2022

► **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

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 09/2017 – 09/2022

► **C3-V4.6: Energiespeichernder Carbonbeton (ENERTON)**

TP C3-V4.6-II: Konstruktionskonzept eines funktionsintegrierten Bauelements

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 04/2018 – 02/2021

► **C3-V4.19: Carbonbewehrte Parkhausdeckenplatten**

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

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 04/2018 – 01/2021

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

Förderung: ESF/Freistaat Sachsen
 Laufzeit: 05/2018 – 06/2021

► **Methoden zur Zustandsanalyse von WEA**

Förderung: DBV (eingegliedert in WinConFat)
 Laufzeit: 03/2018 – 10/2021

► **TAVIMBA: Thermisch aktivierte Verbindungen im modularen Bauen**

TP 4: Auslegung der Verbindungen gemäß bautechnischer Anforderungen

Förderung: BMBF / FZ Jülich (smart³)
 Zeitraum: 09/2018 – 08/2021

► **DiMaRB: Digitale Instandhaltung von Eisenbahnbrücken**

Förderung: BMDV / mFUND / TÜV Rheinland Consulting
 Laufzeit: 09/2018 – 02/2022

► **C3-V4.17: Automatisiertes C³-Doppelwandsystem**

TP 3: Prüfkonzeptentwicklung für und Kennwertermittlung von Doppelwandsystemen

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 11/2018 – 03/2021

► **Entwicklung einer Verbindungstechnologie für Brettsperrholz-Wandkonstruktionen mit hohem Schubwiderstand**

Förderung: BBSR / Zukunft Bau
 Laufzeit: 12/2018 – 06/2021

► **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

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 01/2019 – 02/2021

► **C3-L6: Bemessung und bauliche Durchbildung**

TP C3-L6-II: Entwurf und Bemessung von Carbonbetonbauteilen mit Stabwerkmodellen und für Torsionsbeanspruchungen

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 01/2019 – 03/2021

► **Experimentelle Ermüdungsuntersuchungen an Schienen als Grundlage zur Ermittlung erhöhter zulässiger Schienenspannungen**

Förderung: DB Netz AG
 Laufzeit: 01/2019 – 06/2021

► **C3-L9: Regelwerke**

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

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 05/2019 – 09/2022

► **TOBFOB: Textilbewehrter Oberbeton als Basis für eine fugenlose Oberfläche von Betonfahrbahnen**

Förderung: BAST
 Laufzeit: 05/2019 – 03/2021

► **C3-Invest: Carbonbetontechnikum Deutschland**

TP I: Prüflabor: Anpassung bestehender technischer Anlagen (Hydraulikanlage)

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 05/2019 – 04/2022

► **C3-V3.5: C3-Final – Einleitung des Paradigmenwechsels**

TP C3-V3.5-I: Entwicklung und beispielhafte Umsetzung eines neuartigen Innovationsdurchführungskonzeptes zur Einleitung eines Paradigmenwechsels im Bauwesen

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 07/2019 – 09/2022

► **Entwicklung einer Maschine für die Herstellung von Carbonstabmatten**

TP Entwicklung von Bewehrungsmatten aus Carbonstäben

Förderung: BMWi / AiF / ZIM
 Laufzeit: 06/2019 – 08/2021

▶ **TextonSilo: Entwicklung der technisch-technologischen Lösung zur Dimensionierung und Herstellung von Textilbetonelementen für modular und formflexibel gestaltbare portable Großbehälter**

TP Materialentwicklung und -prüfung von Fertigteilen aus Textilbeton für den Bau von Großbehältern

Förderung: BMWi / AiF
 Laufzeit: 06/2019 – 07/2021

▶ **Einsatz von Carbonbeton in Syrien**

Förderung: Alexander von Humboldt Stiftung
 Laufzeit: 07/2019 – 12/2021

▶ **Numerische und experimentelle Untersuchungen zu den Spannungsumlagerungen von ermüdungsbeanspruchten Betonbauteilen im Very-High-Cycle-Fatigue-Bereich**

Förderung: DFG
 Laufzeit: 09/2019 – 12/2022

▶ **DeepCsolution: Druckgehäuse aus ultrahochfestem Beton für die Meerestechnik**

TP Untersuchung von UHPC und UHPC-Druckgehäusen unter stoßartiger Belastung, Langzeitbelastung und mehraxialer Beanspruchung

Förderung: BMWK / PTJ / Maritimes Forschungsprogramm
 Laufzeit: 12/2019 – 11/2022

▶ **ResoWind: Resonanzbasierte Prüfmethode für kosten- und zeitoptimierte Lebensdaueruntersuchungen an Tragstrukturelementen von Windenergieanlagen**

TP ABT.Reso.TUD: Entwicklung und Optimierung resonanzbasierter Prüfmethode für axial- und biegebeanspruchte Tragstrukturelemente

Förderung: BMWK / FZ Jülich GmbH
 Laufzeit: 12/2019 – 11/2022

▶ **B01: Integrierter Entwurfsprozess für Offshore-Tragstrukturen**

Förderung: DFG (SFB 1463)
 Laufzeit: 01/2021 – 12/2024

▶ **C01: Robuste lebensdauerumfassende Monitoringkonzepte für Offshore-Windenergieanlagen**

Förderung: DFG (SFB 1463)
 Laufzeit: 01/2021 – 12/2024

▶ **Fahrbahnwannen auf Gewölbebrücken**

Förderung: DB Netz AG
 Laufzeit: 01/2020 – 12/2022

▶ **C3-12: Anlage zur Erforschung der automatisierten Fertigung von Carbonbetonbauteilen im Werksumfeld**

Förderung: BMBF / FZ Jülich (C³)
 Laufzeit: 03/2020 – 12/2021

► **Untersuchung der Rissbreitenentwicklung von Stahlbeton unter Langzeitbelastung anhand lokaler Verbundbeziehungen – KEK**

Förderung: BMUV
 Laufzeit: 03/2020 – 02/2023

► **Entwicklung neuartiger praxistauglicher Verankerungs- und Übergreifungslösungen von Bewehrung aus Faserverbundkunststoff**

Förderung: BBSR / ZukunftBau
 Laufzeit: 03/2020 – 05/2022

► **Ermüdungssicherheit HPC**

Förderung: Max Bögl
 Laufzeit: 04/2020 – 03/2021

► **A5/II: Verstärkung von flächigen, bügelbewehrten Massivbauelementen gegen Impakt auf der impaktabgewandten Seite**

Förderung: DFG (GRK 2250)
 Laufzeit: 05/2020 – 04/2023

► **A6/II: Charakterisierung von mineralisch gebundenen Kompositen als Dämpfungsschichten für die Impaktverstärkung flächiger Massivbauelemente**

Förderung: DFG (GRK 2250)
 Laufzeit: 05/2020 – 04/2023

► **C01: Auflösung kompakter Bauteile mittels sich durchdringender, lastabtragender schalenförmiger Strukturen**

Förderung: DFG (SFB/TRR 280)
 Laufzeit: 07/2020 – 06/2024

► **C04: Stabilität und Quasiduktilität von dünnwandigen Carbonbetonbauteilen**

Förderung: DFG (SFB/TRR 280)
 Laufzeit: 07/2020 – 06/2024

► **Ö: Vision, Assoziation, Kommunikation für nachhaltige Bauweisen der Zukunft**

Förderung: DFG (SFB/TRR 280)
 Laufzeit: 07/2020 – 06/2024

► **Z: Zentrale Aufgaben des SFB/TRR**

Förderung: DFG (SFB/TRR 280)
 Laufzeit: 07/2020 – 06/2024

► **Einfluss der Beanspruchungsgeschwindigkeit und der Belastungsfrequenz auf den Ermüdungswiderstand von Beton (EBBE-Beton)**

Förderung: DFG
 Laufzeit: 08/2020 – 07/2023

▶ **KISWind: KI-unterstütztes Schallemissionsmonitoring zur automatischen Schadenserkennung in Tragstrukturen von Windenergieanlagen**

TP Experimentelle Untersuchungen und Datenbasis (ExData)

Förderung: BMWK / FZ Jülich GmbH

Laufzeit: 07/2020 – 06/2023

▶ **Wissenschaftliche Begleitung und Beratung zur Minimierung der Anzahl der erforderlichen Schienenauszüge**

Förderung: DB Netz AG

Laufzeit: 07/2020 – 12/2022

▶ **Einsatz von Carbonbeton im Wald- und Forstwegebau in Sachsen**

Förderung: PD – Berater der öffentlichen Hand GmbH

Laufzeit: 08/2020 – 03/2022

▶ **Industriestandard Carbonbeton (ISC) – Entwicklung eines RUBIN-Konzeptes**

Förderung: BMBF / FZ Jülich GmbH

Laufzeit: 09/2020 – 03/2021

▶ **WIR!: Regionales Bündnis für Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft von Faserverbundwerkstoffen – Konzeptphase**

TP WIR RB-KRF-C-b: Theorie und Grundlagen

Förderung: BMBF / FZ Jülich GmbH

Laufzeit: 09/2020 – 05/2021

▶ **Eisenbahnbrücken – Denkmale im Netz**

Förderung: DFG (SPP 2255)

Laufzeit: 10/2020 – 09/2023

▶ **High-temperature protective hybrid impregnation and coating for carbon reinforcement in concrete structures**

Förderung: DFG

Laufzeit: 10/2020 – 09/2023

▶ **CC-Mesh: Symbiose zweier Gegensätze – Transfer von innovativen Entwurfs- und Bewehrungskonzepten (CARBCO-Mesh) aus dem Leichtbau in den Betonbau**

TP C-IMB

Förderung: BMWK / TTP-LB / FZ Jülich GmbH

Laufzeit: 11/2020 – 10/2023

- ▶ **EDISON: Energieeffizienter und werkstoffgerechter Recyclingprozess von carbonfaserverstärkten Kunststoffen von der Wertstoffaufbereitung bis hin zum neuen Bauteil unter Anwendung eines innovativen Solvolyseprozesses sowie der Entwicklung und Herstellung neuartiger standardisierter quasi-unidirektionaler Halbzeuge**

TP Bewehrungsentwicklung und Charakterisierung stabförmiger Halbwerkzeuge

Förderung: BMWK
 Laufzeit: 01/2021 – 12/2023

- ▶ **Einrichtungsantrag für das DFG-SPP 2388: Hundert plus – Verlängerung der Lebensdauer komplexer Baustrukturen durch intelligente Digitalisierung**

Förderung: IMB TUD
 Bewilligung: 29.03.2021 (DFG)

- ▶ **iclimabuilt: Functional and advanced insulating and energy harvesting/storage materials across climate adaptive building envelopes**

TP PL4: Advanced cement/concrete-based materials for wall facades (textile-reinforced concrete/cellular lightweight concrete insulation)

Förderung: European Commission/Horizon 2020
 Laufzeit: 03/2021 – 02/2025

- ▶ **Vergleichsuntersuchungen zur Einordnung der Präzision zerstörungsfreier Prüfmethode (Rückprallhammer und Ultraschallmessung)**

Förderung: IMB TUD
 Laufzeit: 05/2021 – 12/2021

- ▶ **Entwicklung von textilen 3D-Netzgitterträgern und deren Herstellungstechnologie für die effiziente Fertigung von leichten Carbonbetonfertigteilen**

Förderung: AiF / Forschungskuratorium Textil e. V.
 Laufzeit: 05/2021 – 07/2023

- ▶ **C06: Chemische Vorspannung gefalteter und schalenförmiger Carbonbetonstrukturen**

Förderung: DFG (SFB/TRR 280)
 Laufzeit: 08/2021 – 06/2024

- ▶ **smart_tendon: Erfassung von Bauwerksdaten mittels in Spannglieder integrierter ortsauflösender Dehnungssensoren**

TP der TU Dresden

Förderung: BMDV
 Laufzeit: 11/2021 – 10/2024

- ▶ **mdfBIMplus: Teilautomatisierte Erstellung von objektbasierten Bestandsmodellen mittels Multi-Daten-Fusion multimodaler Datenströme und vorhandener Bestandsdaten**

TP der TU Dresden

Förderung: BMDV / mFUND
 Laufzeit: 12/2021 – 11/2024

■ Ausgewählte Publikationen

Bode, M.; Marx, S.: Energetic damage analysis regarding the fatigue of concrete. *Structural Concrete* 22 (2021) S1, S. E851–E859 – DOI: 10.1002/suco.202000416

Gebauer, D.; Schmidt, B.; Schacht, G.; Marx, S.: Beurteilung der Festigkeitseigenschaften bestehender Talbrücken aus Spannbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 2, S. 76–88 – DOI: 10.1002/best.202000070

Hartwig, S.; Marx, S.: Modellentwicklung torsionsbeanspruchter Kreisringsegmente mit trockenen Fugen. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 5, S. 370–377 – DOI: 10.1002/best.202000088

Kang, C.; Wenner, M.; Marx, S.: Background investigation on the permissible additional rail stresses due to track/bridge interaction. *Engineering Structures* 228 (2021), 11505, 12 S. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.111505

Klein, F.; Marx, S.: Torsional load-bearing capacity of half-shell segments for prestressed concrete towers. *Engineering Structures* 243 (2021), 112589 – DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112589

Steinbock, O.; Bösche, T.; Schumann, A.: Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken; Teil 2: Carbonbeton im Brückenbau und Informationen zur Zustimmung im Einzelfall für das Pilotprojekt – Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 2, S. 109–117 – DOI: 10.1002/best.202000106

Vogdt, F. D.; Speck, K.; Petryna, Y.; Curbach, M.; Loutfi, J.: Experimentell gewonnene Erkenntnisse zur Plastizität von Beton unter multiaxialem Druck. *Beton- und Stahlbetonbau* (2021), online first: 05.08.2021 – DOI: 10.1002/best.202100074

Wagner, J.; Curbach, M.: Carbonstäbe im Bauwesen; Teil 4: Ermüdungsverhalten von Carbonstäben unter Zugschwellbelastung. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 8, S. 587–593 – DOI: 10.1002/best.202000100

■ Leistungen in der Lehre

| Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2020/2021 | | | | | |
|---|-----|------|------------------------|-----|-------------|
| Veranstaltung | Art | Sem. | Vortragende/Betreuende | SWS | Studiengang |
| Stahlbetonbau | V/Ü | 5. | Speck, Bartels | 1/1 | BIW |
| Mauerwerksbau | V | 5. | Schöps | 1 | BIW |
| Entwurf von Massivbauwerken | V | 7. | Marx, Scheerer | 2 | BIW |
| Verstärken von Massivbauwerken | V | 7. | Marx, Betz | 2 | BIW |
| Massivbrückenbau | V | 7. | Marx, Herbers, Kang | 2 | BIW |
| Schräggabelbrücken | V | 7. | Svensson | 1 | BIW |
| Nachhaltige Tragwerksplanung | V | 7. | Speck | 1 | BIW, EW |

Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2021

| Veranstaltung | Art | Sem. | Vortragende/Betreuende | SWS | Studiengang |
|---|------------|-------------|---|------------|--------------------|
| Stahlbetonbau | V | 4. | Speck | 2 | BIW |
| Stahlbetonbau | V/Ü | 6. | Speck, Bartels | 2/2 | BIW |
| Stahlbetonkonstruktionslehre | V/Ü | 6. | Speck, Michler, Giese, Baumgärtel | 2/1 | BIW |
| Entwurf von Massivbauwerken | V/Ü | 8. | Monka, Herbers, Hering, Kang, Michler, Pelka, Scheerer, Speck | 1/3 | BIW |
| Verstärken von Massivbauwerken | Ü | 8. | Marx, Betz | 1,5 | BIW |
| Mess- und Versuchstechnik | V/Ü | 8. | Hampel, Hering | 1/0,5 | BIW |
| Schräggabelbrücken | V | 8. | Svensson | 1 | BIW |
| Spezialbauwerke des Wasserbaus | V | 8. | Marx, Baumgärtel | 1 | BIW |
| Grundlagen des Stahlbetonbaus | V/Ü | - | Scheerer | 2/2 | BHYWI |
| <i>Design of Concrete Structures</i> | V/Ü | 2. | <i>Garibaldi, Vakaliuk</i> | 2/1 | ACCESS |
| <i>Computational Methods for Reinforced Concrete Structures</i> | V/Ü | 2. | <i>Häußler-Combe, Vakaliuk</i> | 2/1 | ACCESS |
| <i>Cable stayed bridges</i> | V/Ü | 2. | <i>Svensson, Garibaldi</i> | 2/1 | ACCESS |

| Studienjahr Academic year | 12/13 | 13/14 | 14/15 | 15/16 | 16/17 | 17/18 | 18/19 | 19/20 | 20/21 |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Projektarbeiten | 11 | 17 | 22 | 13 | 12 | 24 | 20 | 12 | 19 |
| Project Works | 14 | 11 | 16 | 7 | 17 | 10 | 2 | 2 | 2 |
| Bachelorarbeiten | - | - | 1 | - | - | - | - | 1 | 2 |
| Diplomarbeiten | 11 | 19 | 17 | 26 | 15 | 10 | 28 | 17 | 14 |
| Master's Theses | 5 | 12 | 10 | 15 | 9 | 19 | 5 | 3 | 2 |

■ Wissenschaftlicher Nachwuchs

Promotionen am Institut 2021

Ammar Siddig Ali Babiker

Numerical modeling of steel fiber reinforced concrete composite exposed to high loading rate

Philipp Löber

Konstruktiver Makroglasfaserbeton für Bodenplatten und Industrieböden

Nico Schmidt

Vorschlag zur Anpassung des Nachweises der Dekompression für bestehende Spannbetonbrücken bei Herstellung im Taktschiebeverfahren

Michael Frenzel

Zum Tragverhalten von leichten, geschichteten Betondecken

Egbert Müller

Torsionsversuche an carbonbetonverstärkten Plattenbalken mit neuen Carbonbewehrungssystemen – Experimentelle und analytische Betrachtungen

Chongjie Kang

Rail track resistance verification considering track-bridge-interaction

Oliver Mosig

Einfluss von Poren und Porenwasser auf die Festigkeitssteigerung von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten

Dirk Sören Reischl

Diskrete-Elemente-Simulationen zum mehraxialen Schädigungsverhalten von Beton

Juliane Wagner

Zum Tragverhalten von Carbonbeton unter Ermüdungsbeanspruchung

Karoline Holz

Carbonbeton unter Hochtemperaturbeanspruchung

Oliver Steinbock

Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken mit Carbonbeton

| Anzahl der Promotionen als Erstgutachter 2013 2021 | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 5 | 11 |
| Anzahl der Promotionen als Zweit- oder Drittgutachter 2013 2021 | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | - | - | - | 1 |

■ Austausch und Zusammenarbeit

Der Institutsdirektor und Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Manfred Curbach**, ist 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 in ACI, ASCE, DAfStb, IngKammer, PCI, RILEM, VDI, VPI,
- Mitglied des Forschungsbeirats des DAfStb
- Mitglied des Arbeitsausschusses „Bemessung und Konstruktion“ des DIN,
- 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.

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,
- Mitglied des Promotionsausschusses der Fakultät Bauingenieurwesen,
- Mitglied im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb),
- Mitglied in der German Association for Computational Mechanics (GACM),
- Mitglied in der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik.

Als ausgewiesener Fachmann veröffentlichte er 2014 bei Ernst & Sohn das Fachbuch *Numerical Methods for Reinforced Concrete Structures*. Prof. Häußler-Combe arbeitet eng mit Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark, Ruhr-Universität Bochum, und Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer, TU München, zusammen. Prof. Häußler-Combe wurde Ende September 2021 emeritiert.

Prof. Dr.-Ing. **Steffen Marx** ist Inhaber der DB Netz AG – Stiftungsprofessur für Ingenieurbau und

- Mitglied im Fachkollegium 410 der DFG,
- Member of fib Task group “Bridges”,
- Convener of fib WP “High Speed Railway Bridges”,
- Member of fib WP “Integral Bridges”,
- Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der Zeitschrift „Bautechnik“,
- Mitglied des Beirats der Bundesstiftung Baukultur,
- Obmann des DAfStb UA „Bewertung von Bestandsbauwerken“,
- Mitglied im DAfStb TA „Bemessung und Konstruktion“,
- Mitglied im CEN/TC 250/SC2/WG1/TG3,
- Mitglied in fib, iabse, DAfStb sowie
- Vorsitzender der Berufungskommission „Pavement Engineering“.



Luftaufnahme der Gebäude der Sächsischen Landes- und Universitätsbibliothek | *Aerial view of the buildings of the Saxon State and University Library* | Photo: Nils Eisfeld

PUBLIKATIONEN

■ Monografien

Babiker, A. S. A.: Numerical modeling of steel fiber reinforced concrete composite exposed to high loading rate. Diss., TU Dresden, 2021 –
 URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-744961>

Curbach, M.; Häußler-Combe, U.; Marx, S. (Hrsg.): Jahresbericht 2020, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, 200 S.

Curbach, M.; Marx, S.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 11. Symp. Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB). Dresden: digitale Veranstaltung am 08.03.2021, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, 136 S. – erschienen in: Curbach, M. et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 55

Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 30. Dresdner Brückenbausymposium – Ergänzungsband 2021, 09./10.03.2020 in Dresden (geplant, verlegt auf den 08./09.03.2021, digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, 112 S.

Mosig, O.: Einfluss von Poren und Porenwasser auf die Festigkeitssteigerung von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten. Diss., TU Dresden, 2021 –
 URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-769358>

■ Ausgewählte Forschungsberichte

Beltrán, R.; Schneider, S.; Marx, S.: Methoden zur Zustandsanalyse von Windenergieanlagen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Materialermüdung von On- und Offshore Windenergieanlagen aus Stahlbeton und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung, DBV 311 – Arbeitspaket 4, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie vom Deutschen Beton- und Bautechnik Verein E.V., Institut für Massivbau der TU Dresden – Institut für Massivbau der Leibniz Universität Hannover, 15.10.2021, 140 S.

Bracklow, F.; Babiker, A.; Hering, M.; Kühn, T.; Curbach, M.; Häußler-Combe, U.: Bauteilverhalten unter stoßartiger Beanspruchung durch aufprallende Behälter (Flugzeugtanks) – Phase 1C: Experimentelle und numerische Untersuchungen zu Maßstabeffekten, Versagensmechanismen und Bauteilschädigung. Abschlussbericht zum Reaktorsicherheitsforschungs-Vorhaben Nr. 1501541, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021

Koschemann, M.; Curbach, M.: WinConFat – Materialermüdung von On- und Offshore Windenergieanlagen aus Stahlbeton und Spannbeton unter hochzyklischer Beanspruchung – Teilvorhaben: Verbund bei Zugschwellbeanspruchung. Schlussbericht zum Energieforschungs-Vorhaben Nr. 0324016B, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021

Mosig, O.: Untersuchung des Einflusses von Porenwasser auf die Wellenausbreitung in Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten (Impakt). Abschlussbericht zum Reaktorsicherheitsforschungs-Vorhaben Nr. 1501553, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Institut für Massivbau, TU Dresden, 2021

Scheerer, S. und Hampel, T.: Experimentelle Traglastermittlung an einem Dachbinder. Ergebnisbericht im Auftrag des SIB Dresden, Otto-Mohr-Laboratorium und Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021

Steinbock, O.; Hampel, T.; Curbach, M.: Empfehlungen zu Balkenreihentragwerken auf Grundlage experimenteller Untersuchungen. Teil 1: Steinbock, O.; Wellner, S.; Hampel, T.: Experimentelle Untersuchungen an einem Balkenreihentragwerk im Feld; Teil 2: Untersuchungen an entnommenen Einzelträgern. Forschungsbericht im Auftrag des BMVI und des Landesamts für Straßenbau- und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021

Steinbock, O.; Hampel, T.; Curbach, M.: Gutachterliche Stellungnahme zur Verlängerung der Restnutzungsdauer der Hochbrücke Wismar. Bericht im Auftrag des Landesamts für Straßenbau- und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, 92 S.

Steinbock, O.; Giese, J.; Curbach, M.: Qualitätssicherungsbericht für die Carbonbetonverstärkung der Baumaßnahme Brücke BW 5 im Zuge der S109 in Kleinsaubernitz. Bericht im Auftrag des Landesamts für Straßenbau- und Verkehr Sachsen bzw. LfSt Gesellschaft für Verkehrswesen und ingenieurtechnische Dienstleistungen mbH, Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, 117 S.

■ Beiträge in Fachzeitschriften oder Monografien

Ayoubi, M.; Sobotta, S.; Schlüter, D.; Michler, H.; Kropp, T.; Thüsing, K.; Kallnick, S.; Schumann, A.: Aktive Verbinder für Bauelemente aus Carbonbeton – Entwicklung eines kompakten Verbinders aus thermischen Formgedächtnislegierungen. *Bautechnik* 98 (2021) 6, S. 399–409 – DOI: 10.1002/bate.202000088

Beckmann, B.; Bielak, J.; Scheerer, S.; Schmidt, Chr.; Hegger, J.; Curbach, M.: Standortübergreifende Forschung zu Carbonbetonstrukturen im SFB/TRR 280. *Bautechnik* 98 (2021) 3, S. 232–242 – DOI: 10.1002/bate.202000116

Beckmann, B.; Bielak, J.; Bosbach, S.; Scheerer, S.; Schmidt, Chr.; Hegger, J.; Curbach, M.: Collaborative research on carbon reinforced concrete structures in the CRC/TRR 280 project. *Civil Engineering Design* 3 (2021) 3, S. 99–109 – DOI: 10.1002/cend.202100017

Betz, P.; Schumann, A.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Carbonstäbe im Bauwesen; Teil 5: Einflussfaktoren auf das Verbundverhalten. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021), Heft 12, S. 924–934 – DOI: 10.1002/best.202100035

Bode, M.; Marx, S.: Energetic damage analysis regarding the fatigue of concrete. *Structural Concrete* 22 (2021) S1, S. E851–E859 – DOI: 10.1002/suco.202000416

Curbach, M.; Bergmeister, K.; Mark, P.: Baukulturingenieure – Civil Engineering Goes Green. In: Hauke, B. (Hrsg.); Lemaitre, C. (Mit-Hrsg. für DGNB); Röder, A. (Mit-Hrsg. für IBU): Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz: Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen – Aktueller Stand der Technik, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2021, S. 39–46

Curosu, I.; Mechtcherine, V.; Vo, D. M. P.; Sennewald, C.; Cherif, C.; Wölfel, E.; Scheffler, Chr.; Gong, T.; Heravi, A. A.; Tamsen, E.; Balzani, D.; Shehni, A.; Häußler-Combe, U.; Fuchs, A.; Kaliske, M.; Scope, Chr.; Günther, E.: Impaktsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite: Materialebene. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 1, S. 45–57 – DOI: 10.1002/best.202000074

Deutscher, M.: Consideration of the Heating of High-Performance Concretes during Cyclic Tests in the Evaluation of Results. *Appl. Mech.* (2021) 2, S. 766–780 – DOI: 10.3390/applmech2040044

Deutscher, M.; Markert, M.; Scheerer, S.: Influence of temperature on the compressive strength of high performance and ultra-high performance concretes. *Structural Concrete* (2021), online first: 16.09.2021, 10 S. – DOI: 10.1002/suco.202100153

Deutscher, M.; Scheerer, S.: Heating rate with regard to temperature release of UHPC under cyclic compressive loading. *Civil Engineering Design* (2021) 3, S. 143–152 – DOI: 10.1002/cend.202100020

Figueiredo, T. C. S. P.; Curosu, I.; Gonzáles, G. L. G.; Hering, M.; Silva, F. de A.; Curbach, M.; Mechtcherine, V.: Mechanical behavior of strain-hardening cement-based composites (SHCC) subjected to torsional loading and to combined torsional and axial loading. *Materials and Design* 198 (2021) 109371, 15 S. – DOI: 10.1016/j.matdes.2020.109371

Gebauer, D.; Schmidt, B.; Schacht, G.; Marx, S.: Beurteilung der Festigkeitseigenschaften bestehender Talbrücken aus Spannbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 2, S. 76–88 – DOI: 10.1002/best.202000070

Hartwig, S.; Marx, S.: Modellentwicklung torsionsbeanspruchter Kreisringsegmente mit trockenen Fugen. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 5, S. 370–377 – DOI: 10.1002/best.202000088

Herbrand, M.; Wenner, M.; Ullerich, Chr.; Rauert, T.; Zehetmaier, G.; Marx, S.: Beurteilung der Bauwerkszuverlässigkeit durch Bauwerksmonitoring. *Bautechnik* 98 (2021) 2, S. 93–104 – DOI: 10.1002/bate.202000094

Kang, C.; Kiewning, M.; Marx, S.: Verhalten von Schienenbefestigungen – Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten der Schienenbefestigungssysteme SBS 300-1 und BSP FF-B-1 unter statischer und zyklischer Belastung. *EI – Der Eisenbahningenieur* (2021), S. 38–41

Kang, C.; Schneider, S.; Wenner, M.; Marx, S.: Experimental investigation on the fatigue behaviour of rails in the transverse direction. *Construction and Building Materials* 272 (2021) 121666, 14 S. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121666

Kang, C.; Wenner, M.; Marx, S.: Background investigation on the permissible additional rail stresses due to track/bridge interaction. *Engineering Structures* 228 (2021) 11505, 12 S. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.11505

Kang, C.; Wenner, M.; Marx, S.: Experimental investigation on the rail residual stress distribution and its influence on the bending fatigue resistance of rails. *Construction and Building Materials* 284 (2021) 122856, 15 S. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122856

Klein, F.; Marx, S.: Torsional load-bearing capacity of half-shell segments for prestressed concrete towers. *Engineering Structures* 243 (2021) 112589 – DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112589

Kortmann, J.; Seifert, W.; Lieboldt, M.; Kopf, F.; Jehle, P.; Curbach, M.: Carbonbeton – Ein Beitrag zur Ressourceneffizienz im Betonbau. In: Hauke, B. (Hrsg.); Lemaitre, C. (DGNB, Mit-Hrsg.); Röder, A. (IBU, Mit-Hrsg.): Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz: Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen – Aktueller Stand der Technik, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2021, S. 168–176

Leicht, L.; Beckmann, B.; Curbach, M.: Influences on the structural response of beams in drop tower experiments. *Civil Engineering Design* 3 (2021), S. 192–209 – DOI: 10.1002/cend.202100040

Mathern, A.; von der Haar, C.; Marx, S.: Concrete support structures for offshore wind turbines: Current status, challenges, and future trends. *Energies* 14 (2021) 7 – DOI: 10.3390/en14071995

May, M.; Riegelmann, P.; Schumann, A.; Curbach, M.: Carbonstäbe im Bauwesen; Teil 3: Bestimmung der Zugtragfähigkeit. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 7, S. 508–517 – DOI: 10.1002/best.202100031

May, S.; Schumann, A.; Bergmann, S.; Curbach, M.; Hegger, J.: Versuche zur Querkraftverstärkung mit Carbonbeton. *Bauingenieur* 96 (2021) 3, S. 49–59

Mosig, O.; Zohrabayan, V.; Curbach, M.; Braml, Th.; Keuser, M.; Gebbeken, N.: Spallationsversuche von Faserbetonprobekörpern im Split-Hopkinson-Bar. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2020) 6, S. 468–477 – DOI: 10.1002/best.202000098

Schmidt, B.; Marx, S.; Schneider, S.; Betz, T.: Einfluss der Druckfestigkeitsstreuung auf den Ermüdungswiderstand von druckschwellbeanspruchtem Beton. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 8, S. 575–586 – DOI: 10.1002/best.202100025

Schumann, A.; Schöffel, J.; May, S.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Ressourceneinsparung mit Carbonbeton – Am Beispiel der Verstärkung der Hyparschale in Magdeburg. In: Hauke, B. (Hrsg.); Lemaitre, C. (Mit-Hrsg. für DGNB); Röder, A. (Mit-Hrsg. für IBU): Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz: Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen – Aktueller Stand der Technik, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2021, S. 282–286

Speck, K.; Vogdt, F.; Curbach, M.; Petryna, Y.; Marx, S.: Dehnungsmessung bei mehraxialen Druckversuchen an Beton mittels faseroptischer Sensoren. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 3, S. 212–221 – DOI: 10.1002/best.202000095

Steinbock, O. et al.: verschiedene Beiträge u. a. zu Bauwerksbeschreibung, Gesamtkonzeption der Bauwerksuntersuchungen, Untersuchungen zum Bauwerkszustand, zerstörende Versuche – Ergebnisse der Mess- und Monitoringsysteme, Zusammenfassung. In: Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg (Hrsg.): B1 – Brücke Altstädter Bahnhof in Brandenburg a. d. Havel – Bauwerksuntersuchungen vor dem Rückbau, 06.10.2021, Hoppegarten, 2021, online unter: [https://www.lsb.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Broschüre_Bauwerksuntersuchungen_B1 - Brücke Altstädter Bahnhof in Brandenburg a.d.H..4172749.pdf](https://www.lsb.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Broschüre_Bauwerksuntersuchungen_B1_-_Brücke_Altstädter_Bahnhof_in_Brandenburg_a.d.H..4172749.pdf)

Steinbock, O.; Bösch, T.; Schumann, A.: Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken; Teil 2: Carbonbeton im Brückenbau und Informationen zur Zustimmung im Einzelfall für das Pilotprojekt – Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 2, S. 109–117 – DOI: 10.1002/best.202000106

Steinbock, O.; Pelke, E.; Ost, O.: Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken; Teil 1: Grundlagen und Hintergründe zum Pilotprojekt – Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 2, S. 101–108 – DOI: 10.1002/best.202000094

Steinbock, O.; Teworte, F.; Neis, B.: Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken; Teil 3: Planung und Umsetzung der Verstärkungsmaßnahme mit Carbonbeton am Pilotprojekt. Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 2, S. 118–126 – DOI: 10.1002/best.202000107

Steinbock, O.; Wetzel, T.: Verstärkung einer Spannbetonbrücke mit Carbonbeton – Erweiterte Rechenmethoden zum Ankündigungsverhalten von Brücken mit spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl. *Bautechnik* 98 (2021) 10, S. 711–719

Stümpel, M.; Mathern, A.; Marx, S.: Experimental investigations on a novel concrete truss structure with cast iron nodes. *Engineering Structures* 232 (2021) 111843 – DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.111843

Su, M.; Xie, H.; Kang, C.; Li, S.: Determination of the interfacial properties of longitudinal continuous slab track via a field test and ANN-based approaches. *Engineering Structures* 246 (2021) 113039, 14 S. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113039

Vogdt, F. D.; Speck, K.; Petryna, Y.; Curbach, M.; Loutfi, J. (2021) Experimentell gewonnene Erkenntnisse zur Plastizität von Beton unter multiaxialen Druck. *Beton- und Stahlbetonbau* (2021), online first: 05.08.2021 – DOI: 10.1002/best.202100074

Wagner, J.; Curbach, M.: Carbonstäbe im Bauwesen; Teil 4: Ermüdungsverhalten von Carbonstäben unter Zugschwellbelastung. *Beton- und Stahlbetonbau* 116 (2021) 8, S. 587–593 – DOI: 10.1002/best.202000100

■ Beiträge in Tagungsbänden

Bergmann, S.; May, S.; Hegger, J.; Curbach, M.: Shear strengthening of reinforced concrete T beams using carbon reinforced concrete. In: *Materials, Analysis, Structural Design and Applications of Textile Reinforced Concrete/Fabric Reinforced Cementitious Matrix at the Concrete Convention and Exposition – Fall 2019, 20.–24.10.2019 in Cincinnati (USA), ACI Special Publication SP-345, 2021, S. 169–184*

Birkner, D.; Marx, S.: Large-scale fatigue tests on prestressed concrete beams. In: Abu, A. (Hrsg.): *Proc. of IABSE Congress 2020, 03.–05.02.2021 in Christchurch (New Zealand, digital), 2021, S. 943–951*

Frenzel, M.; Curbach, M.: CUBE BOX – Erstes Fertigteilgebäude aus Carbonbeton – Planung, Herstellung, Fertigteilmontage | CUBE BOX – First prefabricated carbon-reinforced concrete building – Design, production and precast element assembly. Beitrag zu den 65. BetonTagen, 23.–26.02.2021 in Neu-Ulm; erschienen in: *BFT International 87 (2021) 2, S. 43*

Käding, M.; Schacht, G.; Marx, S.: Spanndrahtbruchdetektion mit Schallemissionsmonitoring. In: Curbach, M.; Marx, S.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): *Tagungsband zum 11. Symp. Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB), 08.03.2021 in Dresden (digital), erschienen in: Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 55, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 96–105*

Koschemann, M.; Curbach, M.: Bond stress distribution of ribbed steel bars in reinforced concrete with short bond length under various loading conditions. In: Gatuingt, F.; Torrenti, J.-M. (Hrsg.): *Proc. of 13th fib Int. PhD Symp. in Civil Engineering 2021, 21.–22.07.2021 in Paris (France, digital), 2021, S. 176–183*

Marx, S.; Curbach, M.: Entwicklung des Instituts für Massivbau – wie geht es weiter? In: Curbach, M. (Hrsg.): *Tagungsband zum 30. Dresdner Brückenbausymposium – Ergänzungsband 2021, 09./10.03.2020 in Dresden (geplant, verlegt auf den 08./09.03.2021, digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 7–10*

Marx, S.; Köppel, M.; Müller, J.: Historische Eisenbahnbrücken – Denkmale im Netz. In: Curbach, M. (Hrsg.): *Tagungsband zum 30. Dresdner Brückenbausymposium. 09./10.03.2020 in Dresden (geplant, verlegt auf den 08./09.03.2021, digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 71–80*

Michler, H.; Burgard, S.; Kalbe, H.; Curbach, M.: Nichtmetallische Bewehrung im Großbrückenbau – Kappenverbreiterung Carolabrücke Dresden. Curbach, M. (Hrsg.): *Tagungsband zum 30. Dresdner Brückenbausymposium – Ergänzungsband 2021, 09./10.03.2020 in Dresden (geplant, verlegt auf den 08./09.03.2021, digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 63–76*

Michler, H.: Nichtmetallische Bewehrung im Großbrückenbau – Kappenverbreiterung Carolabrücke Dresden | Non-Metallic Reinforcement in Large Bridge Construction – Edge Beam Widening, Carola Bridge in Dresden. In: *C³ – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband der 13. Carbon- und Textilbetontage. 29./30.09.2021 (in Dresden und digital), 2021, S. 16/17 | 60/61*

Müller, E.; Curbach, M.: Staircase system made of carbon reinforced concrete (CRC). In: *Materials, Analysis, Structural Design and Applications of Textile Reinforced Concrete/Fabric Reinforced Cementitious Matrix at the Concrete Convention and Exposition – Fall 2019, 20.–24.10.2019 in Cincinnati (USA), ACI Special Publication SP-345, 2021, S. 47–58*

Neumann, J.; Farwig, K.; Breitenbücher, R.; Curbach, M.: Thin Concrete Overlays with Carbon Reinforcement. In: *Conference Chair; ISCP President: Hiller, J. (Hrsg.): Proc. of the 12th Int. Conf. on Concrete Pavements (ICCP), 27.09.–01.10.2021 (virtual conf.), 2021, S. 52–58 – DOI: 10.33593/wpqei36n*

Schlüter, D.; Uhlemann, S.; Curbach, M.: Multifunctional Carbon Concrete in four Steps. In: Amir, L.; Hani, N. (Hrsg.): *Conf. Proc. of Ferro 13 at the 13th Int. Symp. on Ferrocement and Thin Fiber Reinforced Inorganic Matrices, 21.–23.06.2021 in Lyon (France), 2021, 10 S. (vorläufige Angaben; Ende 2021 war der Band noch nicht öffentlich publiziert)*

Steinbock, O.: Ankündungsverhalten von Spannbetonbrücken bei einer Carbonbetonverstärkung | Crack-before-failure criterion of prestressed bridges in combination with carbon concrete. In: C³ – Carbon Concrete Composite e. V. (Hrsg.): Tagungsband der 13. Carbon- und Textilbetontage. 29./30.09.2021 (in Dresden und digital), 2021, S. 36/37 | 80/81

Steinbock, O.; Giese, N. J.; Curbach, M.: Probelastung einer mit Carbonbeton verstärkten Plattenbrücke. In: Curbach, M.; Marx, S.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 11. Symp. Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB), erschienen in: Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 55, 08.03.2021 in Dresden (digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 118–129

Steinbock, O.; Mertzsch, O.; Wellner, S.: Experimentelle Untersuchung von Balkenreihentragwerken. In: Curbach, M.; Marx, S.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 11. Symp. Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB), erschienen in: Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 55, 08.03.2021 in Dresden (digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 8–19

Tietze, M.; Frenzel, M.; Curbach, M.: C³ technology demonstration house – CUBE. In: Júlio, E.; Valença, J.; Louro, A. S. (Hrsg.): New Trends for Eco-Efficiency and Performance – Proc. of the fib Symp. 2021, 14.–16.06.2021 in Lisbon (Portugal), 2021, S. 153–162

Vakaliuk, I.; Frenzel, M.; Curbach, M.: C³ technology demonstration house – CUBE – “From digital model to realization”. In: Behnejad, S. A.; Parke, G. A. R.; Samavati, O. A.; IASS (Hrsg.): Proc. of the IASS Annual Symposium and the 7th Int. Conf. on Spatial Structures, 23.–27.08.2021 in Guildford (UK), 2021, 11 S.

Wellner, S. (Zusammenstellung): Chronik des Brückenbaus. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 30. Dresdner Brückenbausymposium – Ergänzungsband 2021. 09./10.03.2020 in Dresden (geplant, verlegt auf den 08./09.03.2021, digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 227–236

Wellner, S.; Hampel, T.; Scheerer, S.: Experimentelle Tragfähigkeitstests des OML in den Jahren 2019 und 2020. In: Curbach, M.; Marx, S.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): Tagungsband zum 11. Symp. Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen (SEUB), erschienen in: Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 55, 08.03.2021 in Dresden (digital), Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2021, S. 130–133

■ Ausgewählte sonstige Beiträge

Curbach, M.: Über die aktuellen Zwänge hinausdenken. Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021) 2, S. 75 (Editorial) – DOI: 10.1002/best.202170203

Lieboldt, M.; Seifert, W.; Tietze, M.: Nachhaltig Bauen mit Carbonbeton. Archiv des deutschen Badewesens (2021) 1, S. 42–48

Marx, S.: Digitalisierung im Bestand – warum und wie? Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021) 8, S. 573/574 (Editorial) – DOI: 10.1002/best.202170803

Menges, A.; Sobek, W.; Kloft, H.; Curbach, M.; Mark, P.: Netzwerk der Zukunft. Bautechnik 98 (2021) 3, S. 193 (Editorial) – DOI: 10.1002/bate.202170303

■ Ausgewählte Vorträge und Interviews

Michler, H.: Aktuelle Anwendungen von nichtmetallischen Bewehrung. Vortrag auf dem Burgdorfer Brückenbautag 2021, 06.09.2021 in Burgdorf

Minar, S.: WIR! recyceln Fasern. Vortrag bei TransferLeben in Dresden des Fraunhofer IWM, 03.11.2021 in Dresden

Minar, S.: Wo stehen WIR! am heutigen Tag? Vortrag bei WIRreFa | Partner-Workshop Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Verwaltung sowie Evaluationsworkshop des C³ e. V., 29.03.–01.04. sowie 27.04.2021 (online)

Schladitz, F.: C³-Projekt – Forschung und Praxis. Vortrag bei Composite Lounge Conference 2.0 des Composites Online Netzwerkes, 18.02.2021 (online)

Schladitz, F.: Carbon- und Glasfaser – Einbahnstraße oder Kreisverkehr? Vortrag bei Recycling-gerechtes Design – Matchmaking von HTW Dresden und IHK Dresden, 02.06.2021 (online)

Schladitz, F.: Carbonbeton – Verbundwerkstoff der Zukunft. Vortrag beim ExpertenForum Beton der Bayerischen BauAkademie, 05. und 19.10.2021 in Feuchtwangen

Tietze, M.: A gamechanger for the built environment – Carbon reinforced concrete. Vortrag beim NDE Webinar – Rethink how we build. NDE-Germany Implementing Office des BMWi, 13.07.2021 (online)

Tietze, M.: Carbon reinforced concrete – Advantages and Challanges. Vortrag zur EU Raw materials Week 2021 des Enterprise Europe Network, 25.11.2021 (online)

Tietze, M.: Carbon reinforced concrete – Material and The CUBE. Vortrag bei Betongcast 12. | Norsk Betongforening der Tekna Norway, 10.02.2021 (online)

Tietze M.: Carbon reinforced concrete in precast applications – CUBE BOX. Vortrag zur Infoveranstaltung zum Thema Carbonbeton des MOOKON, 26.11.2021 in München

Tietze, M.: Carbonbeton ein nachhaltiger Baustoff. Vortrag beim Innovation Days des InterBad – DGfDB, 22.09.2021 in Stuttgart

Tietze, M.: CUBE – das Weltweit erste Gebäude aus Carbonbeton. Vortrag zur Pressereise Greentech City Dresden der Wirtschaftsförderung Dresden und Agentur FischerAppelt, 09.07.2021 in Dresden

Tietze, M.: CUBE – das Weltweit erste Gebäude aus Carbonbeton. Vortrag bei der Seniorenakademie der TU Dresden, 09.07.2021 in Dresden

Tietze, M.: Was ist Carbonbeton – Eigenschaften und Vorteile. Vortrag bei Engineering Days Summit 2021 der RIB-SAA – Prilhofer, 24.11.2021 (online)

DANK AN UNSERE FÖRDERER

Deutsche
Forschungsgemeinschaft
DFG



Unterstützt von / Supported by



Alexander von Humboldt
Stiftung / Foundation



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich



STAATSBETRIEB IMMOBILIEN-
UND BAUMANAGEMENT
SIB



Freistaat
SACHSEN



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bundesanstalt für Straßenwesen



Europäische Union



Europa fördert Sachsen
ESF
Europäischer Sozialfonds



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



MAX BÖGL
Fortschritt baut man aus Ideen.



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

DAS TEAM 2021

Institut für Massivbau

Professur für Massivbau

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

Professur für Spezielle Massivbauwerke

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

DB Netz AG – Stiftungsprofessur für Ingenieurbau

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Arbeitsgebietsleiter:innen

Dr.-Ing. Birgit Beckmann (Forschung, Finanzen)

Dr.-Ing. Harald Michler (Forschung, Personal)

Dr.-Ing. Silke Scheerer (Forschung, Qualitätssicherung)

Dr.-Ing. Frank Schladitz (C³ e. V.)

Dr.-Ing. Kerstin Speck (Lehre)

Administration

Stefan Gröschel (Öffentlichkeitsarbeit, Presse)

Silvia Haubold (Controlling)

Ines Niemetz (Controlling SFB/TRR 280)

Claudia Seifert (Sekretariat)

Jana Strauch (Sekretariat und Konferenzen)

Matthias Zagermann (Systemadministrator)

Forschungsgruppen und wissenschaftliche Mitarbeiter:innen

Carbonbeton I

Dr.-Ing. Michael Frenzel
(Forschungsgruppensprecher)

Dipl.-Ing. Enrico Baumgärtel

Mohammed Kareem Dhahir, M. Sc.

Dr.-Ing. Maria Patricia Garibaldi

Dipl.-Ing. Angela Schmidt

Dr.-Ing. Oliver Steinbock

Carbonbeton II

Dr.-Ing. Juliane Wagner
(Forschungsgruppensprecherin)

Dipl.-Ing. Peter Betz

Olga Diring, M. Sc.

Kai Gebuhr, M. Sc.

Dipl.-Ing. Josiane Giese

Iurii Vakaliuk, M. Sc.

Dr.-Ing. Katarzyna Zdanowicz

Carbonbeton III

Dipl.-Ing. Maximilian May
(Forschungsgruppensprecher)

Dr.-Ing. Zuhair Amer

Dr.-Ing. Karoline Holz

Dipl.-Ing. Dominik Schlüter

Carbonbeton Zwanzig20

Dr.-Ing. Frank Schladitz
(Arbeitsgebietsleiter C³ und Forschungsgruppensprecher)

Chris Gärtner, M.A.

Anja Giesder

Dipl.-Ing. (FH) Maximilian Krämer

Sandra Kranich, M.A.

Dr.-Ing. Matthias Lieboldt

Dr.-Ing. Stefan Minar

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Matthias Tietze

Dipl.-Ing. Sandra Zagermann

Impakt

Dr.-Ing. Birgit Beckmann
(Forschungsgruppensprecherin)

Dipl.-Ing. (FH) Franz Bracklow

M.Eng. Tomáš Fíla Ph.D.

Dr.-Ing. Marcus Hering

Dipl.-Ing. Lena Leicht

M.Eng. Petr Máca Ph.D.

Dr.-Ing. Oliver Mosig

Thomas Schubert, M. Sc.

Ingenieurbau I

Marina Stümpel, M. Sc.
(Forschungsgruppensprecherin)

Ammar Siddig Ali Babiker, M. Sc.

Jan-Hauke Bartels, M. Sc.

Raúl Enríque Beltrán Gutierrez, M. Sc.

Mengyan Peng, M.Sc.

Han Qian, M. Sc.

Jiafeng Zhou, M. Sc.

Ingenieurbau II

Dr.-Ing. Chongjie Kang
(Forschungsgruppensprecher)

Dipl.-Ing. Kristina Farwig

Daniel Gebauer, M. Sc.

Max Herbers, M. Sc.

Johanna Monka, M. Sc.

Conrad Pelka, M. Sc.

Mehraxialität und Ermüdung

Dennis Birkner, M. Sc.
(Forschungsgruppensprecher)

Dipl.-Ing. Melchior Deutscher

Dipl.-Ing. Marc Koschemann

Dipl.-Ing. Clara Schramm

Dr.-Ing. Kerstin Speck

Dipl.-Ing. Ronghua Xu

Auftragsforschung und Bauwerksdiagnose

Dr.-Ing. Torsten Hampel

Otto-Mohr-Laboratorium

Leiterin

Dr.-Ing. Karoline Holz

Stellvertreterin

Dipl.-Ing. Kathrin Dietz

Sekretariat

Evelin Förster

Petra Kahle

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

Technische Mitarbeiter:innen

Rainer Belger

Martin Findeisen

Thomas Häntzschel

Jens Hohensee

Tino Jänke

Michael Liebe

Maik Patricny

Annett Pöhland

Mario Polke-Schminke

Doreen Sonntag

Andreas Thieme

Heiko Wachtel

Bernd Wehner

Impressum

Herausgeber

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

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

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

Redaktion

Theresa Fritzsche, Petr Máca, Silke Scheerer, Kerstin Speck

Texte

Zuhair Amer, Jan-Hauke Bartels, Birgit Beckmann, Raúl Beltrán, Peter Betz, Dennis Birkner, Franz Bracklow, Melchior Deutscher, Kristina Farwig, Michael Frenzel, Chris Gärtner, Roland Gärtner, Daniel Gebauer, Josiane Giese, Stefan Gröschel, Max Herbers, Marcus Hering, Chongjie Kang, Marc Koschemann, Sandra Kranich, Lena Leicht, Petr Máca, Harald Michler, Johanna Monka, Conrad Pelka, Mengyan Peng, Han Qian, Silke Scheerer, Clara Schramm, Kerstin Speck, Oliver Steinbock, Marina Stümpel, Iurii Vakaliuk, Sabine Wellner, Ronghua Xu

Die Kurzfassungen aller studentischer Arbeiten (Projektarbeiten, Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten) und der Dissertationen wurden von den jeweiligen Studierenden und Doktorand:innen verfasst.

Foto Deckblatt

Ansgar Pudenz

Gestaltung/Satz

Stefan Gröschel, Silke Scheerer

Druck

2022, addprint AG, Bannewitz

ALT WIE EIN BAUM...



Foto: Stefan Gröschel